

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	1/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Manual de prácticas del laboratorio de Comportamiento de Suelos

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
M. I. Enrique Elizalde Romero Ing. Héctor A. Legorreta Cuevas M. I. Carmelino Zea Constantino.	M. I. Juan Luis Umaña Romero	M. I. Germán López Rincón	19 de enero de 2018

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	2/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 1

Identificación de suelos



	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	3/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Ninguno	Ninguno

2. Objetivos de aprendizaje

2.1 Objetivo general

El alumno aprenderá a describir e identificar las características físicas de los suelos gruesos y finos por medio de procesos manuales y visuales, dando los nombres correctos a los suelos.

2.2 Objetivos específicos

El alumno conocerá los nombres de los suelos gruesos y finos, así como sus propiedades físicas y apariencia.

El alumno describirá los suelos gruesos, grava y arena, por medio del tamaño, forma, acomodo, rugosidad, mineralogía y la textura de los granos.

El alumno identificará los suelos finos, limo y arcilla, por medio de su consistencia, realizando las pruebas de: dilatancia, tenacidad, resistencia al estado seco, sensación al tacto, velocidad al secado, sensación al tacto y humectación.

3. Alcance

El alumno identificará diversos tipos y mezclas de suelos en estado natural y seco, a través de la observación y la manipulación de las muestras, sin ayuda de algún dispositivo especializado.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	4/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

4. Introducción

Suelo. El suelo es el producto de la fracturación y descomposición de la roca madre, por factores climáticos y la acción de los seres vivos. Los tipos de suelo se determinan por el tamaño de los granos y su composición mineralógica y orgánica.

Suelos gruesos. Los suelos de grano grueso forman una estructura simple, cuya estabilidad depende de su acomodo, forma y rugosidad de sus granos, se encuentran en mayores proporciones en depósitos aluviales y eólicos. Para su identificación, se toma principalmente como base el tamaño de sus granos. Los suelos gruesos se subdividen en gravas y arenas.

Gravas. Las gravas son granos con un tamaño de 76 mm a 4.76 mm de diámetro. La forma de sus granos evidencia la lejanía de su origen, y su distribución de tamaños la magnitud del agente de transporte.

La identificación de este suelo es por medio de la vista, ya que sus tamaños de granos se distinguen fácilmente.

En la identificación visual y al tacto de sus granos, es muy importante describir su distribución de tamaños, forma, rugosidad, compacidad y mineralogía.

Arenas. La arena es el nombre que se le da a los materiales de grano grueso, producto de la meteorización de las rocas o de su trituración artificial y cuyas partículas varían entre 4.76 mm y 0.074 mm de diámetro. La identificación de arenas gruesas se realiza en forma visual por el tamaño del grano; para las arenas medias y finas se utiliza el tacto, evaluando su textura rugosa, cuya sensación entre los dedos es el rodamiento de los granos.

Suelo fino. Los suelos finos de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS) estos granos tienen un tamaño inferior a 0.074mm de diámetro que pueden ser limo o arcilla, por lo que toda la fracción que pasa la malla # 200 es considerado como suelo fino. Para identificar los suelos finos, se evalúa su textura en seco y húmedo, presentando una textura fina, esto es, no se percibe el rodamiento de los granos entre los dedos.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	5/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Limos. Los limos son suelos de granos finos, cuyo diámetro está comprendido entre 0.074 mm y 0.002 mm. El limo regularmente es el producto del meteorismo mecánico, puede conservar su composición química y cristalográfica de las rocas originales. Para identificar los limos se evalúa su textura en estado seco, siendo esta una textura fina de tipo harinosa.

Arcillas. Las arcillas son producto de la descomposición química de las rocas, no conservan la composición química ni cristalográfica originales. Se le da nombre de arcillas a los granos con tamaño menor de 0.002 mm, y presenta una consistencia plástica al ser mezclada con agua. Su composición química es un silicato de alúmina hidratado, aunque en no pocas ocasiones contienen también silicatos de hierro o de magnesio hidratados. La estructura de estos minerales es generalmente cristalina, con sus átomos dispuestos en forma laminar. La identificación se realiza por medio del tacto en estado húmedo, presentando una textura jabonosa y pegajosa.

Plasticidad. Es la consistencia de un suelo fino, que le permite tener grandes deformaciones sin romperse, ni agrietarse y sin desmoronarse ante un esfuerzo aplicado. No presenta rebote elástico. Esta consistencia está en función de su contenido de agua y del tipo y contenido de minerales de arcilla.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	6/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

A continuación, se presentan tablas de consulta para identificar los tipos de suelos conforme a las normas de ASTM y de la experiencia de los autores.

TABLA No. 1 NOMBRE DE LOS GEOMATERIALES POR SU TAMAÑO DE GRANOS

NOMBRE	LÍMITES DE TAMAÑO	EJEMPLO VULGAR
Boleo	305 mm o mayores (malla 12")	Mayor que una pelota de baloncesto
Canto rodado	76 mm a 305 mm (malla 3" a 12")	Naranja – Sandía
Grava gruesa	19 mm a 76 mm (malla ¾" a 3")	Uva – Naranja
Grava fina	4.76 mm a 19 mm (malla No. 4 a ¾")	Chícharo – Uva
Arena gruesa	2 mm a 4.76 mm (malla No. 10 a malla No. 4)	Sal de cocina
Arena mediana	0.42 mm a 2 mm (malla No. 40 a malla No. 10)	Azúcar
Arena fina	0.074 mm a 0.42 mm (malla No. 200 a malla No. 40)	Azúcar en polvo
Limos	Pasa malla No. 200 0.074 mm a 0.002 mm	Harina
Arcilla	Menores de 0.002 mm	Talco

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	7/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

TABLA No. 2 DIFERENCIAS ENTRE GRAVAS Y ARENAS

GRAVAS	ARENAS
Los granos no se apelmazan aunque estén húmedos, las tensiones capilares no son suficientes para unir los granos.	Los granos se apelmazan si están húmedos, debido a las tensiones capilares.
Cuando el gradiente hidráulico es mayor que 1, se produce en ellas flujo turbulento.	No se suele producir en ellas flujo turbulento aunque el gradiente hidráulico sea mayor que 1.
Poseen alta permeabilidad.	Se considera un material permeable.

TABLA No. 3 DIFERENCIAS ENTRE ARENAS Y LIMOS

ARENA	LIMOS
Granos sensibles al tacto.	Granos no sensibles al tacto.
En estado seco no presentan cohesión.	Los grumos secos tienen una cohesión, pero se pueden desmoronar con los dedos fácilmente.
Suelo permeable.	Suelo poco permeable.

TABLA No. 4 DIFERENCIAS ENTRE LIMOS Y ARCILLAS

LIMOS	ARCILLAS
Presentan poca o nula plasticidad, se agrietan fácilmente a la pérdida de humedad cuando se moldean.	Presentan alta plasticidad, no se agrietan al moldearlas con agua.
Textura harinosa en humedad ambiente.	Textura muy fina, como talco, en humedad ambiente.
Se secan con relativa rapidez y no se pegan en los dedos.	Se secan lentamente y se pegan en los dedos.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	8/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Los terrones secos tienen una cohesión, pero se pueden reducir a polvo con los dedos.	Los terrones secos son difíciles de romper con los dedos, no se reduce a polvo.
No presentan cambios volumétricos cuando se hidratan o se secan.	En lo general, presentan cambios volumétricos importantes cuando se hidratan o se secan.

TABLA No. 5 IDENTIFICACIÓN DE MINERALES Y MATERIA SÓLIDA POR MEDIO DEL COLOR

COLOR	MINERAL O MATERIA SÓLIDA
Blanco.	Caolín, calcita, cuarzo, vidrio volcánico, yeso y materia orgánica.
Negro.	Hornablenda, augita, biotita, ceniza volcánica y materia orgánica.
Rojo.	Feldespatos y hematita.
Café.	Óxidos de hierro y limonita.
Verde.	Olivino y Reducción de óxidos de hierro.
Amarillo.	Feldespato, Óxido de hierro hidratado.

TABLA No. 6 FORMA DE GRANO EN SUELOS GRUESOS

FORMA	CARACTERÍSTICA
Angulosa.	Presenta vértices con ángulos agudos y rectos.
Subangulosa.	Presenta vértices con ángulos rectos y obtusos.
Subredondeada.	Presenta vértices con ángulos obtusos.
Redondeada.	No presenta vértices.
Plana.	Presenta caras sin bordes.
Alargada.	Presenta una mayor longitud en un sentido.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	9/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

TABLA No. 7 GRADO DE HUMEDAD

CALIFICATIVO	APARENCIA
Seca.	Los granos no presentan tonalidad oscura.
Humedad.	Los granos presentan tonalidad oscura sin brillo.
Saturada.	Los granos presentan tonalidad oscura con brillo.

TABLA No. 8 CARACTERÍSTICA DE GRADUACIÓN EN SUELOS GRUESOS

GRADUACIÓN	CARACTERÍSTICA
Bien graduado.	Presenta una variedad de tamaños de granos.
Mal graduado.	No presenta una variedad de tamaños de granos.
Uniforme.	Predomina un tamaño de grano.

TABLA No. 9 RESULTADOS DE PRUEBA DE DILATANCIA O AGITADO

VALORACIÓN	OBSERVACIÓN	SUELO FINO
Nula.	No presenta brillo la superficie del material, aun cuando se agite vigorosamente.	Arcilla de alta plasticidad
Baja.	Presenta un ligero brillo la superficie del material, con muchas agitaciones.	Arcilla de baja plasticidad
Media.	Presenta brillo la superficie del material, con varias agitaciones.	Limo de alta plasticidad
Alta.	Presenta brillo la superficie del material, con pocas agitaciones.	Limo de baja plasticidad.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	10/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

TABLA No. 10 RESULTADOS DE PRUEBA DE TENACIDAD

VALORACIÓN	OBSERVACIÓN	SUELO FINO
Nula.	El material no presenta facilidad para moldearlo, se seca y desmorona rápidamente.	Limo de baja plasticidad.
Baja.	Se puede hacer el rollito, pero se rigidiza rápidamente y después se rompe. No da oportunidad de hacer varias veces el rollito.	Limo de alta plasticidad
Media.	El rollito se logra fácilmente y es moldeable, da oportunidad de hacerlo varias veces, tarda tiempo para rigidizarse.	Arcilla de baja plasticidad
Alta.	El rollito se logra fácilmente, es muy moldeable y da oportunidad de hacerlo muchas veces, tarda más tiempo para que se rigidice.	Arcilla de alta plasticidad

TABLA No. 11 RESULTADOS DE PRUEBA DE RESISTENCIA AL ESTADO SECO

VALORACIÓN	OBSERVACIÓN	SUELO FINO
Nula.	El material se rompe muy fácilmente, desmoronándose.	Limo de baja plasticidad.
Baja.	El material se rompe fácilmente, desmoronándose.	Limo de alta plasticidad
Media.	El material no se rompe fácilmente, se parte en trozos y se desmorona.	Arcilla de baja plasticidad
Alta.	El material es muy difícil de romperse, se parte en trozos.	Arcilla de alta plasticidad

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	11/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

TABLA No. 12 RESULTADOS DE PRUEBA DE RESISTENCIA AL ESTADO SECO

VALORACION	EFFECTOS AUDITIVOS (AUDIBLE)	EFFECTOS VISIBLES (EFERVESCENCIA)
Nula.	Ninguno	Ninguna
Débil.	Tenuemente	Poco visible, localizada en granos individuales.
Fuerte.	Claramente se oye lejos del oído.	Fácilmente visible, burbujas en todas partes.

3. Material y equipo

- Charola con diversos materiales.
- Espátula de cuchillo.
- Píseta con agua.
- Franela.
- Placa de vidrio.



Figura 1. Equipo utilizado en la prueba

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos		Código:	MADO-39
			Versión:	01
			Página	12/85
			Sección ISO	8.3
			Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia		
La impresión de este documento es una copia no controlada				

4. Desarrollo

4.1 Identificación de suelos gruesos y finos.

Actividad 1. De los materiales proporcionados, identifique los suelos gruesos y finos, en función de su tamaño de grano y textura. Utilice la vista y el tacto para la identificar la textura del material, consulte las tablas No. 1.

4.2 Identificación de suelos de grano grueso.

Actividad 2. Diferencie las gravas de las arenas en forma visual, por medio de su tamaño, figura 2. Utilice una hoja cuadriculada de cuadro chico y consulte tablas No. 2 y 3.



Figura 2. Identificación de suelos gruesos por su tamaño

Utilice el formato de identificación de suelos para suelos gruesos CDS-01A.

Actividad 3. Anote el color principal y la tonalidad del grano.

Actividad 4. Identifique los minerales del material, por medio del color y de la dureza. Consulte la tabla No. 5.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	13/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 5. Observe e identifique la forma del grano, consulte la tabla No. 6.

Actividad 7. Identifique el grado de humedad de la muestra, tabla No. 7.

Actividad 8. Separe y ordene los granos por tamaños para conocer su graduación según lo indicado en la tabla No. 8, figura 3.

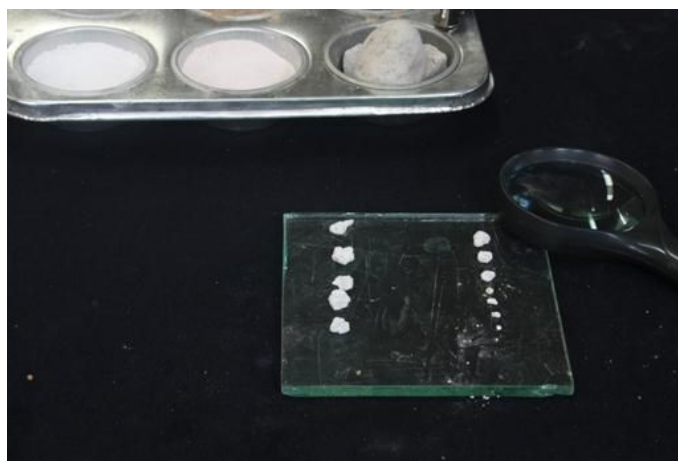


Figura 3. Graduación de suelo grueso

4.3 Identificación de suelos de grano fino.

Actividad 9. Utilice como guía el formato de identificación de suelos CDS-01A Y CDS-01B.

Actividad 10. Diferencie las arenas de los suelos finos por medio de su textura al tacto. Consulte tabla No. 3.

Actividad 11. Anote el color principal y la tonalidad del grano.

Actividad 12. Identifique los minerales del material, por medio del color. Consulte la tabla No. 5.

Actividad 13. Identifique si el material contiene materia orgánica.

- Si presenta olor desagradable el material al humedecerlo.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	14/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 14. Registre la condición de humedad en que se encuentra la muestra, con la tabla No. 7.

4.4 Identificación de entre limos y arcillas.

Actividad 15. Identifique los limos de las arcillas por medio de su textura, en estado seco y húmedo, consulte la tabla No. 4.

Actividad 16. Realice la prueba de dilatancia también conocida como prueba de agitado.

Humedezca el material hasta formar una masilla en la palma de la mano con ayuda de una espátula, golpee lateralmente la mano que contiene el material con la otra mano, tratando de que el agua salga a la superficie de la masa de suelo. Identifique el suelo fino en base del resultado de la prueba de dilatancia, consulte la tabla No. 9, figura 4.



Figura 4. Prueba de dilatancia

Actividad 17. Realice la prueba de tenacidad.

Formada la masilla de suelo, se rola con la palma de la mano sobre una superficie lisa hasta formar un rollito de unos 3 mm de diámetro, figura 5, vuelva amasar y a formar el rollito varias veces, observe la rigidez que va adquiriendo el material, repita el procedimiento hasta que el rollito se rigidice y se agriete o se desmorone. Identifique el suelo fino en función del resultado de la prueba de tenacidad, como lo indica la tabla No. 10.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	15/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



Figura 5. Prueba de tenacidad

Actividad 18. Realice la prueba de resistencia al estado seco de la siguiente manera, moldeé el suelo hasta formar una masilla homogénea, añadiendo agua si es necesario, después seque la masilla al ambiente o al horno, y pruebe la resistencia en estado seco comprimiéndola con los dedos tratando de romperla y/o desmoronarla, figura 6. Identifique el suelo fino con la ayuda de la tabla No. 11.

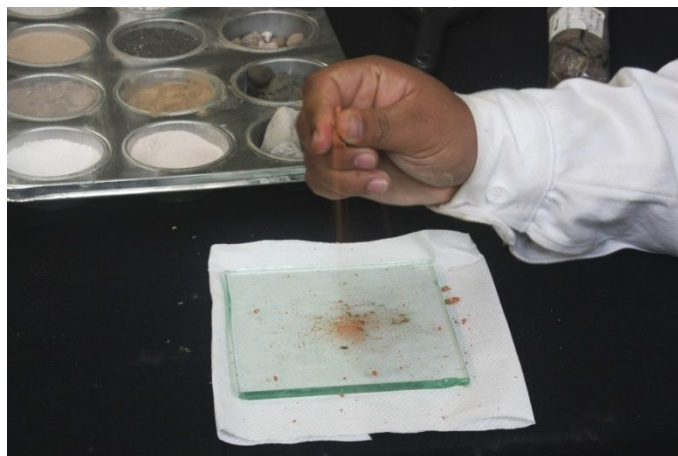


Figura 6. Resistencia al estado seco

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	16/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 19.

Describe la apariencia del material, figura 7, por ejemplo, la homogeneidad, la estratificación, o si presenta grumos, cavidades, grietas, juntas, vetas, manchas, puntos y otras.



Figura 7. Muestra con diferencia apariencia

Actividad 20. Identifique la materia orgánica con la ayuda del agua oxigenada, consultando la tabla 19. Figura 8



Figura 8. Muestra orgánica con agua oxigenada

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	17/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 21. Anote los resultados de los materiales analizados en el formato CDS-01B.

5. Presentación de resultados

Formatos: CDS-01A y CDS-01B

		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA LABORATORIO DE GEOTÉCNIA																	
CDS-01A IDENTIFICACIÓN DE SUELOS GRUESOS																			
ALUMNOS _____				GRUPO: _____				FECHA: _____											
				BRIGADA: _____				OBSERVACIÓN _____											
MAT. No.	COLOR	TAMAÑO 4.75 mm		GRANO FORMA							GRADUACIÓN			GRADO DE HUMEDAD			OLOR	CARACTERÍSTICAS PARTICULARES	IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL
		MAYOR	MENOR	ANG.	SUBANG.	SUB RED.	RED.	PLANA	ALARGADA	BIEN	MAL	UNIFORME	SECA	HÚMEDA	SATURADA				

Figura 9. Formato CDS-01A.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	19/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

6. Responsabilidades

- El profesor de prácticas es el responsable de la implantación de estos procedimientos.
- Los alumnos son los responsables de su aplicación en el laboratorio.
- Los laboratoristas son los responsables de proporcionar los materiales y equipos para la ejecución de estos procedimientos.
- Los alumnos deben elaborar el informe correspondiente y entregarlo al profesor o a los académicos del laboratorio, quienes son los responsables de su evaluación.

7. Conclusiones

En este apartado el alumno comentará si se cubrieron los objetivos de la práctica, hará una discusión sobre los factores más importantes que influyen en el ensaye y propondrá la aplicación o las restricciones del uso de estos materiales en la ingeniería civil en función de su comportamiento estudiado.

8. Bibliografía

Secretaría de Recursos Hidráulicos; Manual de laboratorio de Mecánica de Suelos, México, 1990.

Zeevaert W. L.; Compendio Elemental de Mecánica Suelos, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 1998.

Juárez Badillo E. y Rico Rodríguez A.; Mecánica de Suelos Tomo I, Editorial Limusa-Noriega, Quinta edición, México, 1980.

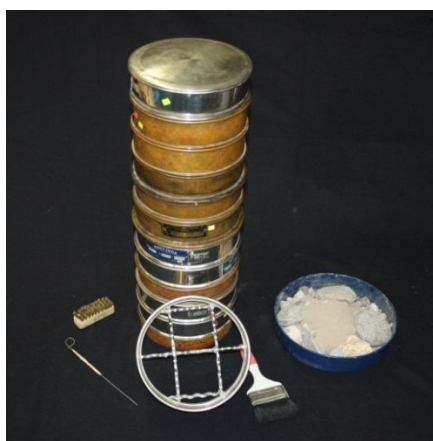
ASTM D – 2488 – 93. 2000 Section Four Construction.

NOM 008 SC FI- 1993; Sistema General de Unidades de Medida.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	20/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 2

Granulometría



	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	21/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Ninguno	Ninguno

2. Objetivos de aprendizaje

2.1 Objetivo general

El alumno determinará la curva granulométrica de un suelo grueso para fines de clasificación por medio del Sistema de Clasificación de Suelos (SUCS).

2.2 Objetivos específicos

- El alumno realizará el análisis granulométrico por medio del sistema de mallas.
- El alumno obtendrá los valores de los coeficientes de uniformidad y curvatura, para evaluar la graduación de la curva granulométrica.
- El alumno clasificará (nombre y simbología) el suelo grueso por medio del SUCS.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	22/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3. Introducción

Los granos de un material se identifican por su “nombre” de acuerdo con su tamaño. En la siguiente tabla se dan los nombres de los granos gruesos y sus rangos de variación en tamaños:

TABLA 1. NOMBRE DE LOS GRANOS SEGÚN SU TAMAÑO

NOMBRE DEL GRANO	PROPIEDAD	TAMAÑO
Fragmento de roca	No aplica	Mayor de 76 mm
Grava	Gruesa	19 a 76
	Fina	4.76 a 19
Arena	Gruesa	2 a 4.76
	Media	0.42 a 2
	Fina	0.074 a 0.42

La separación en masa de los diferentes tamaños de granos se conoce como distribución granulométrica y representa una curva estadística acumulada de los diferentes porcentajes que son menores o iguales a un cierto tamaño de grano o “porcentaje que pasa” la malla correspondiente.

Para los granos gruesos se utiliza un juego de mallas o tamices a base de filamentos de acero inoxidable, identificadas ya sea por el tamaño de la abertura en pulgadas o por el número de hilos o filamentos por pulgada cuadrada como se muestra en la siguiente tabla 2:

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	23/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

TABLA 2. JUEGO DE MALLAS PARA LA PRUEBA GRANULOMÉTRICA

MALLA #	3"	2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	20	40	60	100	200
ABERTURA (mm)	76.2	50.8	25.4	19.1	12.7	9.52	4.76	2.00	0.84	0.42	0.25	0.149	0.074

Para poder separar los diferentes tamaños de los granos las mallas deben estar ordenadas de mayor a menor abertura y limpias de impurezas que se pudieran haber incrustado en pruebas anteriores; El material debe manejarse con cuidado para no perder finos antes del pesado; los fragmentos muy grandes deben limpiarse con una brocha gruesa y colocarse uno por uno para evitar que el equipo se dañe, la arena y finos resultado de esta acción deben regresarse a la muestra; el resto del material debe hacerse pasar por agitado evitando que los granos pasen forzados por las mallas. El material retenido en cada malla se obtiene su masa seca, Δm_s , y se registra en el formato correspondiente. Se calculan los porcentajes retenidos parciales (para cada malla), P_{rp} , retenidos acumulados, P_{ra} , y los porcentajes acumulados, P_a , como:

$$P_{rpi}(\%) = \frac{\Delta m_{si}}{\sum_{i=1}^n \Delta m_{si}} 100; P_{rai}(\%) = 100 \sum_{i=1}^m P_{rpi}; P_{ai}(\%) = 100\% - P_{rai}(\%)$$

Siendo:

n Número total de mallas

m Número de mallas empleadas hasta ese momento

Una vez obtenidos los porcentajes acumulados, éstos se grafican contra el “diámetro” del grano correspondiente en escala semilogarítmica (Figura 1). La curva correspondiente es representativa de la distribución de los granos de la muestra por tamaños.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	24/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

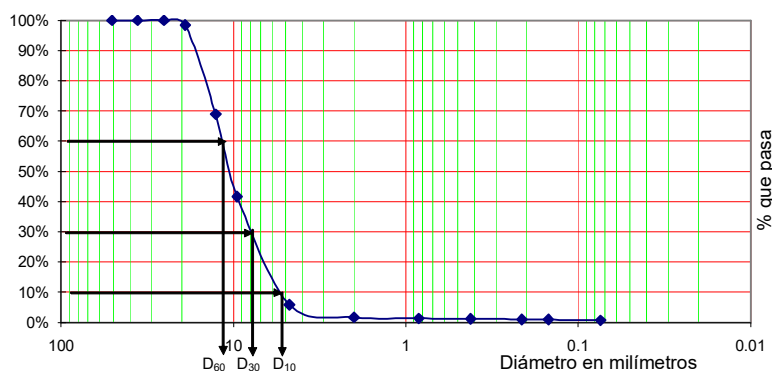


Figura 1. Curva típica de distribución granulométrica

La forma de la curva granulométrica es también un indicador de la distribución de tamaños del suelo; una línea “acostada” indica un suelo con tamaños variados, en cambio una curva “parada” señala un suelo con predominio de un tamaño.

Para definir la forma de la curva granulométrica se establecen dos coeficientes, que combinados permiten saber si se trata de un suelo bien o mal “graduado”, estos son el coeficiente de uniformidad, C_u , y el coeficiente de curvatura, C_c , dados por:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60}D_{10}}$$

Siendo D_i el diámetro del grano correspondiente al porcentaje “i” de la curva granulométrica.

Clasificación de un suelo grueso

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), tiene la siguiente simbología para los suelos.

TABLA 3. CLASIFICACIÓN DE UN SUELO GRUESO LIMPIO DE FINO

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	25/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

SUELO QUE PASA LA MALLA #200	MATERIAL		CARACTERÍSTICA		CLASIFICACIÓN SUCS
	SUELO	SÍMBOLO	COEFICIENTES	SÍMBOLO	
%F < 5%	Grava	G	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	W	GW Grava bien graduada
			$Cu < 4$ ó $1 > Cc > 3$	P	GP Grava mal graduada
	Arena	S	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	W	SW Arena bien graduada
			$Cu < 6$ ó $1 > Cc > 3$	P	SP Arena mal graduada
			$Cu < 4$ ó $1 > Cc > 3$	P	GP-GC Grava mal graduada con arcilla

TABLA 4. CLASIFICACIÓN DE UN SUELO GRUESO CON FINO

SUELO QUE PASA LA MALLA #200	MATERIAL		CARACTERÍSTICA		CLASIFICACIÓN SUCS
$5\% \leq \%F \leq 12\%$	Grava	G	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	W	GW-GM Grava bien graduada con limo
			$Cu < 4$ ó $1 > Cc > 3$	P	GP-GC Grava mal graduada con arcilla
Limo (M)	Arena	S	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	W	SW-SM Arena bien graduada con limo
Acilla (C)			$Cu < 6$ ó $1 > Cc > 3$	P	SP-SC Arena mal graduada con arcilla

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	26/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

4. Material y Equipo

- Juego de mallas
- Brocha
- Alambre rígido
- Charola
- Cepillos de alambre
- Básculas de precisión

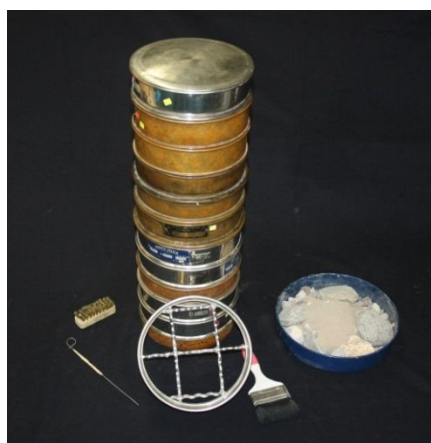


Figura 2. Equipo empleado.

5. Desarrollo

Los alumnos se organizarán en brigadas de 6 a 8 integrantes.

Actividad 1. Limpiar y ordenar los tamices conforme al formato.

Actividad 2. Colocar la charola de retención de finos en la última malla.

Actividad 3. En la báscula, obtener la masa del material conjuntamente con la charola, ($m_{\text{mat+charola}}$), figura 3.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	27/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 4. Vaciar el material en el sistema de mallas, figura 4. Los granos más grandes de grava deben colocarse en las mallas con la mano para evitar que se dañe el equipo, quitándoles el material fino (sin perderlo) con las cerdas de una brocha, figura 5.

Colocar el resto del suelo en las mallas que faltan, con un cucharón, evitando que se agite demasiado para no generar polvo que pueda ser causa de pérdida de material.



Figura 3. Masa de la muestra



Figura 4. Vaciado de material en el sistema de mallas



Figura 5. Retiro de finos.

Actividad 5. Volver a la báscula para obtener la masa de la charola vacía, (m_{charola}).

Actividad 6. Obtener la masa inicial del material, realizando la resta:

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	28/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

$$m_{\text{mat}} = m_{\text{mat+charola}} + m_{\text{charola}}$$

Actividad 7. Tapar el sistema de mallas.

Actividad 8. Agitar el sistema de mallas con ambas manos cuidando que no se zafen los tamices, realizando un movimiento giratorio (figura 6), durante un lapso de 5 a 15 minutos, dependiendo de la cantidad de material e integrantes de alumnos de la brigada.



Figura 6. Agitado de mallas.

Actividad 9. Terminado el agitado, esperar 5 segundos para quitar la tapa, así se evitará la pérdida de finos.

Actividad 10. “Tarar báscula”, esto es, colocar la charola en la báscula y ponerla en ceros, esto tiene la ventaja de obtener la masa del material en forma directa, ya que solo bastará colocar el material en la charola con la báscula tarada.

Actividad 11. Vaciar el material retenido de la malla en la charola y llevarla a la báscula para la obtención de su masa, anotar las masas retenidas (m_{ret}) en el formato CDS-02, figuras 7 y 8.

Actividad 12. Asegurase de quitar los granos que se hayan atorado entre los hilos de las mallas, colocando la malla boca abajo y empujando el grano con ayuda de un alambre o limpiar la malla con cepillo de alambre, figura 9 y 10.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	29/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Para la malla No. 200, limpiarla con una brocha. Figura 11.



Figura 7. Material vaciado en tara.

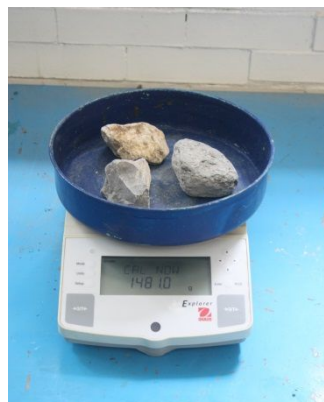


Figura 8. Obtención de masa de material retenido.



Figura 9. Quitando granos atorados.



Figura 10. Liberando material atrapado.



Figura 11. Limpiado con brocha la malla No. 200.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	30/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 13. Obtener el error de la prueba (ε). Sumar todas las masas parciales retenidas ($\sum m_{ret}$) y compararlas con la masa inicial (m_{mat}), por medio de siguiente expresión:

$$\varepsilon\% = \frac{|\sum m_{ret} - m_{mat}|}{m_{mat}} \times 100$$

Si:

$\varepsilon\% < 1\%$ La prueba es aceptada.

$\varepsilon\% \geq 1\%$ La prueba es rechazada. Se deberá de realizar nuevamente.

6. Errores posibles

- Una báscula mal calibrada puede hacer que el error en las masas crezca conforme se avanza en la prueba.
- Las mallas en mal estado dejan pasar el tamaño de granos que supuestamente deben quedarse.
- Forzar el paso de los granos por los agujeros de las conduce a su rompimiento y cambia la granulometría.
- Se puede perder material porque se escapa en forma de polvo en el aire.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	31/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

7. Presentación de resultados

Formato CDS-02 Análisis granulométrico por mallas, figura 12.

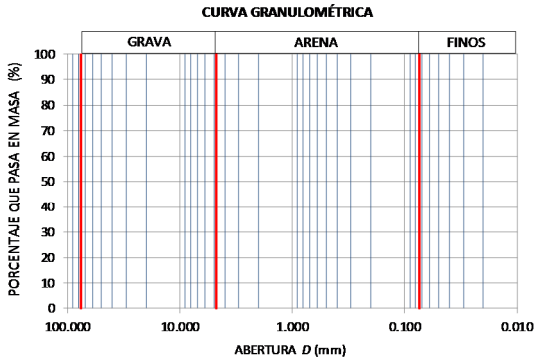
		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA LABORATORIO DE GEOTÉCNIA																																																																								
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO CDS-02																																																																										
PROYECTO : _____ LOCALIZACIÓN: _____ SONDEO : _____ MUESTRA No: _____ PROFUNDIDAD : _____ FECHA : _____ Masa material+charola ($m_{mat+charola}$) = _____ g Masa de charola ($m_{charola}$) = _____ g Masa de la muestra (m_{mat}) = _____ g		<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO DE SUELO</th> <th>MALLA</th> <th>ABERTURA D mm</th> <th>MASA SUELO RETENIDO m_{ret} g</th> <th>PORCENTAJE RETENIDO P_{rp} g</th> <th>PORCENTAJE QUE PASA P_a %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">GRAVAS</td> <td>3"</td> <td>76.20</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2"</td> <td>50.80</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 1/2"</td> <td>36.10</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>25.40</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>19.05</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>9.520</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="5">ARENAS</td> <td>No. 4</td> <td>4.760</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 10</td> <td>1.680</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 40</td> <td>0.420</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 60</td> <td>0.250</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 100</td> <td>0.149</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FINOS</td> <td>CHAROLA</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				TIPO DE SUELO	MALLA	ABERTURA D mm	MASA SUELO RETENIDO m_{ret} g	PORCENTAJE RETENIDO P_{rp} g	PORCENTAJE QUE PASA P_a %	GRAVAS	3"	76.20				2"	50.80				1 1/2"	36.10				1"	25.40				3/4"	19.05				3/8"	9.520				ARENAS	No. 4	4.760				No. 10	1.680				No. 40	0.420				No. 60	0.250				No. 100	0.149				FINOS	CHAROLA				
TIPO DE SUELO	MALLA	ABERTURA D mm	MASA SUELO RETENIDO m_{ret} g	PORCENTAJE RETENIDO P_{rp} g	PORCENTAJE QUE PASA P_a %																																																																					
GRAVAS	3"	76.20																																																																								
	2"	50.80																																																																								
	1 1/2"	36.10																																																																								
	1"	25.40																																																																								
	3/4"	19.05																																																																								
	3/8"	9.520																																																																								
ARENAS	No. 4	4.760																																																																								
	No. 10	1.680																																																																								
	No. 40	0.420																																																																								
	No. 60	0.250																																																																								
	No. 100	0.149																																																																								
FINOS	CHAROLA																																																																									
EVALUACIÓN DE PRUEBA $e\% = \frac{\sum m_{ret} - m_{mat}}{m_{mat}} \times 100 = \text{_____} \%$ $e\% < 1\%$		Suma total de masas retenidas (m_{ret}) = _____ g																																																																								
DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS $D_{10} = \text{_____} \text{ mm}$ $D_{30} = \text{_____} \text{ mm}$ $D_{60} = \text{_____} \text{ mm}$																																																																										
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \text{_____}$		% GRAVAS = _____ % % ARENAS = _____ % % FINOS = _____ %																																																																								
COEFICIENTE DE CURVATURA $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} D_{10}} = \text{_____}$																																																																										
MATERIAL BIEN GRADUADO (W) ARENA $C_u \geq 6$ $1 \leq C_c \leq 3$ GRAVA $C_u \geq 4$ $1 \leq C_c \leq 3$																																																																										
DESCRIPCIÓN Y SIMBOLO DEL SUCS. _____																																																																										

Figura 12. Formato CDS-02.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	32/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

8. Conclusiones.

En este apartado el alumno comentará si se cubrieron los objetivos de la práctica, hará una discusión sobre los factores más importantes que influyen en el ensaye y propondrá la aplicación o las restricciones del uso de estos materiales en la ingeniería civil en función de su comportamiento estudiado.

9. Responsabilidades.

- El profesor de prácticas es el responsable de la implantación de estos procedimientos.
- Los alumnos son los responsables de su aplicación en el laboratorio.
- Los laboratoristas son los responsables de proporcionar los materiales y equipos para la ejecución de estos procedimientos.
- Los alumnos deben elaborar el informe correspondiente y entregarlo al profesor o a los académicos del laboratorio, quienes son los responsables de su evaluación.

10. Referencias

ASTM (1998). *“Standard test method for particle-size analysis of soils”*, D6913-04, Annual book of ASTM Standards, Vol. 04.08.

Bowles J. E. (1980). *“Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil”*, Segunda Edición, Mc. Graw Hill.

Cheng Liu, Jack B. Evett (1997). *“Soil properties, Testing, Measurement, and Evaluation, “Grain-size analysis of soil (including both mechanical and hydrometer analysis) Third Edition, Prentice-Hall, Inc.*

Head K.H., (1992). *“Manual of Soil Laboratory Testing”*, Vol. 1, Editorial Pentech Press, London.

Laboratoire Central des ponts et chaussées (1987). *“Analyse granulométrique par sédimentométrie”*, Méthode d'essai, N° 18.

Secretaría de Recursos Hidráulicos (1970). *“Manual de Mecánica de Suelos”*

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	33/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 3

Límites de consistencia



	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	34/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Ninguno	Ninguno

2. Objetivos de aprendizaje

2.1 Objetivo general.

El alumno determinará los valores de los límites de consistencia: líquido, plástico y de contracción de un suelo fino, para su clasificación con base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

2.2 Objetivos específicos:

- El alumno realizará los ensayos para la obtención del límite líquido, usando la Copa de Casagrande.
- El alumno ejecutará el ensaye para obtener el valor del límite plástico a base del remoldeo de un cilindro de suelo con dimensiones y características específicas.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	35/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3. Introducción

Suelo fino. Los suelos finos están constituidos de granos diminutos, minerales y minerales de arcilla, textura laminar. De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS) estos granos tienen un tamaño inferior a 0.074mm de diámetro que pueden ser limo o arcilla, por lo que toda la fracción que pasa la malla # 200 es considerado como suelo fino.

Limos. Los limos son suelos de granos finos, cuyo diámetro está comprendido entre 0.074 mm y 0.002 mm. El limo es el producto del meteorismo mecánico, conserva su composición química y cristalográfica de las rocas originales.

Arcillas. Las arcillas son producto de la descomposición química de las rocas, no conservan la composición química ni cristalográfica originales. Se le da nombre de arcillas a los granos con tamaño menor de 0.002 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua.

Contenido de agua o humedad. Es la relación de la masa del agua con respecto a la masa de sólidos en una determinada masa de suelo, esto se expresa en términos de porcentaje, fórmula (1).

$$w\% = \frac{m_w}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

Siendo:

$w\%$ contenido de agua o humedad, en porcentaje.

m_w masa de agua, en g.

m_s masa de sólidos, en g.

Estados de consistencia. Son los cambios de forma y volumen que sufre un suelo fino cuando cambia su contenido de agua, esta respuesta dependerá del tipo y cantidad de mineral de arcilla que contenga. En la figura 1, se presentan en forma esquemática los cambios de consistencia de un suelo fino.

Límite Líquido ($L_w = LL$). Es el contenido de agua de un suelo remoldeado que delimita el estado de consistencia semi-líquido del plástico. La muestra de suelo presenta una resistencia al esfuerzo cortante de $\tau = 25 \text{ g/cm}^2$.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	36/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Límite Plástico (LP). Es el contenido de agua de un suelo remoldeado que delimita el estado de consistencia plástico del semisólido, para su obtención se requiere que la muestra se agriete cuando es amasada en cilindro de 3.2 mm de diámetro.

Límites de Plasticidad (LL y Lp). Son los límites líquido y plástico que definen el intervalo del estado plástico.

Límite Contracción (LC = LS). Es el contenido de agua de un suelo remoldeado que fija la frontera entre los estados de consistencia semisólido y sólido, la muestra se encuentra saturada y presenta un volumen mínimo,

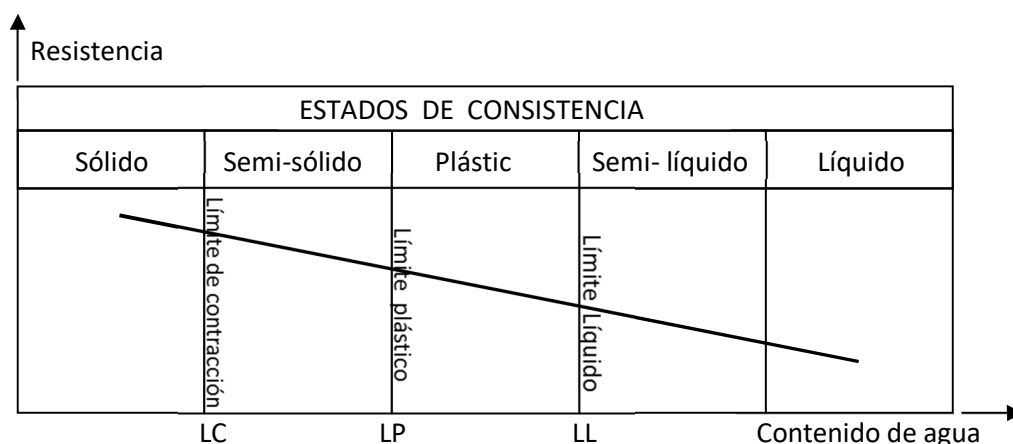


Figura 1. Variación cualitativa de la consistencia de un suelo fino con el contenido de agua.

Índice de plasticidad (IP). Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, y mide el intervalo de contenidos de agua en el cual el suelo tiene una consistencia plástica. La expresión (2) es el cálculo del índice plástico es:

$$I_p = LL - LP \quad (2)$$

Plasticidad. Es la consistencia un suelo fino, que le permite grandes deformaciones sin romperse, ni agrietarse y sin desmoronarse ante un esfuerzo aplicado, conservando la deformación al retirarse la carga.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	37/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Índice de contracción. ($I_c = I_s$): Es la diferencia entre el límite plástico y el límite semisólido (ecuación 3), y mide el intervalo de contenidos de agua en el cual el suelo presenta cambios volumétricos importantes.

$$I_c = LP - LC \quad (3)$$

Curva de Fluidez: Es el lugar geométrico de todos los puntos que relaciona el valor de la resistencia al esfuerzo cortante (τ) con el contenido de agua (w) de un suelo remoldeado, figura 2.

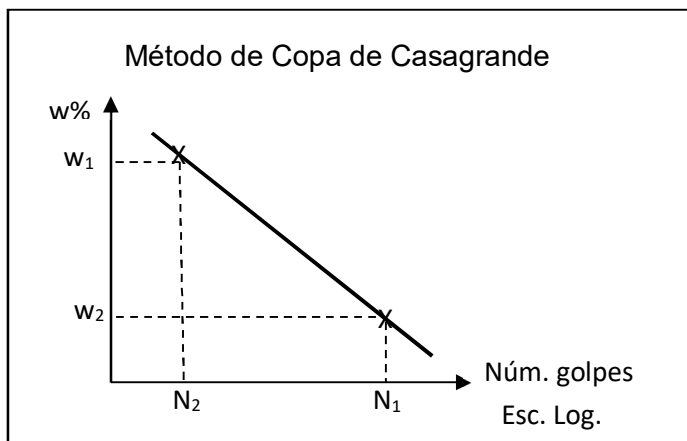


Figura 2. Curvas de fluidez.

Índice de fluidez (F_w): Es el valor de la pendiente de la curva de fluidez en el método de Copa de Casagrande, se calcula con la variación de contenido de agua correspondiente a un ciclo de la escala logarítmica, Figura 2. La expresión es:

$$F_w = \frac{w_2 - w_1}{N_2 - N_1} \quad (4)$$

Dónde: $w_1 \rightarrow$ Contenido de agua para el punto 1.

$w_2 \rightarrow$ Contenido de agua para el punto 2.

$N_1 \rightarrow$ Número de golpes para el punto 1.

$N_2 \rightarrow$ Número de golpes para el punto 2.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	38/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Índice de liquidez (I_w): El índice de liquidez sitúa el contenido de agua natural (w_n) respecto a los límites líquido (LL) y plástico (LP). Dicho índice tiene un valor de 0 para el contenido de agua del límite plástico y un valor de 1 para la del límite líquido. Se define en la expresión (5) como:

$$I_w = \frac{w_n - LP}{I_p} \quad (5)$$

Dónde: $w_n \rightarrow$ Contenido de agua natural.

Consistencia Relativa (C_r): Es el valor que indica en qué estado de consistencia se encuentra la muestra de suelo.

Se define como:

$$C_r = \frac{L_L - w_n}{IP} \quad (6)$$

Por lo tanto, si:

- $Cr < 0$ el estado de consistencia es semilíquido.
- $Cr = 0$ el contenido de agua corresponde al límite líquido.
- $0 < Cr < 1$ el estado de consistencia es plástico.
- $Cr = 1$ el contenido de agua corresponde al límite plástico.

Carta de Plasticidad.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	39/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

La carta de plasticidad está constituida por zonas que sitúan a los suelos finos con características de plasticidad definidas.

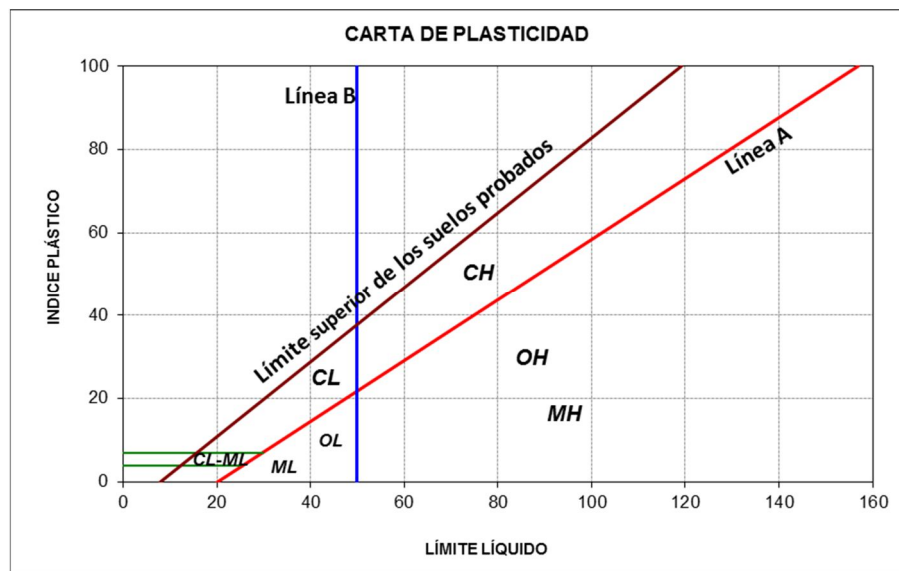


Figura 3. Carta de Plasticidad.

El Sistema de Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) define la simbología del nombre y la característica de los suelos finos por medio de las coordenadas del límite líquido e índice plástico en la carta de plasticidad, figura 3.

Línea A. Separa las arcillas (zona superior) de los limos (zona inferior), cuya ecuación es:

$$I_p = 0.73 (LL - 20) \quad (7)$$

Línea B. Es la recta vertical cuyo límite líquido tiene un valor constante de 50%, divide las características del suelo fino, baja plasticidad (zona izquierda) y alta plasticidad (zona derecha).

Límite superior de los suelos probados. Relaciona el índice de plasticidad respecto al límite líquido para cualquier suelo fino encontrado hasta ahora, corresponde a la zona inferior, la ecuación de la recta es:

$$I_p = 0.9 (LL - 8) \quad (8)$$

La simbología de la carta de plasticidad es:

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	40/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Suelo fino

C: arcilla

M: limo

O: orgánico

Característica

H Alta plasticidad

L Baja plasticidad

4. Material y Equipo

- Espátula abanico de 3 in.
- Espátula de cuchillo 1 in.
- Piseta con agua destilada.
- Vidrios de reloj.
- Balanza con aproximación de 0.01 g.
- Horno a temperatura de 110 ± 5 °C.
- Placa de vidrio de 40 x 40 cm.
- Placa de vidrio de 15 x 15 cm.
- Muestra de suelo fino alterada o inalterada, con humedad natural.



Figura 4. Equipo empleado para la obtención de los límites líquido y plástico.

Para Límite Líquido.

- Dispositivo para determinar el límite líquido: Copa de Casagrande.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	41/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- Ranurador plano tipo triangular.

Para Límite Plástico.

- Alambre de 3.2 mm (1/8").

5. Desarrollo

5.1 Determinación del Límite Líquido utilizando la Copa de Casagrande.

Actividad 1. Se formarán brigadas de 6 a 8 integrantes. Se proporcionarán a cada brigada el equipo y el material para trabajar.

Actividad 2. Registrar en el formato CDS-03, el número de vidrio (N_{vidrio}) y la masa de los vidrios de reloj (m_{vidrio}), previamente limpios y secos. Para la prueba de límite líquido se registran 4 vidrios y para el límite plástico, 3 vidrios.

Actividad 3. Se mezcla la muestra humedecida en un vidrio con ayuda de una espátula de abanico hasta hacerla homogénea, figura 5. En caso de requerir una consistencia diferente, extiende el material y raye con la espátula, después agregue agua con la piseta o seque con aire o toallita de papel, según el caso.



Figura 5. Remoldeo e hidratación del material.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	42/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 4. Con una espátula de cuchillo, se coloca en la Copa de Casagrande la muestra. Comprima fuertemente la espátula sobre la copa para provocar la salida de burbujas de aire atrapado y después embarre el material. La cantidad de material debe ser suficiente para cubrir un 60% de la capacidad, figura 6.



Figura 6. Colocación del material en la copa.

Actividad 5. Para materiales plásticos. Con el ranurador plano se hace una raya en el centro del material depositado, inclinándolo de manera que permanezca perpendicular a la superficie interior de la copa (figura 7), sus hombros deben mancharse ligeramente de material, así se verifica el espesor de capa, figura 8.



Figura 7. Colocación del ranurador



Figura 8. Ranura en el material.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	43/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Para arcillas arenosas, limo con poca plasticidad y algunos suelos orgánicos, se corta la ranura con una espátula o con un ranurador metálico curvo, se verifican las dimensiones de 2 mm de ancho.

Actividad 6. Después de asegurarse de que en el exterior de la copa y la base no contenga material embarrado (figura 9), se da vuelta a la manija a razón de dos golpes por cada segundo hasta que la ranura se cierre en una longitud de $\frac{1}{2}$ in (1.27 cm).



Figura 9. Limpieza de la base de la Copa de Casagrande.

Actividad 6. Contabilice el número de golpes necesarios y anótelos en el formato. Si el cierre de la ranura es irregular debido a burbujas de aire o granos de arena, se descarta el resultado obtenido.

Actividad 7. Retire el material de la copa, vuelva a mezclar el material y repita las operaciones indicadas en los puntos 4 a la 6, hasta que se obtengan dos determinaciones de golpes (N) con una diferencia de ± 1 golpe.

Actividad 8. Cuando se verifique la determinación de ± 1 golpe de diferencia, extraiga una porción de muestra próxima a la ranura con la espátula de cuchillo (figura 10) y colóquela en el vidrio de reloj (figura 11).

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	44/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

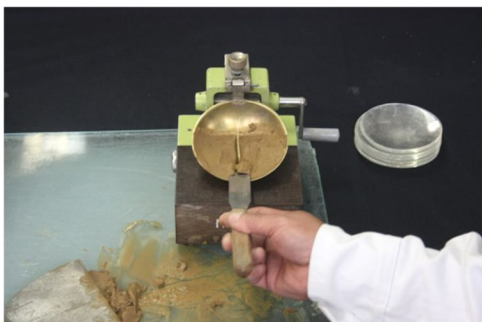


Figura 10. Extracción de muestra.

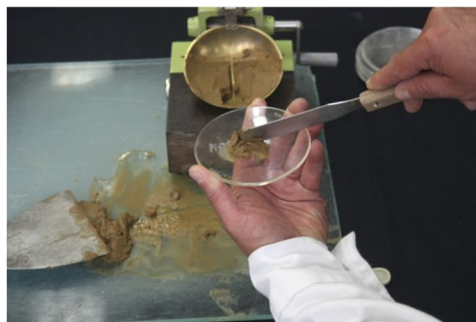


Figura 11. Colocación de muestra en vidrio.

Actividad 9. En seguida obtenga la masa del vidrio más suelo húmedo ($m_{\text{vidrio+suelo húmedo}}$).



Figura 12. Obtención de la masa de muestra del suelo húmedo

Actividad 10. Se repiten los pasos anteriores, hasta obtener cuatro determinaciones comprendidas entre 6 y 35 golpes. Se obtendrán 4 puntos, entre los rangos de 6 a 10, de 10 a 20, de 20 a 30 y 30 a 35.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	45/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

5.2 Determinación del Límite Plástico.

Actividad 11. Después de hidratar y remoldear el material, actividad 3, embarre el material en la superficie de una placa de vidrio cuadrado, 15 x15 cm, después con la ayuda de una espátula raye el material haciendo una cuadrícula, esto ayudará a secarse más rápido.

Actividad 11. Remueva con la espátula el material para formar una masilla con las manos, ésta debe estar con una consistencia que no se pegue ni que se rompa, forme una bolita y corte en tres porciones.

Actividad 12. Rolar la pequeña porción sobre una placa de vidrio (figura 13), bajo la palma de la mano o la base del pulgar hasta formar un cilindro de 1/8" de diámetro y de 10 cm de largo, aproximadamente. El diámetro del cilindro puede verificarse comparándolo con un alambre de 3.2 mm (1/8") de diámetro.



Figura 13. Rodamiento del cilindro.

Actividad 13. Se repite la operación tantas veces como sea necesario hasta que pierda humedad por evaporación y llegar al diámetro de especificado, logrando que el cilindro se agriete y/o se rompa en segmentos (figuras 14 y 15). En este momento colocar el rollito en los vidrios de reloj, y se obtiene la masa del vidrio más el cilindro húmedo ($m_{\text{vidrio+cilindro húmedo}}$).

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	46/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



Figura 14. Cilindro sin agrietarse.

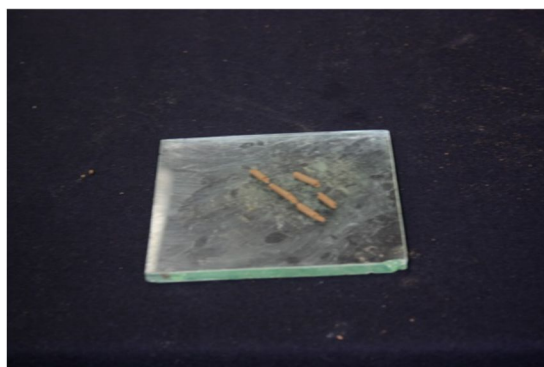


Figura 15. Cilindro agrietado.

Actividad 15. Los vidrios de reloj con las muestras se introducen en el horno durante 18 a 24 horas, figura 16, tanto las muestras para límite líquido y plástico. Al sacarlos, se dejan enfriar en un desecador, para después obtener la masa del vidrio con la masa de suelo seco ($m_{\text{vidrio+suelo seco}}$).



Figura 16. Muestras de suelo para secarlas al horno.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	47/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

6. Cálculos

6.1 Obtención del Límite Líquido por medio de la Copa de Casagrande.

Teniendo identificados los vidrios con su número (N_{vidrio}) y su valor de masa (m_{vidrio}), así como los valores obtenidos de las masas de vidrio con suelo húmedo ($m_{\text{vidrio+suelo húmedo}}$) y el vidrio con suelo seco ($m_{\text{vidrio+suelo seco}}$), se procede a calcular los contenidos de agua (w_i) correspondientes a los distintos números de golpes (N_i), con la expresión (9), sustituyendo los valores se tiene:

$$w\% = \frac{m_w}{m_s} \times 100 = \frac{m_{\text{vidrio+suelo húmedo}} - m_{\text{vidrio+suelo seco}}}{m_{\text{vidrio+suelo seco}} - m_{\text{tara}}} \times 100 \quad (9)$$

Construya la curva de fluidez con los valores de los contenidos de agua (w_i) y su correspondiente número de golpes (N_i), trace la recta que mejor se ajuste, y obtenga el límite líquido (LL).

El valor del LL es la ordenada de la recta, correspondiente a una abscisa de 25 golpes, figura 17.

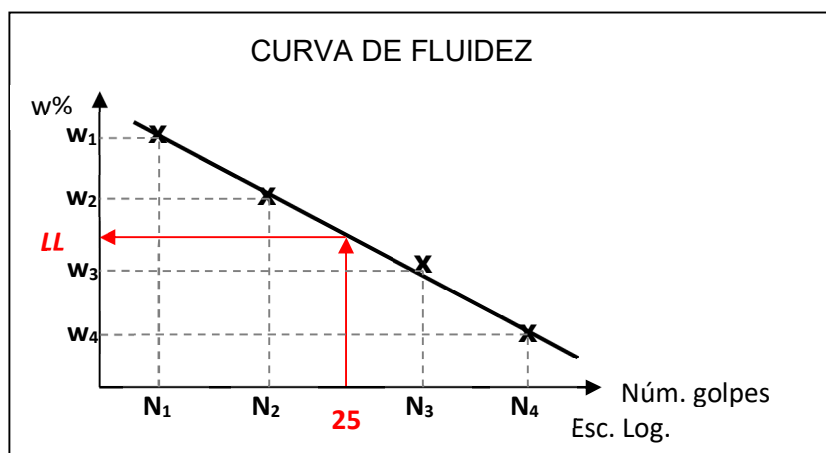


Figura 17. Trazo para la obtención del límite líquido.

Obtenga el índice de fluidez (F_w) con ayuda de la expresión (4).

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	48/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

6.2 Obtención del Límite Plástico.

Obtenga los contenidos de agua por medio de la expresión (14), sustituyendo los valores de la masa de vidrio (m_{vidrio}), la masa del vidrio más el cilindro húmedo ($m_{\text{vidrio+cilindro húmedo}}$) y la masa de vidrio más cilindro seco ($m_{\text{vidrio+cilindro seco}}$).

$$w\% = \frac{m_w}{m_s} \times 100 = \frac{m_{\text{vidrio+cilindro húmedo}} - m_{\text{vidrio+cilindro seco}}}{m_{\text{vidrio+cilindro seco}} - m_{\text{vidrio}}} \times 100 \quad (14)$$

Si la diferencia de los contenidos no es mayor de 1.5 unidades, se considera que el límite plástico (LP) es igual al promedio. En caso contrario, se repite el ensaye.

6.3 Cálculo del índice plástico.

Calcule el valor del índice plástico (I_p) con la expresión (2).

6.4 Clasificación del suelo fino.

Clasifique el suelo por medio de la carta de plasticidad o por medio de la expresión (8).

6.5 Cálculo del índice de liquidez y consistencia relativa.

Obtenga el índice de liquidez (I_w) y la consistencia relativa (C_r) con las expresiones (5) y (6) respectivamente.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	49/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

7. Presentación de resultados

Formato CDS - 03 (Límite líquido con copa de Casagrande y límite plástico), figura 18.

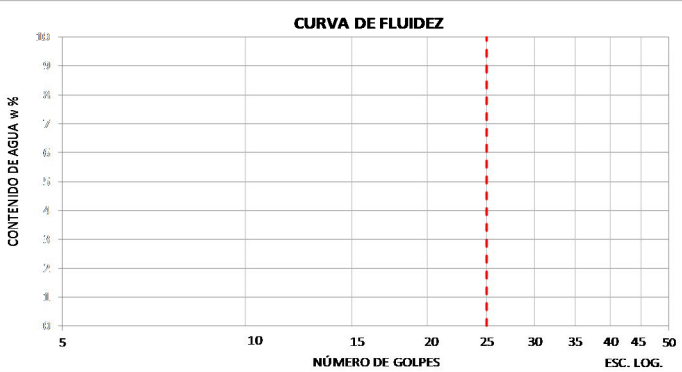
		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIO DE GEOTÉCNIA						
CDS-03 LÍMITES DE CONSISTENCIA								
OBRA : _____			MUESTRA : _____					
LOCALIZACIÓN : _____			DESCRIPCIÓN : _____					
SONDEO : _____			FECHA : _____					
PROFUNDIDAD : _____								
CONTENIDO DE AGUA NATURAL								
PRUEBA	CÁPSULA	MASA DE LA CÁPSULA	MASA DE CÁPSULA MÁS SUELO HÚMEDO	MASA DE CÁPSULA MÁS SUELO SECO	MASA DEL AGUA	MASA DEL SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA	
No.	No.	m_{cap} g	$m_{cap} + m_{th}$ g	$m_{cap} + m_s$ g	m_w g	m_s g	$w = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100$ %	
1								
2								
PROMEDIO =								
LÍMITE LÍQUIDO								
PRUEBA	No. DE GOLPES	VIDRIO	MASA DE LA VIDRIO	MASA DE VIDRIO MAS SUELO HUMEDO	MASA DE VIDRIO MAS SUELO SECO	MASA DEL AGUA	MASA DEL SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
No.	1 2 3	No.	g	g	g	g	g	%
1								
2								
3								
4								
LÍMITE PLÁSTICO								
PRUEBA	VIDRIO	MASA DE LA VIDRIO	MASA DE VIDRIO MAS SUELO HUMEDO	MASA DE VIDRIO MAS SUELO SECO	MASA DEL AGUA	MASA DEL SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA	
No.	No.	g	g	g	g	g	%	
1								
2								
3								
PROMEDIO =								
CURVA DE FLUIDEZ  $w \% =$ _____ $LL \% =$ _____ $LP \% =$ _____ $IP \% = LL - LP =$ _____ $F_w = \frac{w_2 - w_1}{\log \left(\frac{N_2}{N_1} \right)} =$ _____ $IL = \frac{w - LP}{IP} =$ _____ $T_w = \frac{IP}{F_w} =$ _____								
ECUACIONES PARA CLASIFICAR UN SUELO FINO "A" I. P. = $0.73(LL - 20)$ = _____ % "B" L. L. = 50% > _____ % "U" I. P. = $0.90(LL - 8)$ = _____ %								
CLASIFICACIÓN DEL SUCS = _____								

Figura 18. Formato CDS-03

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	50/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

8. Conclusiones

En este apartado el alumno comentará si se cubrieron los objetivos de la práctica, hará una discusión sobre los factores más importantes que influyen en el ensaye y propondrá la aplicación o las restricciones del uso de estos materiales en la ingeniería civil en función de su comportamiento estudiado.

9. Limpieza del equipo empleado

Lave y seque el equipo utilizado

10. Responsabilidades

El profesor de prácticas es el responsable de la implantación de estos procedimientos.

Los alumnos son los responsables de su aplicación en el laboratorio.

Los laboratoristas son los responsables de proporcionar los materiales y equipos para la ejecución de este procedimiento.

11. Referencias

Secretaría de recursos hidráulicos; Manual de Mecánica de Suelos, México, 1990.

Juárez Badillo E. y Rico Rodríguez A., Mecánica de Suelos, Tomo I, Segunda Edición, México, 1980.

Norma BS 1377, Part 2: 1990.

Norma ASTM D4318-00.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	51/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 4

Permeabilidad



Pruebas de permeámetro de carga constante y variable.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	52/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1. Seguridad en la ejecución.

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Ninguno	Ninguno

2. Objetivos de aprendizaje.

2.1 Objetivo general.

El alumno determinará el coeficiente de permeabilidad de una muestra de suelo grueso por medio de medición directa, con ayuda del permeámetro de carga constante y variable.

2.2 Objetivos específicos:

- El alumno operará y medirá el gasto de salida del permeámetro de carga constante, para obtener la permeabilidad de un suelo arenoso.
- El alumno operará y medirá la carga hidráulica del permeámetro de carga variable, para obtener la permeabilidad de un suelo limo-arenoso.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	53/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3. Introducción

Permeabilidad. Se entiende por permeabilidad de los suelos a la facilidad con la que el agua pasa a través de sus poros.

La permeabilidad de los suelos se define como la velocidad de flujo producida por un gradiente hidráulico unitario, para condición de régimen laminar.

$$k = \frac{V}{i} \quad (1)$$

Dónde: $k \rightarrow$ coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica, en cm/s

$V \rightarrow$ velocidad media de filtración, en cm/s

$i \rightarrow$ gradiente hidráulico, adimensional

Factores que influyen en la permeabilidad del suelo. La permeabilidad se ve afectada por diversos factores inherentes tanto al suelo como a las características de agua circulante. Los factores principales son:

- a) La relación de vacíos del suelo
- b) La estructura y estratificación del suelo
- c) La existencia de agujeros, fisuras, etc., en el suelo
- d) La viscosidad del agua, que varía con la temperatura

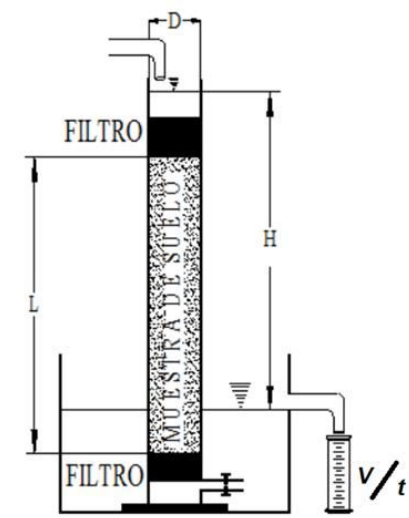
Rangos de valores de permeabilidad de acuerdo al tipo de suelos, tabla 1.

TABLA No 1. RANGOS DE PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS.

k (cm/s)	SUELOS		TIPO DE DRENAJE
10^2	GRAVAS LIMPIAS		MUY BUEN DRENAJE
10^1			
10^0			
10^{-1}			

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	54/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

10 ⁻²	ARENAS LIMPIAS MEZCLAS GRAVA-ARENA	ARCILLAS FISURADAS Y ALTERADAS	BUEN DRENAJE
10 ⁻³			
10 ⁻⁴			
10 ⁻⁵	ARENAS MUY FINAS, LIMOS Y ARENAS LIMOSAS		MAL DRENAJE
10 ⁻⁶			
10 ⁻⁷	LIMOS ARCILLOSOS		
10 ⁻⁸	ARCILLAS (NO FISURADAS)		PRÁCTICAMENTE IMPERMEABLES
10 ⁻⁹			



Permeámetro de carga constante. La prueba consiste en mantener un flujo de agua por medio de una carga hidráulica H constante, a una muestra de suelo de área transversal A (cm²) y longitud L (cm), confinada en el tubo, se mide el volumen de agua V (cm³) que pasa en un intervalo de tiempo t (s), figura 1A.

El permeámetro está constituido por un cilindro de acrílico de pared rígida y lisa, los niveles de agua de entrada y salida se mantienen constantes por medio de vertedores. La pérdida de la carga hidráulica depende únicamente de la diferencia entre estos los niveles de agua, figura 1.

Figura 1. Esquema del Permeámetro de carga constante.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	55/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Permeámetro de carga variable. La prueba consiste en medir el tiempo t (s) que tarda en bajar el nivel de agua inicial h_1 (cm) a una marca de nivel de agua final h_2 (cm) en el tubo alimentador, por lo consiguiente el volumen del agua del tubo alimentador con área transversal a (cm²) es el mismo que atraviesa a la muestra de suelo con longitud L (cm) y área transversal A (cm²). figura 2.

El permeámetro está constituido por un cilindro de acrílico de pared rígida y lisa donde se aloja la muestra de suelo, en la parte superior se tiene un tapón de hule donde se encuentra un tubo alimentador que es llenado de agua. La cantidad de agua que atraviesa en la muestra de suelo se mide por diferencia de niveles en el tubo alimentador.

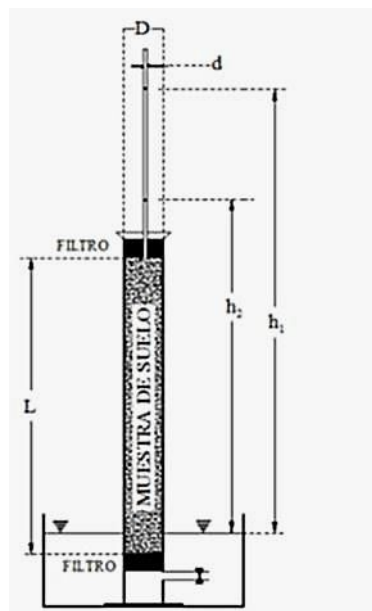


Figura 2. Permeámetro de carga variable.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	56/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

4. Material y Equipo.

- Permeámetro de carga constante.
- Permeámetro de carga variable.
- Cronómetro.
- Probeta graduada.
- Termómetro.
- Flexómetro.
- Vernier.
- Báscula de precisión 0.01 g .

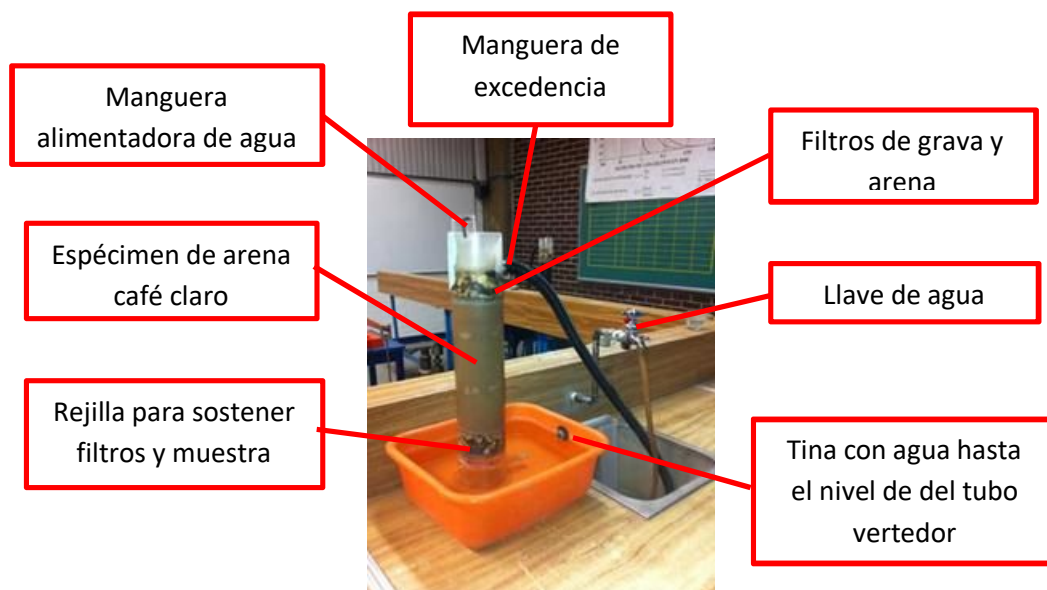


Figura 3. Permeámetro de carga constante.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	57/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

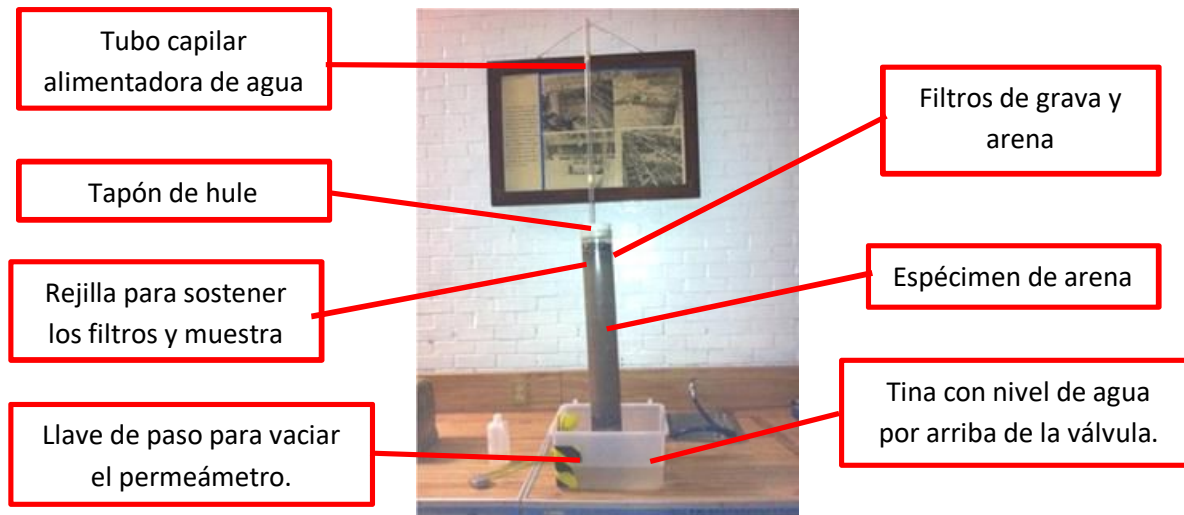


Figura 4. Permeámetro de carga constante.

5. Desarrollo

5.1 ENSAYE CON PERMEÁMETRO DE CARGA CONSTANTE.

Actividad 1. Medir el diámetro interior (D) del permeámetro con la ayuda de un vernier y el largo de la muestra (L) con el flexómetro, anotar los datos en el formato CDS-04A.

Actividad 2. Abrir la llave de alimentación del agua y quitar el tapón de hule inferior del permeámetro, para permitir la circulación del agua en la muestra.

Actividad 3. Esperar el tiempo suficiente para que el flujo de agua se estabilice.

Actividad 4. Medir la carga hidráulica (H), distancia entre los espejos de agua de entrada y salida.

Actividad 5. Obtener la masa de la probeta graduada (m_p) con una aproximación de 0.01 g.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	58/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 6. Poner en cero el cronómetro, al momento de iniciar a la recolección del agua de salida del permeámetro en la probeta graduada accionar el cronómetro para la toma de tiempo. se sugiere que la primera toma sea de 2 min.

Actividad 7. Retirar la probeta del permeámetro y detener el tiempo del cronómetro.

Actividad 8. Obtener el volumen de agua recolectado, leyendo la graduación correspondiente en la parte inferior del menisco.

Actividad 9. Obtener la masa de la probeta con el agua recolectada (m_{p+w}).

Actividad 10. Verificar el volumen recolectado por medio de la masa del agua, usando la expresión (2).

$$V = \frac{m_w}{\rho} = \frac{(m_{p+w} - m_p)}{\rho} \quad (2)$$

Dónde: $V \rightarrow$ Volumen de agua recolectada, en cm^3 .

$m_w \rightarrow$ Masa de agua recolectada, en g.

$m_{p+w} \rightarrow$ Masa de probeta más agua, en g.

$m_p \rightarrow$ Masa de probeta, en g.

$\rho \rightarrow$ Densidad del agua igual a $1 g/cm^3$.

Actividad 11. Con el termómetro, medir la temperatura del agua (T) del permeámetro.

Actividad 12. Obtener por lo menos 4 tomas de lecturas de volumen de agua a diferentes tiempos.

Para las siguientes cuantificaciones del volumen de agua, se sugiere utilizar la misma probeta sin vaciar el agua recolectada.

Una vez obtenida la masa de la probeta con agua (m_{p+w}), recolectar el volumen de agua de salida para la siguiente toma de lectura, se sugiere aumentar el intervalo de tiempo.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	59/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 13. Obtener la nueva masa de la probeta con el agua recolectada ($m_{(p+w)i}$) en la báscula.

Actividad 14. La expresión (3) cuantificar la nueva masa de agua (m_w) recolectada.

$$m_w = m_{(p+w)i} - m_{p+w} \quad (3)$$

Dónde: $m_{(p+w)i} \rightarrow$ Masa de probeta más agua en la última toma

$m_{p+w} \rightarrow$ Masa de probeta más agua en la toma anterior

Actividad 15. Obtener el volumen de agua recolectado en el intervalo de tiempo de cada evento, usar la expresión (2).

Actividad 16. Registrar la temperatura después de cada toma de lectura.

Actividad 17. Al terminar la prueba, colocar el tapón de hule en el permeámetro y cerrar la llave de alimentación, así se evitará que se vacíe el agua de la muestra.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	60/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

5.2 ENSAYE CON PERMEÁMETRO DE CARGA VARIABLE.

Actividad 1. Medir el diámetro interior (D) de tubo del permeámetro con vernier, la longitud (L) de la muestra con flexómetro y el diámetro (d) del tubo alimentador con vernier, anotarlos en el formato CDS-04B.

Actividad 2. Medir y anotar las alturas de las marcas de llenado (h_1) y vaciado (h_2) del tubo alimentador respecto al nivel de agua donde se encuentra el permeámetro.

Actividad 3. Llenar el tubo alimentador por arriba de la marca de llenado (h_1), se sugiere 5 cm más.

Actividad 4. Abrir la válvula inferior de permeámetro para permitir que el agua circule en la muestra.

Actividad 6. Al momento que el nivel de agua baje y pase en la marca de llenado (h_1), accionar el cronómetro. Parar el cronómetro hasta que el nivel de agua llegue a la marca de vaciado (h_2).

Actividad 7. Anotar el tiempo que tardó el nivel de agua en bajar de la marca (h_1) a la marca (h_2).

Actividad 8. Tomar la temperatura del agua del permeámetro.

Actividad 9. Se sugiere realizar la prueba por lo menos 4 veces, para ello se repiten los pasos a partir del inciso 3.

Actividad 10. Al terminar la prueba cerrar la válvula inferior del permeámetro y mantener con agua el tubo alimentador, así se evitará que se vacíe el agua de la muestra.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	61/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

6. Cálculos

6.1 Para el ensaye de permeámetro de carga constante.

Obtener:

Área transversal de la muestra de suelo usando la expresión (4)

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (4)$$

Dónde: $A \rightarrow$ Área transversal de la muestra, en cm^2

$D \rightarrow$ Diámetro interior del permeámetro, en cm

Gasto de salida.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (5)$$

Dónde: $Q \rightarrow$ Gasto de salida, en cm^3/s

$V \rightarrow$ Volumen de agua, en cm^3

$t \rightarrow$ tiempo de recolección, en s

Coeficiente de Permeabilidad

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	62/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

$$k = \frac{V L}{t A h} \quad (6)$$

Dónde: $k \rightarrow$ Coeficiente de permeabilidad, en cm/s

$L \rightarrow$ Longitud de muestra del suelo, en cm

$h \rightarrow$ Carga hidráulica, en cm

6.2 Para el ensaye de permeámetro de carga variable.

Calcular. Área transversal del tubo alimentador usando la expresión (7)

$$a = \frac{\pi d^2}{4} \quad (7)$$

Dónde: $a \rightarrow$ Área transversal del tubo alimentador, en cm^2

$d \rightarrow$ Diámetro interior del tubo alimentador, en cm

Coeficiente de Permeabilidad, ecuación (8).

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	63/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

$$k = \frac{a L}{A t} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (8)$$

Dónde: $k \rightarrow$ Coeficiente permeabilidad, en cm/s

$L \rightarrow$ Longitud de la muestra de suelo, en cm

$T \rightarrow$ Tiempo requerido para que la carga hidráulica pase de h_1 a h_2 , en s .

$h_1 \rightarrow$ Carga hidráulica al principio de la prueba, en cm

$h_2 \rightarrow$ Carga hidráulica al final de la prueba, en cm

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	64/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Coeficiente de Permeabilidad corregido por temperatura

$$k_{20^{\circ}C} = k_T \frac{\eta_T}{\eta_{20^{\circ}C}} \quad (9)$$

Dónde: $k_T \rightarrow$ Coeficiente de permeabilidad promedio, en cm/s

$\eta_T \rightarrow$ Viscosidad cinemática del agua a temperatura promedio, en cm

$\eta_{20^{\circ}C} \rightarrow$ Viscosidad cinemática del agua a temperatura a $20^{\circ}C$, en cm^2/s

TABLA No 2. DENSIDAD Y VISCOSIDAD DEL AGUA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.

TEMPERATURA	DENSIDAD	VISCOSIDAD
$^{\circ}C$	g / cm^3	$g / (cm s)$
4	1.00000	0.01567
16	0.99897	0.01111
17	0.99880	0.01083
18	0.99862	0.01056
19	0.99844	0.01030
20	0.99823	0.01005
21	0.99802	0.00981
22	0.99780	0.00958
23	0.99757	0.00936
24	0.99733	0.00914
25	0.99708	0.00894
26	0.99682	0.00874
27	0.99655	0.00855
28	0.99627	0.00836
29	0.99598	0.00818
30	0.9957	0.00801

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	65/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

7. Presentación de resultados

Formatos CDS- 04A y CDS- 04B, figuras 5 y 6.

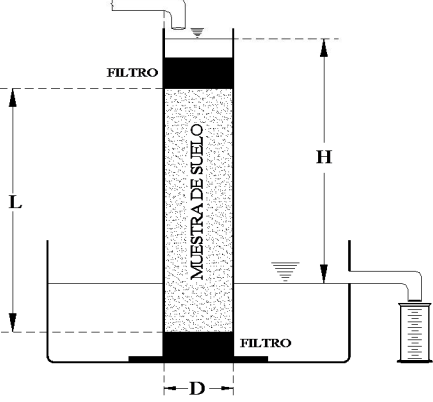
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIO DE GEOTÉCNIA																																																									
<table border="1"> <tr> <td>PROYECTO</td> <td>_____</td> <td>SONDEO</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>LOCALIZACIÓN</td> <td>_____</td> <td>MUESTRA</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>DESCRIPCIÓN</td> <td>_____</td> <td>PROF. (m)</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td></td> <td>_____</td> <td>FECHA</td> <td>_____</td> </tr> </table>			PROYECTO	_____	SONDEO	_____	LOCALIZACIÓN	_____	MUESTRA	_____	DESCRIPCIÓN	_____	PROF. (m)	_____		_____	FECHA	_____																																								
PROYECTO	_____	SONDEO	_____																																																							
LOCALIZACIÓN	_____	MUESTRA	_____																																																							
DESCRIPCIÓN	_____	PROF. (m)	_____																																																							
	_____	FECHA	_____																																																							
PRUEBA DE PERMEABILIDAD CARGA CONSTANTE CDS - 04A																																																										
 <table border="1"> <tr> <th colspan="3">DIMENSIONES DEL ESPECIMEN DE SUELO</th> </tr> <tr> <td>DIÁMETRO</td> <td>$D =$ _____</td> <td>cm</td> </tr> <tr> <td>LONGITUD</td> <td>$L =$ _____</td> <td>cm</td> </tr> <tr> <td>ÁREA TRANSVERSAL</td> <td>$A =$ _____</td> <td>cm²</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>CARGA HIDRÁULICA</td> <td>$H =$ _____</td> <td>cm</td> </tr> <tr> <td>MASA RECIPIENTE</td> <td>$M_r =$ _____</td> <td>g</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <th colspan="2">COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD</th> </tr> <tr> <td align="center" colspan="2"> $k = \frac{V L}{H \Delta t} = \frac{Q L}{A H}$ </td> </tr> </table>			DIMENSIONES DEL ESPECIMEN DE SUELO			DIÁMETRO	$D =$ _____	cm	LONGITUD	$L =$ _____	cm	ÁREA TRANSVERSAL	$A =$ _____	cm ²	CARGA HIDRÁULICA	$H =$ _____	cm	MASA RECIPIENTE	$M_r =$ _____	g	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD		$k = \frac{V L}{H \Delta t} = \frac{Q L}{A H}$																																			
DIMENSIONES DEL ESPECIMEN DE SUELO																																																										
DIÁMETRO	$D =$ _____	cm																																																								
LONGITUD	$L =$ _____	cm																																																								
ÁREA TRANSVERSAL	$A =$ _____	cm ²																																																								
CARGA HIDRÁULICA	$H =$ _____	cm																																																								
MASA RECIPIENTE	$M_r =$ _____	g																																																								
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD																																																										
$k = \frac{V L}{H \Delta t} = \frac{Q L}{A H}$																																																										
<table border="1"> <tr> <th align="center" colspan="7">REGISTRO DE PRUEBA</th> </tr> <tr> <th>PRUEBA No.</th> <th>TEMPERATURA $T (^{\circ}\text{C})$</th> <th>MASA RECIP.+ AGUA $M_r + AGUA$ (g)</th> <th>VOLUMEN V (cm³)</th> <th>TIEMPO t (s)</th> <th>GASTO Q (cm³/s)</th> <th>COEF. PERMEABILIDAD k (cm/s)</th> </tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td align="center" colspan="5">PROMEDIO</td> <td>$k_T =$</td> <td></td> </tr> </table>			REGISTRO DE PRUEBA							PRUEBA No.	TEMPERATURA $T (^{\circ}\text{C})$	MASA RECIP.+ AGUA $M_r + AGUA$ (g)	VOLUMEN V (cm ³)	TIEMPO t (s)	GASTO Q (cm ³ /s)	COEF. PERMEABILIDAD k (cm/s)	1							2							3							4							5							PROMEDIO					$k_T =$	
REGISTRO DE PRUEBA																																																										
PRUEBA No.	TEMPERATURA $T (^{\circ}\text{C})$	MASA RECIP.+ AGUA $M_r + AGUA$ (g)	VOLUMEN V (cm ³)	TIEMPO t (s)	GASTO Q (cm ³ /s)	COEF. PERMEABILIDAD k (cm/s)																																																				
1																																																										
2																																																										
3																																																										
4																																																										
5																																																										
PROMEDIO					$k_T =$																																																					
<table border="1"> <tr> <th align="center">CORRECCIÓN POR TEMPERATURA</th> </tr> <tr> <td> $k_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{k_T \times \eta_T}{\eta_{20^{\circ}\text{C}}}$ </td> </tr> <tr> <td> $\eta_{20^{\circ}\text{C}} =$ _____ $\eta_T =$ _____ </td> </tr> </table>			CORRECCIÓN POR TEMPERATURA	$k_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{k_T \times \eta_T}{\eta_{20^{\circ}\text{C}}}$	$\eta_{20^{\circ}\text{C}} =$ _____ $\eta_T =$ _____																																																					
CORRECCIÓN POR TEMPERATURA																																																										
$k_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{k_T \times \eta_T}{\eta_{20^{\circ}\text{C}}}$																																																										
$\eta_{20^{\circ}\text{C}} =$ _____ $\eta_T =$ _____																																																										
<table border="1"> <tr> <th align="center">PERMEABILIDAD A 20 °C</th> </tr> <tr> <td> $k_{20^{\circ}\text{C}} =$ _____ cm / s </td> </tr> <tr> <td>GRADO DE PERMEABILIDAD _____</td> </tr> <tr> <td>SUELO f(k) _____</td> </tr> </table>			PERMEABILIDAD A 20 °C	$k_{20^{\circ}\text{C}} =$ _____ cm / s	GRADO DE PERMEABILIDAD _____	SUELO f(k) _____																																																				
PERMEABILIDAD A 20 °C																																																										
$k_{20^{\circ}\text{C}} =$ _____ cm / s																																																										
GRADO DE PERMEABILIDAD _____																																																										
SUELO f(k) _____																																																										

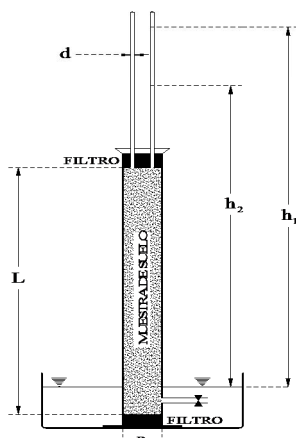
Figura 5. Formato CDS-04A.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	66/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIO DE GEOTÉCNIA	
---	--	---

PROYECTO	_____	SONDEO	_____
LOCALIZACIÓN	_____	MUESTRA	_____
DESCRIPCIÓN	_____	PROF. (m)	_____
	_____	FECHA	_____

**PRUEBA DE PERMEABILIDAD
CARGA VARIABLE CDS - 04B**



DIMENSIONES DEL ESPECIMEN DE SUELO		
DIÁMETRO MAYOR	$D =$	_____ cm
DIÁMETRO MENOR	$d =$	_____ cm
LONGITUD	$L =$	_____ cm
ÁREA TRANS. MAYOR	$A =$	_____ cm ²
ÁREA TRANS. MENOR	$a =$	_____ cm ²

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD
$k = \frac{2.303 \times a \times L \times \left(\log_{10} \frac{h_1}{h_2} \right)}{A \times t}$

REGISTRO DE PRUEBA					
PRUEBA No.	TEMPERATURA $T (^{\circ}C)$	ALTURA INICIAL h_1 (cm)	ALTURA FINAL h_2 (cm)	TIEMPO t (s)	COEF. PERMEABILIDAD k (cm/s)
1					
2					
3					
4					
5					
PROMEDIO				$k_T =$	

CORRECCIÓN POR TEMPERATURA $k_{20^{\circ}C} = \frac{k_T \times \eta_t}{\eta_{20^{\circ}C}}$
$\eta_{20^{\circ}C} =$ _____ $\eta_T =$ _____

PERMEABILIDAD A 20 °C $k_{20^{\circ}C} =$ _____
GRADO DE PERMEABILIDAD _____
SUELO f(k) _____

Figura 6. Formato CDS-04B.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	67/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

8. Conclusiones

En este apartado el alumno comentará si se cubrieron los objetivos de la práctica, hará una discusión sobre los factores más importantes que influyen en el ensaye y propondrá la aplicación o las restricciones del uso de estos materiales en la ingeniería civil en función de su comportamiento estudiado.

9. Responsabilidades

- El profesor de prácticas es el responsable de la implantación de estos procedimientos.
- Los alumnos son los responsables de su aplicación en el laboratorio.
- Los laboratoristas son los responsables de proporcionar los materiales y equipos para la ejecución de este procedimiento.

10. Referencias

Secretaría de recursos hidráulicos; Manual de Mecánica de Suelos 1990.

Eulalio Juárez Badillo y Alfonso Rico; Mecánica de Suelos Tomo 1, Quinta Edición. 1980.

ASTM D Standard D 2434 Test Method for permeability of granular soils.

Head, K. H., "Manual of Soil Laboratory Testing", Vols. 1, Second Edition, Pentech Press, London. 1994.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	68/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 5

Consolidación



	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	69/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Ninguno	Ninguno

2. Objetivo general

El alumno aprenderá a determinar con el ensaye de consolidación, la curva de compresibilidad y los parámetros de consolidación.

3. Objetivos específicos

El alumno realizará la prueba de consolidación en probetas inalteradas de suelo fino saturadas, labrando, montando y aplicando incrementos de carga cada 24 horas.

El alumno obtendrá las curvas de consolidación de 5 días de prueba, para obtener los coeficientes de consolidación.

El alumno conocerá los cuidados necesarios para llevar a cabo este ensaye.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	70/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

4. Introducción

LA TEORIA ORIGINAL DE TERZAGHI.

El Dr. Terzaghi propuso para la interpretación del fenómeno de consolidación de los suelos bajo un incremento de carga total constante aplicado en el tiempo cero, la conocida ecuación diferencial (Terzaghi, 1925).

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (1)$$

Donde:	C_v	coeficiente de consolidación
	u	exceso de presión hidrostática
	z	profundidad
	t	tiempo

Esta teoría se basa en las siguientes hipótesis:

- La masa de suelo está saturada, es homogénea e isótropa
- El agua y los granos de suelo son incompresibles
- El incremento de carga se aplica instantáneamente.
- Un cambio en el esfuerzo efectivo provoca un cambio en la oquedad.
- El cambio en la relación de vacíos (o deformación volumétrica) se aproxima a un valor finito, al final del proceso de consolidación.
- El agua expulsada sólo corresponde al agua libre o gravitacional que sale de los poros de la estructura de suelo, por lo que la ley de Darcy se considera válida.
- La compresión del suelo y la trayectoria del drenaje del agua son unidimensionales en la dirección de la compresión.
- Los coeficientes de permeabilidad y compresibilidad del suelo permanecen constantes para un incremento de presión determinado.

El propósito de la teoría es encontrar las condiciones esfuerzo-cambio volumétrico en cualquier punto en un tiempo determinado, durante el cual la masa se encuentra sometida a una carga sostenida.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	71/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Consolidación. Es cambio volumétrico (ΔV) que experimenta un suelo totalmente saturado por la aplicación de un incremento de esfuerzo sostenido ($\Delta\sigma$) a través del tiempo (t) reduciendo el volumen de vacíos (e) por la expulsión de agua.

- a) El modelo de Kelvin que es equivalente al modelo de Terzaghi, toma en cuenta la consolidación primaria. El amortiguador Newtoniano del modelo tiene una fluidez lineal (ϕ_l) y el elemento resistente cuanta con a una compresibilidad (α_l).

$$\Delta H = m_v * \Delta\sigma * H$$

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta\sigma'} \quad ; \quad m_v = \frac{a_v}{1+e_0} \quad ; \quad c_v = \frac{T_{50}}{t_{50}} H_e^2 \quad ; \quad k = m_v \cdot c_v \cdot \gamma_w$$

Dónde: $\Delta H \rightarrow$ Asentamiento total.

$\Delta\sigma \rightarrow$ Incremento de esfuerzos.

$a_v \rightarrow$ Módulo de compresibilidad unitario.

$\Delta e \rightarrow$ Variación de la relación de vacíos.

$\Delta\sigma' \rightarrow$ Variación de esfuerzos efectivos.

$m_v \rightarrow$ Coeficiente de compresibilidad volumétrica.

$e_0 \rightarrow$ Relación de vacíos inicial.

$c_v \rightarrow$ Coeficiente de consolidación.

$T_{50} \rightarrow$ Factor tiempo.

$t_{50} \rightarrow$ Tiempo de consolidación primaria al 50%.

$H_e \rightarrow$ Espesor efectivo.

$H \rightarrow$ Espesor del estrato.

$k \rightarrow$ Coeficiente de permeabilidad.

$\gamma_w \rightarrow$ Peso específico del agua.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	72/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Curva de consolidación. Es la relación de las deformaciones verticales (δ_v) respecto al tiempo (t) para un incremento de carga ($\Delta\sigma$). Figura 1.

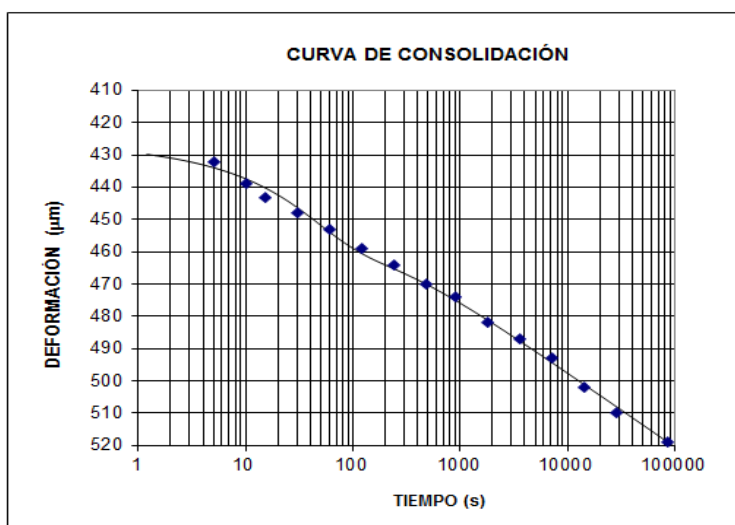


Figura 1. Curva de consolidación

Curva de compresibilidad o curva odométrica. Es la relación entre el cambio volumétrico (Δe o ΔV) respecto al esfuerzo efectivo (σ'_v) para la carga sostenido en 24 horas. En esta curva se define la carga de preconsolidación (σ'_b). Figura 2.

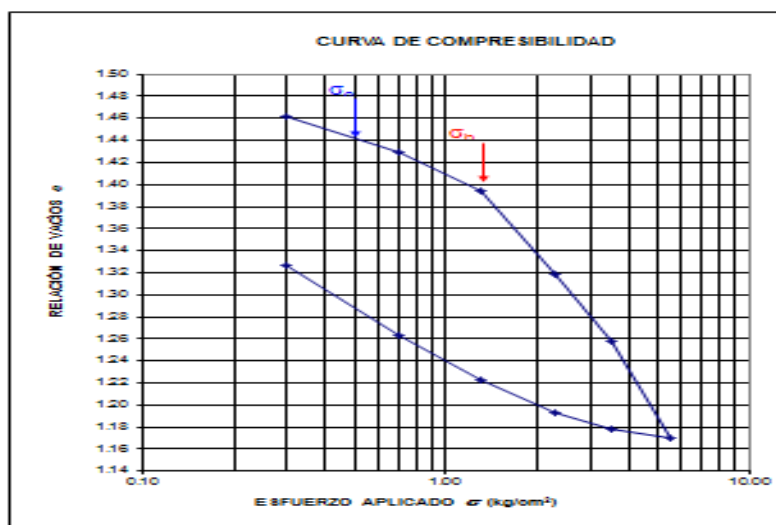


Figura 2. Curva de compresibilidad.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	73/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

5. Material y Equipo

- Báscula con aproximación de 0.01 gr.
- Torno de labrado.
- Cortador de arco.
- Cuchilla.
- Vernier con aproximación de 0.01 cm.
- Cápsula.
- Horno.
- Consolidómetro
- Cazuela con aditamentos (anillos, piedras porosas, balin, placas).
- Franelas.
- Algodón
- Ligas
- Tijeras
- Plástico autoadherible



Figura 3. Equipo utilizado.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	74/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

6. Desarrollo

Los alumnos formaran brigadas de 6 a 8 integrantes.

6.1 Programación de secuencia de cargas.

Actividad 1. Estimar el esfuerzo vertical efectivo de campo σ'_v , en función de la profundidad, densidades del suelo y nivel de aguas freáticas.

Actividad 2. Obtener la resistencia a la compresión simple (q_u) del suelo fino saturado mediante torcómetro o penetrómetro. Figuras 4 y 5.



Figura 4. Prueba de penetrómetro de bolsillo.



Figura 5. Prueba de torcómetro de bolsillo.

Actividad 3. Obtenga el valor teórico de la carga de preconsolidación (σ_b), por medio de la expresión (3), propuesta por Zeervaert (1984).

$$\sigma_b = 1.5 q_u \quad (3)$$

Actividad 4. Para programar la secuencia de cargas en la prueba, distribuya el número y la magnitud de incrementos de esfuerzos dentro del rango de σ'_v y σ_b . En la tabla 1, se presenta una sugerencia para la secuencia de cargas.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	75/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 1. Secuencia de cargas.

Número de incremento	Magnitud
1	Menor a σ'_v
2, 3 y 4	Entre σ'_v y σ_b
5 y 6	Mayores a σ_b

6.2 Preparación de la muestra.

Actividad 5. Medir la *altura* y el *diámetro* interior del anillo de consolidación y registrarlos en el formato CDS-05A. Se obtiene la masa del anillo y de las dos placas de vidrio. Se dejan saturar las piedras porosas y los papales filtros en agua destilada.

Actividad 6. Cortar una porción de la muestra inalterada, cuyo espesor sea el doble de la altura del anillo de consolidación y de tamaño ligeramente mayor que el diámetro interior del anillo. Se labra la muestra de forma que tenga dos caras paralelas orientadas perpendicularmente a la dirección en que han de aplicarse los esfuerzos en la prueba.

Actividad 7. Se coloca el anillo de consolidación previamente engrasado en el torno de labrado y se centra la muestra en el anillo, figura 6.

Actividad 8. Cortar la muestra con el cutter en los extremos con de fin de sacar punta para que pueda introducirse el anillo, figura 7.



Figura 6. Anillo centrado en muestra.



Figura 7. Corte exterior.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos		Código:	MADO-39
			Versión:	01
			Página	76/85
			Sección ISO	8.3
			Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia		
La impresión de este documento es una copia no controlada				

Actividad 9. Labrar el suelo con la cuchilla de corte girando lentamente el torno de labrado. La cuchilla deberá ajustarse al anillo de tal forma que la probeta labrada tenga un diámetro ligeramente mayor al del interior del anillo, por lo que requerirá una ligera presión para insertar el espécimen, figura 8.

Actividad 10. Colocar una placa de vidrio por encima de la muestra de suelo y se empuja hacia abajo, cuidando de esforzar la probeta, figura 9.



Figura 8. Corte interior.



Figura 9. Introducción del anillo.

Actividad 11. Continuar el labrado hasta que la probeta sobresalga por lo menos tres milímetros por abajo del extremo inferior del anillo.

Actividad 12. Determinar el contenido de agua de una fracción de los residuos obtenidos durante el labrado en la periferia de la probeta, anotando los datos en el formato CDS-05A.

Actividad 13. Remover cuidadosamente el exceso de suelo en la parte superior de la muestra, iniciando el enrase de la periferia hacia el centro. Enrasar el espécimen exactamente al nivel del borde de anillo, utilizando el cortador de arco, figura 10.

Actividad 14. Colocar la placa de vidrio en la parte superior de la muestra. Invertir la probeta y anillo, para enrasar la cara inferior y colocar la segunda placa de vidrio, figura 11.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	77/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



Figura 10. Corte de enrasado.



Figura 11. Muestra dentro de anillo.

Actividad 15. Obtener la masa de probeta con el anillo y las placas de vidrio. Restar la masa de las placas y se anota el resultado en el formato CDS-05A.

Actividad 16. Colocar los papeles filtro y las piedras porosas sobre el área del suelo, cuidando que no se pongan sobre el anillo, figura 12 13 y 14.

Actividad 17. Poner todo el conjunto sobre la base de la cazuela.



Figura 12. Colocación de papal filtro.



Figura 13. Colocación de piedra porosa.

Actividad 18. Colocar pedazos de algodón saturados alrededor de la muestra, para conservar la humedad de la muestra.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	78/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 19. Colocar el cabezal sobre la piedra porosa superior.

Actividad 20. Armar la cazuela y cubrirla con plástico autoadherible, figura 16.



Figura 15. Papel filtro superior.



Figura 16. Muestra en cazuela.



Figura 17. Colocación de plástico.



Figura 18. Montaje en consolidómetro.

6.3 Montaje de la probeta en el consolidómetro.

Actividad 21. Levantar el marco de carga e instalar el recipiente en el banco de consolidación, centrar la probeta bajo el cabezal.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	79/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 22. Colocar el deformímetro en el centro del marco, en una lectura que permita registrar posibles expansiones al principio de la prueba, figura 18.

Actividad 23. Ajustar el vástago del consolidómetro para que el brazo se encuentre en posición horizontal (figura 18), así mismo verifique que el marco de carga se encuentre vertical (figura 19), use un nivel de burbuja. Asegúrese que el vástago tenga un buen contacto en estos ajustes.



Figura 18. Nivelación brazo de palanca.

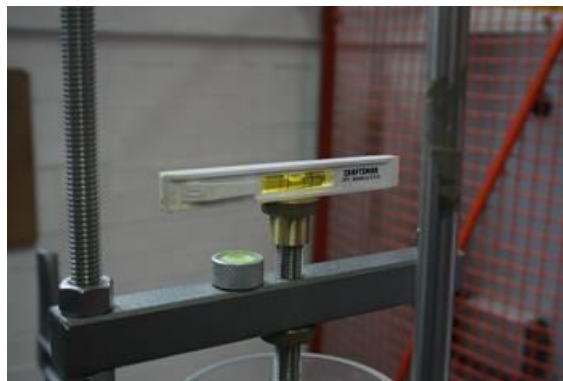


Figura 19. Nivelación marco de carga.

6.4 Etapa de carga.

Actividad 24. Para obtener el valor del primer incremento de presión para aplicar a la probeta. Calcular la magnitud de la masa del portapesa (ΔP) para generar un incremento esfuerzo ($\Delta\sigma$), utilice la expresión (4).

$$\Delta P = \frac{\Delta\sigma A}{k_{\text{brazo}}} \quad (4)$$

Actividad 25. En caso que el material se haya extraído por debajo del NAF, se podrá inundar la muestra con agua. Realice el llenado de agua hasta la mitad del nivel del anillo, para permitir la expulsión de aire de la probeta. Para evitar la introducción de burbujas de agua vacíe el agua con la ayuda de una jeringa, resbalando el chorro de agua por las paredes de la cazuela, sin que éste afecte a la probeta de suelo.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	80/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 26. Anotar la lectura inicial del deformímetro y hora del principio de la prueba. Se coloca cuidadosamente la primera carga en el portapesas, evitando cualquier impacto, poniendo al mismo tiempo en marcha el cronómetro (figura 20) y se toman lecturas del deformímetro (figura 21) en los tiempos indicados en el formato CDS-05B. En caso de que el material presente expansión coloque el segundo incremento en forma inmediata e inicie la toma lecturas.



Figura 20. Inicio de prueba.

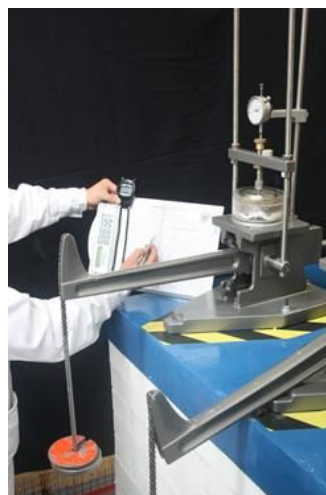


Figura 21. Registro de lecturas.

Actividad 27. Mantener cada incremento de carga durante 24 horas, anotando la lectura final.

Actividad 28. Aplicar los incrementos de carga siguientes, procediendo de manera similar a la indicada para el primer incremento, continuando la secuencia de carga hasta llegar al incremento final previsto. Los datos de cada etapa se registran en el formato CDS-05B.

Actividad 29. Descarga la probeta en forma inversa a la de carga, es decir, la última carga máxima aplicada se reduce al valor de la penúltima y así sucesivamente hasta obtener una presión nula sobre la probeta, registrándose las lecturas finales antes de cada decremento. El tiempo entre dos decrementos puede ser mucho más corto que el de los incrementos, debido a que la expansión ocurre con mayor rapidez que la consolidación. Se registra la lectura final del deformímetro una vez que la expansión se estabiliza a presión nula.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	81/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 30. Terminada las etapas de descarga, desmontar la cazuela y colocar la probeta con el anillo en un vidrio de reloj numerado, cuidando de no perder material, se obtiene la masa del anillo con el suelo y vidrio, se anota el valor en el formato CDS-05A.

Actividad 31. Meter la patilla con el anillo y vidrio al horno durante 18 horas a 110°C, para obtener la masa seca de la probeta más el anillo y el vidrio, anotando este valor en el formato correspondiente.

7. Cálculos.

Grafique los puntos experimentales de las curvas de consolidación, con ayuda del formato CDS-05C.

Calcular el valor de C_v para cada curva de consolidación, con ayuda del formato CDS-05A y CDS-05C.

Calcule la deformación total y la relación de vacíos para cada curva de consolidación. Formatos CDS-05A, CDS-05B y CDS-05C.

Grafique la curva de compresibilidad y obtenga la carga de preconsolidación, formato CDS-05C.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	84/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

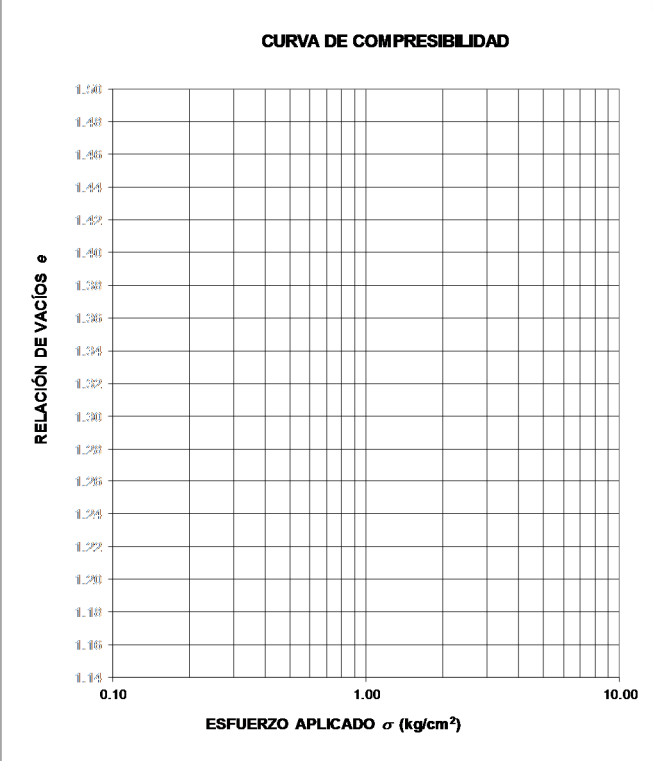
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA LABORATORIO DE GEOTÉCNIA							
ENSAYE DE CONSOLIDACIÓN MCDS - 05C								
DATOS GENERALES								
Proyecto:	Muestra:							
Localización:	Profundidad:							
Sondeo:	Fecha:							
Material:								
CURVA DE COMPRESIBILIDAD 								
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>ESFUERZO EFECTIVO DE CAMPO</td> <td>$\sigma_o =$</td> <td>kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>CARGA DE PRECONSOLIDACIÓN</td> <td>$\sigma_b =$</td> <td>kg/cm²</td> </tr> </table>			ESFUERZO EFECTIVO DE CAMPO	$\sigma_o =$	kg/cm ²	CARGA DE PRECONSOLIDACIÓN	$\sigma_b =$	kg/cm ²
ESFUERZO EFECTIVO DE CAMPO	$\sigma_o =$	kg/cm ²						
CARGA DE PRECONSOLIDACIÓN	$\sigma_b =$	kg/cm ²						

Figura 24. Formato CDS-05C

	Manual de prácticas del Laboratorio de Comportamiento de Suelos	Código:	MADO-39
		Versión:	01
		Página	85/85
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotecnia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

8. Conclusiones

En este apartado el alumno comentará si se cubrieron los objetivos de la práctica, hará una discusión sobre los factores más importantes que influyen en el ensaye y propondrá la aplicación o las restricciones del uso de estos materiales en la ingeniería civil en función de su comportamiento estudiado.

9. Limpieza del equipo empleado

Lave y seque el equipo utilizado, colóquelo sobre la mesa de trabajo y listo.

10. Responsabilidades

El profesor de prácticas es el responsable de la implantación de estos procedimientos.

Los alumnos son los responsables de su aplicación en el laboratorio.

Los laboratoristas son los responsables de proporcionar los materiales y equipos para la ejecución de este procedimiento.

11. Referencias

Secretaría de recursos hidráulicos; Manual de Mecánica de Suelos 1990.

Eulalio Juárez Badillo y Alfonso Rico; Mecánica de Suelos Tomo 1, Quinta Edición. 1980.

ASTM D – 2488 – 93. 2000 Section Four Construction

Head, K. H., “Manual of Soil Laboratory Testing”, Vols. 1, Second Edition, Pentech Press, London. 1994.