



Equipos y Accesorios	unidad	Cantidad
Espátula pequeña	Unid	1
Tubo de ensayo	Unid	1
Lupa	Und	1
Martillo	Unid	1
Catalogo de colores	Unid	1
Tamiz 3"	Unid	1
Tamiz No 4	Unid	1
Tamiz No 10	Unid	1
Tamiz No 40	Und	1
Tamiz No 200	Unid	1
Tamiz de fondo	Und	1

MATERIALES A TRAER POR LOS ESTUDIANTES		
Elementos	Unidad	Cantidad
Capsula en aluminio para colocar muestra de suelo	Und/grupo	1

MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD NECESARIAS	
<p>Es obligatorio para el ingreso y permanencia en las actividades de laboratorio el uso de bata manga larga anti fluidos, guantes de nitrilo, mascarilla de gases, gafas de seguridad, gorro desechable, pantalón sin desgastes o rotos, camisa manga larga y zapatos cerrados o botas de seguridad. Los siguientes son elementos de protección a emplear de acuerdo a el tipo de actividad que se va a desarrollar.</p>	
Elementos	señalar si el estudiante lo requiere
Guantes de carnaza	
Tapabocas desechable	
Protector auditivo	
Casco de seguridad	
Otros:	

OBJETIVOS

General: Clasificación de suelos mediante examen visual y ensayos manuales.



Específicos:

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se determinen las siguientes constantes de la muestra de suelo:

- Descripción de la muestra
- Analizar muestra del suelo
- Propiedades de la muestra

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Angulosidad: Cuando en una descripción macroscópica se tienen muestras de suelo grueso granular, es posible apreciar además del tamaño del grano, otros aspectos fácilmente perceptibles como son la forma y la angulosidad.

Grava: Partículas de roca que pasan el tamiz de 75 mm (3") de abertura y quedan retenidas en el tamiz de 4.75 mm (No.4)

Guijarro: son fragmentos de roca pulidos y sueltos, susceptibles de ser transportados por medios naturales, como las corrientes de agua, los corrimientos de tierra, etcétera.

Tenacidad: En ciencia de materiales, la tenacidad es la energía de deformación total que es capaz de absorber o acumular un material antes de alcanzar la rotura en condiciones de impacto

Dilatancia: Capacidad de un suelo de aumentar su volumen al ser sometido a carga. Expansión de los suelos no cohesivos cuando están sometidos a una deformación por cizalladura.

METODOLOGÍA

De acuerdo a la descripción del suelo:

1. Describir la angulosidad únicamente los tamaños de gruesos se busca identificar la angulosidad, si es angulosa, sub-angulosa, sub-redonda o redonda (Ver tabla 1)



Tabla 1 Angulosidad de partículas gruesas

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Angulosa:	Partículas con bordes agudos y caras relativamente planas con superficies sin pulimentar
Sub-angulosa:	Partícula similar a la angulosas, pero con borde algo redondeados
Sub-redonda:	Partícula con casi todas las caras planas, pero con esquinas y bordes redondeados
Redonda:	Partículas con los lados curvados suavemente y sin bordes

(Norma I.N.V.E-102, 22 AGOSTO 2018)

2. Describir la forma para determinar e identificar la forma de la muestra de la grava, guijarro y fragmentos como plana, alargada, o plana y alargadas (Ver tabla 2).

Tabla 2 Forma de las partículas

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
NOTA (la longitud es la dimensión mayor; el ancho es la dimensión intermedia y el espesor es la menor dimisión)	
Planas:	Partícula con ancho / espesor >3
Alargadas:	Partículas con longitud / ancho >3
Planas y alargadas	Partículas que cumplen criterios de planas y alargadas

(Norma I.N.V.E-102, 22 AGOSTO 2018)

3. Describir el color mediante el catalogo de colores para identificar si es un suelo orgánico o de la región, se debe dejar constancia del color de la muestra húmeda y seca.
4. Describir el olor si es orgánico o poco usual, si la muestra esta seca se puede revivir el olor calentando una muestra mediante el horno a una temperatura de (60° C) y un tiempo de 10 minutos previamente humedecida, cuando es inusual tiene relacionado con productos pétreos y químicos.
5. Describir condición de humedad se puede clasificar si es seca, húmeda o saturada (Ver Tabla 3).

Tabla 3 Condiciones de humedad

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Seca:	Ausencia de humedad, polvorosa y seca al tacto
Húmeda:	Húmeda, pero sin agua visible



Saturada:

Agua libre visible, generalmente bajo el nivel freático.

(Norma I.N.V.E-102, 22 AGOSTO 2018)

6. Describir la reacción con Acido Clorhídrico (HCl), se debe aclarar que la reacción con el Acido clorhídrico y la muestra se debe esta diluida, se clasifica como nula, débil o fuerte (Ver Tabla 4)

Tabla 4 Reacción al HCl

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Nula:	Sin reacción visible
Débil:	Reacción ligera, se forma burbujas lentamente
Fuerte:	Reacción fuerte, se forma burbujas de inmediato

(Norma I.N.V.E-102, 22 AGOSTO 2018)

7. Describir la consistencia para los suelos intactos con una muestra inalterada realizada en la practica, se describe como granos finos, pueden ser muy blanda, blanda, firme, dura o muy dura (Ver Tabla 5).
7.1 La muestra se debe pesar y hallar el volumen para calcular el peso específico.

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

Ecuación 1

Donde:

- γ : Peso específico
 W : Peso del suelo
 V : Volumen del suelo

Tabla 5 Criterios para describir la consistencia

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Muy blanda:	El dedo angular penetra en el suelo mas de 25 (mm)
Blanda:	El dedo pulgar penetra aproximadamente 25 (mm)
Firme:	El dedo pulgar deja una marca de unos 6 (mm)
Dura:	El dedo pulgar no deja marca, pero si los penetra la uña
Muy dura:	La uña de pulgar no hace mella en el suelo

(Norma I.N.V.E-102, 22 AGOSTO 2018)

8. Describir la Cementación con para los suelos intactos de grano grueso pueden ser débil, moderada o fuerte (Ver Tabla 6)



Tabla 6 Criterios para describir la cementación

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Débil:	Se desmorona o rompe al tocarlo, o con poca presión de los dedos
Moderada:	Se desmorona o rompe con considerable presión de los dedos
Fuerte:	No se desmorona ni se rompe con la presión de los dedos

(Norma I.N.V.E-102, 22 AGOSTO 2018)

9. Describir la estructura de los suelos intactos describir las capas de la muestra de acuerdo con los criterios (Ver Tabla 7).

Tabla 7 Criterios para describirla estructura

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Estratificada:	Capas alternadas de color o material variable, con espesor de por lo menos 6 (mm), el cual se debe anotar
Laminada:	Capas alternadas de color o material variable, con espesor menor de 6 (mm), el cual se debe anotar
Fisurada:	Rotura según planos definidos de fractura, con poca resistencia a esta
Lisa:	Planos de fractura lisos o lustrosos, algunas veces estriados
En Bloques:	Suelo cohesivo que se puede romper en pequeños terrones angulosos resistentes a una ruptura adicional
Lenticular:	Inclusión de pequeñas bolsas de diferentes suelos; tales como pequeños cristales de arena esparcidos en una masa de arcilla. <i>Se debe anotar el espesor</i>
Homogénea:	Un solo color y apariencia uniforme.

(Norma I.N.V.E-102, 22 AGOSTO 2018)

10. EL rango de tamaño de las partículas, se define a partir del porcentaje de fino, arena y grava a partir del siguiente procedimiento:

10.1 Tomar una muestra de cantidad de 1000 (g) y llevarla al horno a una temperatura de 220° C por un periodo de 30 min.

10.2 Una vez finalizado el procedimiento de secado de la muestra, se inicia el tamizado de la misma, haciendo uso de los tamices “3, No. 4, No. 10, No. 200 y un fondo.



- Al hacer uso de los tamices en el orden mencionado anteriormente, se debe asegurar de pesar la cantidad de muestra retenida en cada tamiz, para calcular el porcentaje total respectivamente (Nota: para los cálculos tenga en cuenta los siguientes criterios de rango de tamaño)
- Las gravas se consideran aquellas que pasa el tamiz de numero (3") son gruesa y retenidas en el (No. 4) son finas.
- Las arenas son las partículas gruesas pasan el tamiz (No. 4) y queda retenidas sobre el tamiz (No. 10), media son las que pasa el tamiz (No. 10) y queda retenida sobre el tamiz (No. 40) y finas Para el tamiz (No. 40) y queda retenida en el tamiz (No. 200) y fondo

11. La dureza de la arena y partículas mayores, se deberá describir como "dura" quiere decir que las partículas que no se agrietan o fracturan con golpes con un martillo, las partículas que se fracturan y desmoronan bajo un golpe de martillo son débiles.

- Después se debe establecer los porcentajes de los fragmentos y guijarros están dados por el volumen

1. Identificación preliminar

De los datos obtenidos en la sección 10 se puede clasificar el suelo como:

1.1 Si el suelo Es Grano fino Si contiene mas del 50% o mas de finos Se debe seguir el procedimiento Sección 2 para identificarlos.

1.2 Si el suelo grueso Si contiene menos del 50% de granos finos Se debe Seguir el procedimiento Sección 3 para identificarlos.

2. Procedimiento para identificar los suelos de grano fino

2.1 Se escoge una muestra representativa del material que se va examinar. Se remueve las partículas mayores del tamiz (No. 40) (arena media y gruesa), hasta disponer de una muestra equivalente a un puñado de material. Esta se usa para realizar las pruebas de (resistencia seca, dilatancia y tenacidad)

a. Resistencia seca: en primera medida se debe escoger un material suficiente para moldear 3 esfera alrededor de 25 (mm) de diámetro y uno de 12.5 (mm), hasta que tenga una consistencia masilla, si es necesario agregue agua. Se debe de secar al sol o al aire libre. La prueba de la resistencia de las esferas es apretando con los dedos con el criterio se debe notar la resistencia como nula, baja, mediana, alta, o muy alta (Ver Tabla 8)

Tabla 8 Criterios para describir la resistencia en seco

DESCRIPCIÓN	CRITRIOS
Nula:	La muestra se desmorona bajo la simple manipulación
Baja:	La muestra seca se desmorona hasta pulverizarse con ligera presión de los dedos



Mediana:	La muestra se rompe en fragmentos o se desmorona bajo una presión considerable de los dedos.
Alta:	La muestra seca no se rompe con la presión de los dedos, pero se romperá al aprisionarla con el pulgar sobre una superficie dura
Muy Alta:	La muestra no se puede romper al aprisionarla con el pulgar sobre una superficie dura

(Norma I.N.V.E-102, 22 AGOSTO 2018)

- b. Dilatancia: se escoge suficiente material para moldear una esfera de 12.5 (mm) de diámetro se le agrega agua para que adquiera una consistencia blanda y no pegajosa por siguiente con una espátula se aplanan la esfera del suelo así formada en la palma una de las manos, se debe agitar golpeándola una mano contra la otra, se debe de notar la relación cuando aparezca el agua en la superficie del suelo a continuación se debe cerrar la mano o apretarla entre los dedos para notar si es nula, lenta o rápida (Ver Tabla 9).

Tabla 9 Criterios para describir la dilatancia

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Nula:	No hay cambios visibles en la muestra
Lenta:	El agua aparece lentamente en la superficie de la muestra al sacudirla, pero no desaparece o lo hace lentamente al apretarla
Rápida:	El agua aparece rápidamente sobre la superficie de la muestra mientras se le sacude y desaparece rápidamente al apretarla

(Norma I.N.V.E-102, 22 AGOSTO 2018)

- c. Tenacidad: después de ensayo de dilatancia, la muestra se conformará en una pastilla alargada que se enrollará con la mano en una superficie lisa con un diámetro de 3 (mm). si el rollo se desmorona a ese diámetro esta cerca al limite plástico. Después que el rolo se desmorone, se deberían juntar los terrones que quedan y amasarlos hasta que se desmoronen y se anotara la tenacidad del material durante el amasado se describe los rollos como baja, mediana o alta (Ver Tabla 10).

Tabla 10 Criterios para describir la tenacidad

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Baja:	Solo se requiere ligera presión para formar rollitos cerca del limite plástico. Los rollitos y los terrones son débiles y blandos



Mediana:	Se requiere presión mediana para formar los rollitos cerca del límite plásticos. Los rollitos y los terrones tienen mediana tenacidad
Alta	Se requiere una presión considerable para formar rollitos cerca del límite plástico. Los rollitos y los terrones tienen muy alta tenacidad.

(Norma I.N.V.E-102, 22 AGOSTO 2018)

2.2 Plasticidad: con base a observaciones hechas durante el ensayo de tenacidad, debe escribir la plasticidad del material (Ver tabla 11)

Tabla 11 Criterios para describir la plasticidad

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
No plástico:	No se pueden formar rollitos de 3 (mm) de diámetro con ningún contenido de humedad
Baja:	Se pueden formar rollitos con dificultad y no se puede formar terrones cuando el suelo tiene una humedad inferior al límite plástico
Media:	Es fácil formar el rollito y el límite plástico se alcanza con rapidez. No se pueden volver a enrollar la misma muestra después que alcanza el límite plástico. Los terrones se desmoronan cuando se secan por debajo del límite plástico
Alta:	Toma un tiempo considerable formar rollos y remordearlos para alcanzar el límite plástico, pero la muestra se puede volver a enrollar varias veces después de alcanzar el límite plástico. Se pueden formar terrones sin que se desmoronen cuando tienen una humedad inferior al límite plástico

(Norma I.N.V.E-102, 22 AGOSTO 2018)

2.2.1 Identificación los suelos inorgánicos de grano fino



- 2.2.2 Se identifica el suelo como arcilla magra CL, Cuando presenta Resistencia seca de mediana a alta, ninguna o poca dilatancia y tenacidad y plasticidad con los criterios (Ver tabla 12)
- 2.2.3 Se Identifica el suelo como arcilla grasa CH, cuando el suelo tiene resistencia en seco entre elevada y muy alta, ninguna dilatancia, tenacidad y plasticidad altas con el criterio (Ver tabla 12)
- 2.2.4 Se identifica el suelo como limo ML, cuando tiene resistencia seca baja o nula, dilatancia de lenta a rápida, tenacidad y plasticidad baja, o si no es plástico con el criterio (Ver tabla 12)
- 2.2.5 Se identifica el suelo como un limo elástico MH, cuando tiene la resistencia en seco de baja mediana, dilatancia de nula a lenta, y la tenacidad y plasticidad de bajas a medias con el criterio (Ver tabla 12) “Estas propiedades son similares a las de CL, sin embargo, el limo se secará mas rápido en la mano y dará la sensación de mucha suavidad cuando este seco”

Tabla 12 Identificación de suelos inorgánicos de grano finos mediante ensayos manuales

SÍMBOLO DEL SUELO	RESISTENCIA SECA	DILATANCA	TENACIDAD
ML:	Nula a baja	Lenta a rápida	Baja, no se pueden formar rollitos
CL:	Media a alta	Nula a lenta	Media
MH:	Baja a media	Nula a lenta	Baja a media
CH:	Alta a muy alta	Nula	Alta

(Norma I.N.V.E-102, 22 AGOSTO 2018)

2.3 Identificación de los suelos orgánicos de grano fino

- 2.3.1 Se identifica el suelo como orgánico OL / OH cuando contiene suficientes partículas orgánicas, los suelos orgánicos por general tiene color marrón oscuro a negro y pueden tener olor orgánico.
Los suelos orgánicos no presentan normalmente tenacidad ni plasticidad alta y los rollos para ensayos serán esponjosos con el criterio
- 2.3.2 Si se estima que el suelo tiene 15 a 25 % de arena o grava o ambas deben ser adicionadas las palabras “con arena” o “con grava” la que sea mas predominante (Ver Figura 102 - 1 a. b. y 102 a. b.)
- 2.3.3 Si se estima que el suelo tiene 30 % o más de arena o grava, o ambas, el termino “arenoso” o “gravoso” si tiene mas arena que grava y se adiciona el termino “arenoso”

3. Procedimiento para identificar suelos de grano grueso

- 3.1 El suelo es Grava si el porcentaje de la grava es mayor que el de arenas
- 3.2 El suelo es Arena, si se estima que porcentaje de grava es igual o menor que el de arena.
- 3.3 El suelo es grava limpia o arena limpia, cuando el % de finos es de 5% o menos.



- 3.3.1 Se identifica el Suelo como Grava bien gradada GW, Como Arena bien gradada SW, si tiene partículas dentro de un intervalo amplio de tamaños con una cantidad de tamaños intermedios
- 3.3.2 Se Identifica el suelo como grava pobre grada GP, o arena pobremente gradado PS, si tiene un solo tamaño predominante u uniforme.
- 3.4 El suelo puede ser una grava con finos o una arena con finos si se estima que los porcentajes es el 15% o mayor.
- 3.4.1 Se identifica el suelo como una grava arcillosa GS, o una arena arcillosa SC, si los finos son arcillosos cuando aplicamos el procedimiento de la sección 2.
- 3.4.2 Se identifica el suelo como grava limosa GM, o arena limosa SM, si los finos son limosos, cuando se determina aplicado el procedimiento de la sección 2.
- 3.5 Si se estima que el suelo contiene el orden de 10% de finos se Identifica por doble símbolos para el grupo.
- 3.5.1 El primer símbolo del grupo debería corresponder a grava o arena limpia (GW, GP, SW, SP) y el segundo a la grava o arena con finos (GC, GM, SC, SM).
- 3.5.2 El nombre debería corresponder al primer símbolo del grupo mas la palabra con arcilla o limo para indicar el carácter plástico de los finos (VER EN LA NORMA INVE 102 la Figura 102-2)
- 3.6 Si a muestra es predominante arena o grava, pero se estima que contiene 15% o mas de un material de grano grueso, debería agregar las palabras con grabas GP o con arenas SC. (VER EN LA NORMA INVE 102 Figura 102 - 2)

REPORTE DE RESULTADOS

El informe obtenido de la realización de este ensayo debe articularse a la angulosidad, forma, color, olor, condición de humanidad, reacción con HCl, consistencia, estructura, rango de tamaños, dureza, resistencia seca, dilatancia, tenacidad, plasticidad de los finos, muestras inalteradas (Únicamente para los finos), Complementar el anexo.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

[1] Descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual) - INV E -102



Anexo



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



NOMBRE ENSAYO:

Descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual) de acuerdo a Norma INV. E-102 -13

FECHA:

NOMBRES DE LOS INTEGRANTES

Simbolo del grupo						
Dilatancia seca:	Nulla	Lenta	Rapida			
Tenacidad:	Baja	Media	Alta			
Olor:	Organico	Inusual				
Humedad:	Seca	Húmeda	Saturada			
Reacción con HCl:	Nula	Débil	Fuerte			
Forma de las partículas:	Plana	Alargada, plana	Alargada			
Angulosidad:	Angulosa	Sub-angulosa	Sub-redondeada	Redondianda		
Plasticidad de los finos:	No plasticos	Baja	Media	Alta		
Resistencia seca:	Nula	Baja	Media	Alta	Muy alta	
Consistencia:	Muy blanda	Blanda	Firme	Dura	Muy dura	
Estructura:	Estratificada	Laminada	Lisa	En bloques	Lenticular	Homogénea
Cementación:	Debil	Moderada	Fuerte			

Tamaño de la partícula o dimesion maxima:

Dureza de arena gruesa y de la partícula mas gruesa:

% de fragmentos de:

Gravas
Gujarros

% de masa seca:

Gravas
Arenas
Finos

Rango de tamaños de partículas:

Gravas - finas, gruesas
Arenas - finas media, gruesa

# Tamiz	Diametro (mm)	Peso retenido		Pasa acumulado		
		Por tamiz (gr)	Por tamiz (%)	Acumulado (%)	(gr)	Retenido (%)
3"						
No. 4						
No. 10						
No. 40						
No. 200						
Fondo						
Total						

Observaciones:



Equipos y Accesorios	unidad	Cantidad
Balanza de 600gr	Und	2
Horno	Und	1
Mufla	Und	1
Crisoles o platos de evaporación	Und	3

MATERIALES A TRAER POR LOS ESTUDIANTES

Elementos	Unidad	Cantidad
Capsula en aluminio para colocar muestra de suelo	Und/grupo	3

MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD NECESARIAS

Es obligatorio para el ingreso y permanencia en las actividades de laboratorio el uso de bata manga larga anti fluidos, guantes de nitrilo, mascarilla de gases, gafas de seguridad, gorro desechable, pantalón sin desgastes o rotos, camisa manga larga y zapatos cerrados o botas de seguridad. Los siguientes son elementos de protección a emplear de acuerdo a el tipo de actividad que se va a desarrollar.

Elementos	señalar si el estudiante lo requiere
Guantes de carnaza	
Tapabocas desechable	
Protector auditivo	
Casco de seguridad	
Otros:	

OBJETIVOS

El método de "pérdida por ignición" para la determinación del contenido orgánico es más aplicable a aquellos materiales identificados como turbas, lodos orgánicos y suelos que contengan materia vegetal relativamente no descompuesta ni deteriorada o materiales de plantas frescas como madera, raíces, pasto o materiales carboníferos como el lignito, carbón, etc. Este método determina la oxidación cuantitativa de materia orgánica en tales materiales y proporciona una estimación válida del contenido orgánico. El método de la "combustión húmeda" (norma AASHTO T194) se recomienda cuando se desea determinar el material orgánico fácilmente oxidable (del tipo humus), para proveer información relacionada con la aptitud de un suelo para cultivo.



CONOCIMIENTOS PREVIOS

Determinación del contenido de materia orgánica.

La materia orgánica se degrada con el tiempo, aparte de tener elevada compresibilidad, lo que hace problemático el uso de un suelo con fuerte contenido en materia orgánica en la ejecución de un relleno.

METODOLOGÍA

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De una porción del material que pase el tamiz de 2.00 mm (No. 10), se toma una muestra representativa con una masa de no menos de 100 g, obtenida de la siguiente manera:

- Se toma la parte de la muestra secada al aire que se eligió para los ensayos, se pesa y se registra su masa sin corregirla por el efecto de la humedad higroscópica. La muestra se debe separar en dos fracciones, usando un tamiz de 2.00 mm (No. 10). La fracción retenida en el tamiz se debe disgregar en el mortero, hasta que los terrones de suelo queden separados en granos individuales. A continuación, el suelo pulverizado se separa en dos fracciones, usando el tamiz de 2.00 mm (No. 10).
- Se lava la fracción retenida en el tamiz de 2.00 mm (No. 10) tras el segundo tamizado, hasta liberarla de partículas finas adheridas. A continuación, se seca al aire o en el equipo secador y se pesa. Esta será la masa del material grueso. Seguidamente, este material se tamiza por el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y se determina la masa retenida en él.

Se coloca la muestra en un recipiente y se lleva al horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$), donde se seca hasta masa constante. Luego se remueve la muestra del horno, se coloca en el desecador y se permite su enfriamiento.

Nota 1: Se puede permitir que la muestra permanezca en el horno hasta cuando se vaya continuar con el resto del ensayo.

PROCEDIMIENTO



- Se escoge una muestra con una masa aproximada de 10 a 40 g, se coloca en un crisol tarado o en un plato de evaporación de porcelana y se determina su masa (A), con aproximación a 0.01 g.

Nota 2: Las masas de muestras de materiales livianos, como la turba, pueden ser menores de 10 g, pero deberán ser de suficiente cantidad para llenar el crisol al menos hasta 3/4 de su profundidad. Se puede requerir una tapa sobre el crisol durante la fase inicial de ignición, para disminuir la posibilidad de que la muestra sea arrojada fuera del recipiente.

- Se coloca el crisol o el plato que contiene la muestra dentro de la mufla durante 6 horas a $445 \pm 10^\circ \text{C}$. Se saca la muestra de la mufla, se coloca en el desecador y se permite su enfriamiento.
- Se remueve del desecador el crisol o plato con la muestra enfriada y se determina su masa (B), con aproximación a 0.01 g.

CÁLCULOS

El contenido orgánico se deberá expresar como un porcentaje de la masa del suelo secado en el horno y se calcula con la expresión:

$$\% \text{ de materia orgánica} = \frac{A - B}{A - C} \times 100$$

Donde A: Masa del crisol o plato de evaporación y del suelo secado al horno, antes de la ignición;

B: Masa del crisol o plato de evaporación y del suelo secado al horno, después de la ignición;

C: Masa del crisol o plato de evaporación, con aproximación a 0.01 g.

Nota 3: El porcentaje de materia orgánica se debe calcular con aproximación a 0.1 %.

REPORTE DE RESULTADOS

Se debe presentar la siguiente información:

1. Procedencia de la muestra.
2. Descripción de la muestra y clasificación, si se dispone de ella.
3. Utilización que se dará al resultado del ensayo.
4. Contenido de materia orgánica, aproximado a 0.1 %.



FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

[1] Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición- INV E -121, 13



Equipos y Accesorios	unidad	Cantidad
Balanza digital	Und	2
Horno de laboratorio, aire forzado, control digital	Und	1

MATERIALES A TRAER POR LOS ESTUDIANTES

Elementos	Unidad	Cantidad
Capsula en aluminio para colocar muestra de suelo	Und/grupo	3

MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD NECESARIAS

Es obligatorio para el ingreso y permanencia en las actividades de laboratorio el uso de bata manga larga anti fluidos, guantes de nitrilo, mascarilla de gases, gafas de seguridad, gorro desechable, pantalón sin desgastes o rotos, camisa manga larga y zapatos cerrados o botas de seguridad. Los siguientes son elementos de protección a emplear de acuerdo a el tipo de actividad que se va a desarrollar.

Elementos	señalar si el estudiante lo requiere
Guantes de carnaza	
Tapabocas desechable	
Protector auditivo	
Casco de seguridad	
Otros:	

OBJETIVOS

General: Determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo



Específicos:

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se determinen las siguientes constantes de la muestra de suelo:

- El peso de la muestra de suelo húmedo.
- El peso de la muestra de suelo seco.
- El porcentaje del contenido de humedad de la muestra de suelo.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Contenido de agua por masa – Se define como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros (agua libre) del material, y la masa de las partículas sólidas de éste. Para la determinación de la masa del agua se debe usar una temperatura de referencia de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).

Masa seca constante – Es el estado que alcanza un material cuando un calentamiento posterior produce una pérdida adicional de masa menor de 1 % o 0.1 %. El tiempo requerido para alcanzar masa constante depende de numerosos factores, cuya influencia se puede establecer a partir del buen juicio del operario y de la experiencia que tenga con el equipo utilizado y el material que se ensaya.

METODOLOGÍA

Por lo general para determinar el contenido de humedad en el suelo según la norma I.N.V. E-122-07, se conoce la masa del agua cuando se toma una muestra de suelo húmedo y es sometido a un horno controlado a $110^\circ \pm 5^\circ \text{C}$ ($230^\circ \pm 9^\circ \text{F}$) y se relaciona la masa de agua del material húmedo con la muestra seca, entonces:

SELECCIÓN DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO

Cuando el espécimen para el ensayo sea una porción de una cantidad mayor de material, se deberá seleccionar de manera que sea representativo de la condición de humedad de la totalidad del material. La manera como se seleccione el espécimen de ensayo depende del propósito y de la aplicación del resultado de la prueba, del tipo de material que se ensaya, de la condición del agua y de la clase de muestra (proveniente de otro ensayo, bolsa, bloque, etc.)



1. En el caso de muestras alteradas, tales como muestras desbastadas, muestras de bolsa, etc., el espécimen de muestra se debe obtener por medio de uno de los métodos que se describen a continuación (listados en orden de preferencia):

- Si el material puede ser manejado sin pérdida significativa de humedad y sin que se produzca segregación, deberá ser mezclado completamente, seleccionando luego una porción representativa con una pala de tamaño tal, que solo se requieran unas pocas paladas para obtener el tamaño apropiado del espécimen según lo expresa la siguiente tabla:

Tabla 1. Requisitos sobre la masa mínima de los especímenes de ensayo y la lectura de las balanzas

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA (PASA 100 %)		MÉTODO A		MÉTODO B	
		CONTENIDO DE AGUA REGISTRADO CON APROXIMACIÓN DE $\pm 1\%$		CONTENIDO DE AGUA REGISTRADO CON APROXIMACIÓN DE $\pm 0.1\%$	
TAMAÑO TAMIZ (MM)	TAMAÑO TAMIZ ALTERNATIVO	MASA DEL ESPÉCIMEN	LECTURA DE LA BALANZA (g)	MASA DEL ESPÉCIMEN	LECTURA DE LA BALANZA (g)
75.0	3"	5 kg	10	50 kg	10
37.5	1½"	1 kg	10	10 kg	10
19.0	¾"	250 g	1	2.5 kg	1
9.5	3/8"	50g	0.1	500 g	0.1
4.75	No. 4	20 g	0.1	100 g	0.1
2.00	No. 10	20 g	0.1	20 g	0.01

¹ Si los datos obtenidos al pesar las muestras se van a emplear en el cálculo de otras relaciones, tales como pesos unitarios totales o secos, las masas de especímenes hasta de 200 g se deberán determinar usando una balanza con precisión de 0.01 g

- Si el material es tal que no puede ser mezclado totalmente, o mezclado y muestreado con una pala, se forma una pila, mezclándolo tanto como sea posible. Se recogen, por lo menos, cinco porciones del material de lugares escogidos aleatoriamente usando un tubo muestreador, pala, una cuchara o palustre, o cualquier herramienta similar apropiada para recoger las partículas más grandes que se encuentren en el material. Enseguida, se combinan todas las porciones para obtener el espécimen para el ensayo.
 - Si el material o las condiciones son tales que no permiten la formación de una pila, se deben recoger tantas porciones como resulte práctico, usando lugares escogidos al azar que representen bien la condición de humedad del material. Todas las porciones se deben combinar para obtener el espécimen de ensayo.
2. En el caso de muestras intactas, tales como las de bloque, de tubo de pared delgada, de tubo partido y otras similares, el espécimen para el ensayo se debe obtener usando uno de los métodos siguientes, dependiendo del propósito y uso potencial de la muestra:
- Empleando un cuchillo, segueta, o cualquier otro elemento cortante, se desbasta el exterior de la muestra en una longitud suficiente para comprobar si el material está estratificado, y para retirar el



material que parezca más seco o más húmedo que la porción principal de la muestra. Si existen dudas sobre la existencia de estratos, la muestra se debe cortar por la mitad.

- Si el material es estratificado (o se encuentra más de un tipo de material), se selecciona un espécimen promedio y/o especímenes individuales. Los especímenes deben ser identificados apropiadamente en cuanto a su ubicación o a lo que ellos representan, y se deben incluir comentarios apropiados en los formatos de los ensayos o en las hojas de resultados.
- Si el material no está estratificado, el espécimen se debe obtener cumpliendo los requisitos de masa indicados la tabla 1, de la siguiente manera: (1) tomando toda o la mitad del intervalo por ensayar; (2) cortando una tajada representativa del intervalo por ensayar; o (3) desbastando la superficie expuesta de una mitad o del intervalo por ensayar.

PROCEDIMIENTO

Como primera medida se obtiene la muestra de suelo húmedo la cual debe estar en un recipiente con tapa para poder ser pesada, despreciando el peso del recipiente y se registra el valor.[1]

Luego se retira la tapa del recipiente con la masa húmeda y se lleva al horno con una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$, durante 16 horas, pero si el material presenta complicaciones de deja en el horno hasta obtener una masa constante. [1]

Después de esto se retira del horno el recipiente con el material ya seco, se vuelve a tapar y se deja enfriar a temperatura ambiente, para poder proceder con el registro del valor de la masa al ser pesada en la misma balanza.[1]

Finalmente se relacionan los datos registrados del material antes y después de ser secados en el horno y así poder determinar el contenido de humedad en el material en porcentaje.[1]

Nota 1- El contenido de agua del suelo en materiales que contengan cemento y sus semejantes requieren de procesos muy diferentes para hallar el contenido de humedad, como también para materiales orgánicos y materiales compuestos de agua hidratada puesto que estos podrían descomponerse a altas temperaturas en el horno de tal manera que para determinar la humedad en dichos materiales se puede realizar en una desecadora o si se usa el horno, debe ser a una temperatura de 60°C .

Nota 2-Para materiales altamente orgánicos el contenido de humedad es determinado por los métodos de prueba ASTM D2974.



CÁLCULOS

Se calcula el contenido de agua del material con la fórmula:

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde: w: Contenido de agua, %;

W1: Masa del recipiente con el espécimen húmedo, g;

W2: Masa del recipiente con el espécimen seco, g;

Wc: Masa del recipiente, g;

Ww: Masa del agua, g;

Ws: Masa de las partículas sólidas, g.

REPORTE DE RESULTADOS

El informe (hoja de resultados) debe incluir lo siguiente:

1. Identificación de la muestra (material), indicando número de perforación, número de muestra, número de ensayo, número de recipiente, etc.
2. El contenido de agua del espécimen, aproximado al 1 % para el Método A o al 0.1 % para el Método B, como resulte apropiado de acuerdo con la masa mínima del espécimen. Si esta norma de ensayo se está empleando para obtener un insumo requerido por otra norma, el contenido del agua del espécimen se debe reportar de conformidad con el valor requerido por el método de prueba para el cual se requiere el valor del contenido del agua. En la norma ASTM D 6026 se presenta una guía en relación con los dígitos significativos, especialmente si el valor obtenido por medio de este método de ensayo va a ser usado para calcular otras relaciones, tales como el peso unitario o la densidad. Por ejemplo, si se desea expresar el peso unitario seco redondeado a 0.1 lbf/pie³ (0.02 kN/m³), podrá ser necesario el empleo de una balanza de mayor precisión de lectura o usar un espécimen con mayor masa para obtener las cifras significativas de la masa de agua, de manera de determinar el contenido del agua con el número requerido de dígitos significativos. Además, los dígitos significativos recomendados en la norma ASTM D 6026 pueden requerir un incremento cuando se vayan a calcular relaciones de fase que requieran cuatro dígitos significativos.



3. Se debe indicar si el espécimen de muestra tuvo una masa menor que la mínima especificada en la tabla 1.
4. Se debe indicar si el espécimen de muestra contenía más de un tipo de suelo (estratificado, etc.).
5. Se debe indicar si se empleó una temperatura de secado diferente de $110 \pm 5^{\circ} \text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ} \text{F}$).
6. Se debe indicar si algún material (tamaño y cantidad) fue excluido del espécimen de prueba.

Al informar el contenido del agua en tablas, figuras, etc., se deberá señalar todo dato que no haya sido obtenido de acuerdo con los requisitos de esta norma como, por ejemplo, el incumplimiento de los requisitos de masa, de clase de balanza o de temperatura de secado, o si se excluyó alguna porción del espécimen de prueba.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

[1] Determinación en el laboratorio del contenido de agua (Humedad) de muestras de suelo, roca, y mezclas de suelo agregado - INV E -122, 13



Equipos y Accesorios	unidad	Cantidad
Balanza de 600gr	Und	2
Horno	Und	1
Tamiz 3"	Und	2
Tamiz 2"	Und	2
Tamiz 1 ½"	Und	2
Tamiz 1"	Und	2
Tamiz ¾"	Und	2
Tamiz 3/8"	Und	2
Tamiz No 4	Und	2
Tamiz No 10	Und	2
Tamiz No 20	Und	2
Tamiz No 40	Und	2
Tamiz No 60	Und	2
Tamiz No 140	Und	2
Tamiz No 200	Und	2
Agitador mecánico	Und	2
Recipiente de dispersión de chorro de aire	Und	2
Hidrómetro 151H	Und	2
Cilindro de vidrio 18" x 2½" 1000ml	Und	2
Termómetro	Und	2
Cronometro	Und	2
Horno	Und	1
Cuarto de temperatura constante	Und	1
Vaso de precipitados 250ml (beaker)	Und	1
Carilla de vidrio	Und	1

MATERIALES A TRAER POR LOS ESTUDIANTES

Elementos	Unidad	Cantidad
Capsula en aluminio para colocar muestra de suelo	Und/grupo	1
Sodio hexametáfosfato	g	100

MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD NECESARIAS

Es obligatorio para el ingreso y permanencia en las actividades de laboratorio el uso de bata manga larga anti fluidos, guantes de nitrilo, mascarilla de gases, gafas de seguridad, gorro desechable, pantalón sin desgastes o rotos, camisa manga larga y zapatos cerrados o botas de seguridad. Los siguientes son elementos de protección a emplear de acuerdo al tipo de actividad que se va a desarrollar.

ELEMENTOS	SEÑALAR SI EL ESTUDIANTE LO REQUIERE
Guantes de carnaza	Si
Tapabocas desechable	Si
Protector auditivo	No
Casco de seguridad	No
Otros:	N/A



OBJETIVOS

General: El estudiante por medio de este procedimiento, lograra determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de un suelo.

Específicos:

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se determinen las siguientes constantes de la muestra de suelo:

- Coeficiente de Uniformidad
- Coeficiente de curvatura
- Clasificación por cualquiera de los métodos del suelo

CONOCIMIENTOS PREVIOS

- Granulometría por tamizado

Granulometría: Distribución porcentual en masa e los distintos tamaños de partículas que constituyen una muestra de suelo.

Curva Granulométrica: Representación gráfica del ensayo granulométrico, es por medio de esta que es posible observar la graduación del suelo, graficando el tamaño de el tamiz (mm) vs. porcentaje que pasa.

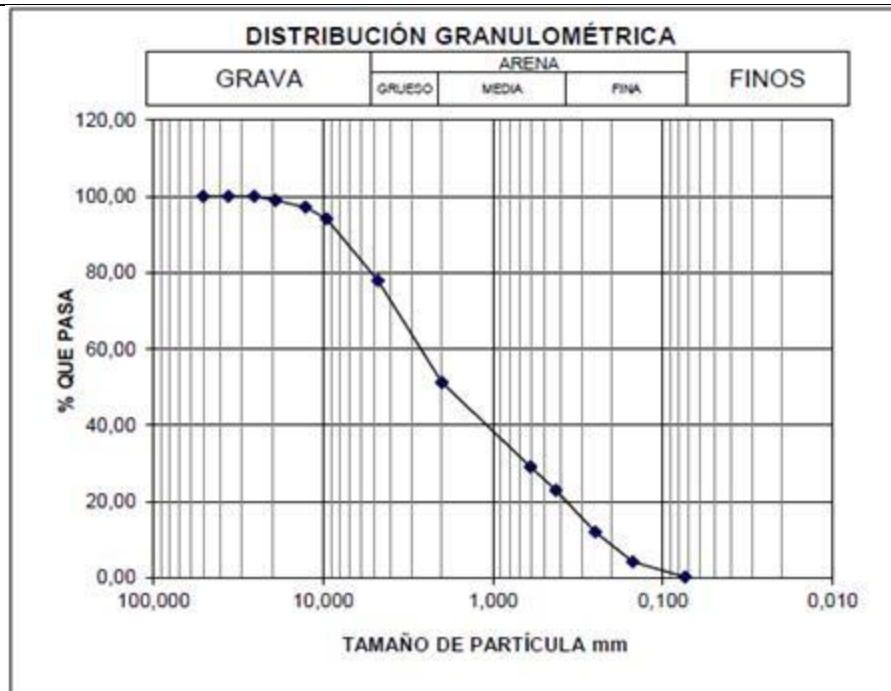


Ilustración 1 Ejemplo de la curva Granulométrica

Tamiz: Consiste en una malla metálica constituida por barras tejidas y que dejan un espacio entre sí por donde se hace pasar el alimento previamente triturado. Las aberturas que deja el tejido y, que en conjunto constituyen la superficie de tamizado, pueden ser de forma distinta, según la clase de tejido.

Tabla 1 Tamaños de Tamices

TAMAÑOS DE TAMICES	
ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
75 mm (3")	75 mm (3")
50 mm (2")	37.5 mm (1 ½")
37.5 mm (1 ½")	19 mm (¾")
25 mm (1")	9.5 mm (3/8")
19 mm (¾")	4,75 mm (No. 4)
9.5 mm (3/8")	2.36 mm (No. 8)
4,75 mm (No. 4)	1.10 mm (No. 16)
2 mm (No. 10)	600 µm (No. 30)
850 µm (No. 20)	300 µm (No. 50)



425 μm (No. 40)	150 μm (No. 100)
250 μm (No. 60)	75 μm (No. 200)
106 μm (No. 120)	
75 μm (No. 200)	

(Norma I.N.V.E - 123, 2018)

- Granulometría conjunta:

Hidrómetro y clases de hidrómetro: los hidrómetros 151 H o 152 H de la norma ASTM E 100, graduado para leer, de acuerdo con la escala que tenga grabada, la gravedad específica de la suspensión o los gramos por litro de suspensión. En el primer caso, la escala tiene valores de gravedad específica que van de 0.995 a 1.038 y estará calibrado para leer 1.00 en agua destilada a 20° C (68° F). Este hidrómetro se identifica como 151 H.

METODOLOGÍA

1 Granulometría por tamizado

- 1.1 Las muestras de suelo, tal como se reciben del terreno, se deben secar completamente, ya sea al aire o en el horno, a una temperatura que no exceda de 110° C (230° F), un tiempo de 24 horas.
- 1.2 Se toma la parte de la muestra recomendada entre 500 (gr) seca al aire o al horno que se eligió para los ensayos, se pesa y se registra su masa sin corregirla por el efecto de la humedad higroscópica.

Tabla 2 Tamaños de las porciones

Diámetro nominal de las partículas mayores	Masa mínima aproximada de la porción (g)
9.5 mm (3/8")	500
19.0 mm (3/4")	1000
25.4 mm (1")	2000



38.1 mm (1 ½")	3000
50.8 mm (2")	4000
76.2 mm (3")	5000

(Norma I.N.V.E - 123, 2018)

- 1.3 Se prepara una serie de tamices en orden de mayor ascendente más un fondo donde quedará depositado lo que pase del Tamiz No 200.
- 1.4 Colocar el juego de tamices en el vibrador mecánico por espacio de 10 minutos.
- 1.5 En la operación de tamizado manual se sacude(n) el tamiz o tamices con un movimiento lateral y vertical acompañado de vibración y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento continuo sobre la malla. En ningún caso se permite girar o manipular manualmente fragmentos de la muestra a través de un tamiz. Al desmontar los tamices debe comprobarse que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas atrapadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz.
- 1.6 Registrar lo retenido en cada tamiz.

2. Granulometría conjunta

- 2.1 Se fundamenta en el uso de las muestras de suelo que pasan el tamizaje del No. 10 y con el agua destilada.
- 2.2 Se prepara 1 litro de agua destilada y 40 (g) de agente reactivo previstos en el ítem de materiales, paso a seguir, se le coloca el líquido en el cilindro para sedimentación y se le lleva a la cámara de temperatura constante, dispuesto a dos tipos de temperaturas del líquido cuando alcanza la temperatura de la cámara constante, se inserta el hidrómetro en el cilindro hasta que llegue a la temperatura del líquido exterior, luego se toma la lectura con el hidrómetro 151H en la parte superior.
- 2.3 La corrección compuesta es la diferencia entre la lectura y uno (1), mientras que el hidrómetro 152H es la diferencia entre la lectura y cero (0). posteriormente se lleva el líquido y el hidrómetro a otra temperatura elegida como por ejemplo 30° C y repite el mismo procedimiento.



- 2.4 La humedad higroscópica se calcula con la muestra suelo secado al aire libre, y se debe pesar en el ensayo de hidrómetro, posteriormente se utiliza una segunda porción de 10 a 15 (g), en un recipiente metálico, la cual se secará en el horno a (110° C o 230° F) hasta que la masa sea constante y se pese de nuevo, se apuntaran los dos valores y se calculara la humedad higroscópica (w) E-122 INV.
- 2.5 Si en la muestra de suelo prevalecen las partículas de limo y arcilla, se debe pesar una muestra de 50g suelo al aire libre, por el contrario, si en el suelo predomina la arena la muestra que se debe pesar 100g.
- 2.6 Se coloca la muestra en el vaso de vidrio de 250 ml y se cubre con 150 ml de la solución hexametáfosfato o 150 ml y 5 (g) de HCL, se debe agitar con la varilla de vidrio hasta que sea un suelo humedecido completamente y se permita su saturación durante 16 horas como mínimo.
- 2.7 Una vez esperado el tiempo de saturación, se dispersa nuevamente la muestra en el agitador mecánico disperso, como se evidencia en la (Dirigirse a la norma I.N.V.E 123 Tabla 123 – 2) , si es necesario se añade mas agua para llenar la mitad del recipiente. Posterior, se agitará durante 1 minuto. (nota: el recipiente tiene que estar limpio y se recomienda utilizar un gotero o jeringa mientras se realiza el procediendo).
- 2.8 En el equipo *recipiente de dispersión*, se remueve la tapa de cubierta y se conecta al recipiente una fuente de aire comprimido atreves de una manguera plástica, debe existir un manómetro en la línea, entre el recipiente y la válvula de control. Se abre la válvula de manera hasta que el manómetro marque la presión de 7 kPa se podrá trasferir la muestra del procedimiento anterior por ser necesario se añade agua hasta que complete un volumen de 250ml como máximo, Se coloca la tapa de cubierta en el recipiente hasta que alcance una presión de 140 kPa, se debe cronometrar el tiempo que dura suelo en dispersarse hasta 1 kPa según la plasticidad de acuerdo con la siguiente (Ver Tabla 4)



Tabla 4. Periodos de dispersión

ÍNDICE DE PLASTICIDAD	PERÍODO DE DISPERSIÓN
≤ 5	5 minutos
6 a 20	10 minutos
> 20	15 minutos

(Norma I.N.V.E - 123, 2018)

2.9 Del *recipiente de dispersión*, se trasfiere la muestra colocada en el tapón de caucho, se voltea el cilindro con la tapa hacia abajo y viceversa tapando con la mano durante un (1) minuto, para completar la agitación (nota debe ser unas 60 vueltas) al terminar el minuto, se coloca el cilindro sobre una superficie plana y se hace la lectura de los siguientes intervalos de tiempo en 2, 5, 15, 30, 60 minutos. Si se usa el baño de agua de temperatura controlada, el cilindro se debe colocar dentro de cuerpo de temperatura en los intervalos 2 y 5, cuando se vaya a tomar la lectura con el hidrómetro se introduce con cuidado unos 20 a 25 segundos, antes de la lectura hasta la profundidad, por consiguiente, después de tomar la lectura se debe limpiar el hidrómetro en una probeta con agua realizando movimientos rotatorios, al final de cada lectura se debe de tomar la temperatura.

Para finalizar se busca el análisis por tamizado, se trasfiere la muestra a un tamiz de No. 200 y se lava con agua potable hasta que quede color claro, en seguida se debe pasar a un molde con el material retenido y se pone a secar en el horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$), se realiza un análisis de tamizado usando los tamices como se desee.

CALCULOS

- Factor de corrección por humedad higroscópica.

Es la relación entre la masa del suelo seco al horno y la masa del suelo seco al aire es un numero menor a 1, cuando da mayor no hay humedad higroscópica



$$\% \text{ humedad higroscópica} = \frac{(w - w_1)}{w_1} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

w : masa del suelo seca al aire

w_1 : masa del suelo seca al horno

- Porcentaje de suelo suspensión.

Para el hidrómetro 151 H:

$$\%P_{151 H} = \left[\left(\frac{100000}{W} \right) \times \frac{G}{(G - G_1)} \right] (R - G_1) \quad \text{Ecuación 2}$$

Para el hidrómetro 152 H:

$$\%P_{152 H} = \left[\frac{R \times a}{W} \right] \times 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

P : Porcentaje de suelo que permanece en suspensión al nivel, al cual midió el hidrómetro la densidad de la suspensión.

G : Gravedad específica de la partículas del suelo.

G_1 : Gravedad específica del líquido dentro del cual están suspendidas la partícula del suelo, se da un valor de 1 en los dos casos.

R : Lectura de hidrómetro con la corrección compuesta aplicada 151H y 152H (*Nota: la corrección es la suma del menisco del hidrómetro*)

W : Masa del suelo seco al horno en una muestra de ensayo total representada por la masa de suelo dispersado en g.

a : Factor de corrección por aplicar a la lectura del hidrómetro 152 H ya que toma 2,65 gravedad específica; (Ver Tabla 5)

Tabla 5 valor del factor de corrección vs gravedad específica

GRAVEDAD ESPECÍFICA	FACTOR DE CORRECCIÓN
2,95	0,94
2,90	0,95



2,85	0,96
2,8	0,97
2,75	0,98
2,7	0,99
2,65	1
2,6	1,01
2,55	1,02
2,5	1,03
2,45	1,05

(Norma I.N.V.E - 123, 2018)

- Valores de la profundidad efectiva

$$L = \frac{L_1 + 1}{\left[2 \left(L_2 - \left(\frac{V_B}{A} \right) \right) \right]}$$

Ecuación 4

Donde:

L : Profundidad efectiva (cm)

L_1 : Distancia, a lo largo del vástago del hidrómetro, entre la parte superior del bulbo y la marca de lectura del hidrómetro (cm)

L_2 : Longitud total del bulbo del hidrómetro (cm)

V_B : Volumen del bulbo del hidrómetro (cm³)

A : Sección transversal del cilindro de sedimentación (cm)

- Para ambos hidrómetros

$$- L_2 = 14.0 \text{ cm} \quad - V_B = 67.0 \text{ cm}^3 \quad - A = 27.8 \text{ cm}^2$$

- Para el hidrómetro 151 H:



$L_1 = 10.5$ cm para una lectura de 1.000 = 2.3 cm para una lectura de 1.031

- Para el hidrómetro 152 H:

$L_1 = 10.5$ cm para una lectura de 0 g/litro = 2.3 cm para una lectura de 50 g/litro

Donde:

L: Distancia entre la superficie de la suspensión y el nivel al cual se mide su densidad, cm (para un hidrómetro y un cilindro para sedimentación, los valores varían de acuerdo con la lectura del hidrómetro. Esta distancia se conoce como “profundidad efectiva” (Dirigirse a la I.N.V.E 123 Tabla 123 -2)

T: Lapso transcurrido desde el comienzo de la sedimentación hasta la toma de la lectura, min;

G: Gravedad específica de las partículas del suelo;

G_1 : Gravedad específica (densidad relativa) del líquido dentro del cual están suspendidas las partículas del suelo. Su valor se puede tomar igual a 1.000 para todos los fines prácticos.

- *Diámetro de las partículas del suelo*

Es el correspondiente al porcentaje indicado en la lectura dada del hidrómetro, se debe calcular con la ley de Stokes (Dirigirse a la I.N.V.E 123 Tabla 123 -2)

$$D = \sqrt{\left[\frac{30 \eta}{980 (G - G_1)} \right] \times \frac{L}{T}}$$

Ecuación 5

Donde:

D: Diámetro de la partícula (mm)

η : Coeficiente de viscosidad del medio de la suspensión en agua en Poises (unidad de velocidad) varia con el cambio de temperatura del medio (Dirigirse a la norma I.N.V.E 123 Tabla 123 – 2)

L: Distancia entre la superficie de la suspensión y el nivel al cual se mide la densidad (efectiva)

T: Lapso trascurrido desde el comienzo de la sedimentación hasta la toma de la lectura.



- *Otro método:*

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

Ecuación 6

Donde:

k: Constante que depende del valor de la gravedad específica del suelo y de la temperatura de la suspensión. El valor de no cambia para una serie de lecturas que constituyan un ensayo, L y T: si varían. El valor de k se podrá encontrar (Dirigirse a la I.N.V.E 123 Tabla 123 -3)

REPORTE DE RESULTADOS

El informe obtenido de la realización de este ensayo debe articularse al contenido de humedad, límite plástico, límite líquido, granulometría para poder elaborar una ficha de clasificación del tipo de suelo , completar anexos.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

[1] DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS - INV E -123, 13.



Equipos y Accesorios	unidad	Cantidad
Balanza de 600gr	Und	2
Tamiz no 40	Und	6
Espatula	Und	12
Vidrio Esmerilado	Und	6
Aparato de Limite Liquido (Cazuela de Casagrande y ranurador)	Und	6
Probetas	Und	6

MATERIALES A TRAER POR LOS ESTUDIANTES

Elementos	Unidad	Cantidad
Capsula en aluminio para colocar muestra de suelo	Und/grupo	3

MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD NECESARIAS

Es obligatorio para el ingreso y permanencia en las actividades de laboratorio el uso de bata manga larga anti fluidos, guantes de nitrilo, mascarilla de gases, gafas de seguridad, gorro desechable, pantalón sin desgastes o rotos, camisa manga larga y zapatos cerrados o botas de seguridad. Los siguientes son elementos de protección a emplear de acuerdo a el tipo de actividad que se va a desarrollar.

Elementos	señalar si el estudiante lo requiere
Guantes de carnaza	Si
Tapabocas desechable	No
Protector auditivo	No
Casco de seguridad	No
Otros:	N/A

OBJETIVOS



General: El estudiante por medio de este procedimiento, lograra determinar cuantitativamente el limite liquido de los suelos.

Específicos:

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se determinen las siguientes constantes de la muestra de suelo:

- Clasificación por cualquiera de los métodos del suelo

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Límites de Atterberg – Originalmente, Albert Atterberg definió seis “límites de consistencia” para los suelos finos: el límite superior del flujo viscoso, el límite líquido, el límite de pegajosidad, el límite de cohesión, el límite plástico y el límite de contracción. En el uso actual de la ingeniería el término se aplica solamente a los límites líquido y plástico y, en algunas referencias, también al límite de contracción. Los límites líquido y plástico de los suelos (junto con el límite de contracción) son mencionados a menudo en conjunto como límites de Atterberg. Estos límites dividen diferentes estados de consistencia de los suelos plásticos

Límite líquido (LI) – Contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje, que determina el limite donde el suelo deja de comportarse como plástico y pasa a comportarse como un fluido.



MUESTRA

Se obtiene una porción representativa de la muestra, suficiente para suministrar de 150 a 200 g de material que pase el tamiz de 425 μm (No. 40). Las muestras que fluyen libremente, se pueden reducir por cuarteo. Los suelos cohesivos que no fluyen libremente se deben mezclar completamente con una espátula o un cucharón dentro de un recipiente, tomando como representativa una porción, recogida con el cucharón, de la masa mezclada.

PROCEDIMIENTO

1 Preparación de la muestra:

Se lleva a cabo el proceso del tamizado es importante recalcar que se puede hacer solo con el tamiz 40 y un fondo "ilustración 1", de aquí se saca una muestra para prepararla para el procedimiento del límite líquido.



Ilustración 1 Juego de tamices

Se tiene que verificar el desgaste de la cazuela de casa grande ya que esto puede que se tenga un margen de error mucho mayor al que normalmente se tiene, se debe de revisar la base en la parte que la cazuela cae o golpe esta, de igual forma revisar la el cucharon ya que estas dos partes son las que tienen mas contacto en el momento de usarla. El pivote no debe de tener un juego de mas de 3 mm (1/8") en el punto más bajo del aro.

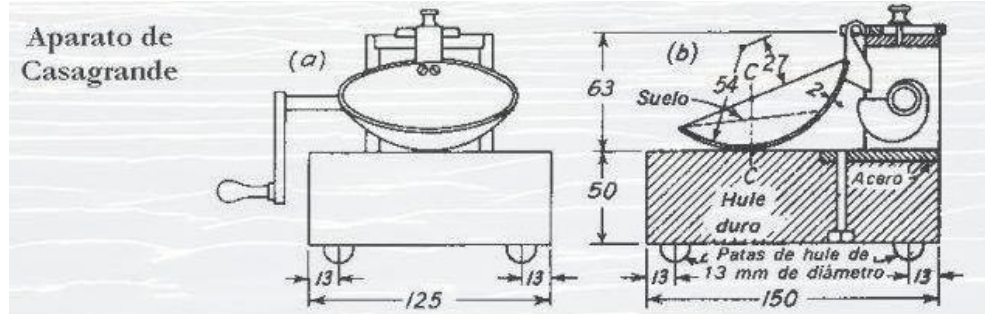


Ilustración 2 Cazuela de Casagrande medidas

Se debe verificar el desgaste del ranurador de manera regular. La rapidez del desgaste depende del material de su construcción y de los tipos de suelos sobre los cuales se emplean. Los suelos con contenidos significativos de arena fina propician el desgaste rápido; por lo tanto, cuando se ensayen materiales de esta clase, los ranuradores se deberán verificar con mayor frecuencia que cuando se emplean con otros suelos.

- 2 Ajuste de la altura de caída libre de la cazuela: La altura se debe ajustar de manera que la parte de la cazuela que golpea la base se eleve a una de 10 ± 2 mm. Para establecer la ubicación adecuada del calibrador en relación con la cazuela durante el ajuste.



Ilustración 3 Calibración cazuela



Se remezcla completamente la muestra de suelo tomada ajustando su contenido de agua para que adquiera la consistencia requerida para que sean necesarios entre 20 y 35 golpes de la cazuela para cerrar la ranura que se le hace al suelo. Se coloca una cantidad adecuada de suelo en la cazuela encima del punto dos esta descansa en la base y se comprime y extiende con la espátula para nivelarla y, a la vez dejarla con una profundidad de aproximadamente 10 mm en el punto máximo de su espesor (ilustración 4). Se debe usar el menor número posible de pasadas con la espátula, evitando atrapar burbujas de aire en la masa de suelo. El suelo excedente se debe devolver al recipiente mezclador, el cual se debe tapar con el fin de retener la humedad de la muestra.



Ilustración 4 Suelo en cazuela

Con el suelo colocado sobre la cazuela de bronce se divide con una pasada firme del ranurador, hundiéndolo el lado biselado de esta hacia adelante en una línea que desde el punto más alto hasta el más bajo del borde a cazuela. Al hacer la ranura, se sostiene el ranurador contra la superficie de la cazuela durante su movimiento (ilustración 2). En suelos en los que no se pueda hacer la ranura en una sola pasada sin desgarrarlos, la ranura se corta con varias pasadas del ranurador. También, se puede hacer una ranura ligeramente menor usando una espátula y usando luego el ranurador hasta completar la dimensión deseada. Se debe tener un cuidado extremo, con el fin de evitar que la pasta de suelo se deslice sobre la superficie de la cazuela.



Ilustración 5 Ranura en el suelo

Luego de varios ensayos con contenidos de agua sucesivamente mayores, la pasta de suelo se continúa deslizando en la cazuela o si el número requerido de golpes para cerrar la ranura es siempre menor de 25, se informa que no es posible determinar el límite líquido y que el suelo es no plástico (NP), sin que sea necesario realizar el ensayo de límite plástico.

Cada vez que se realiza el proceso de cerrar la muestra del suelo, se toma una pequeña parte de esta muestra se coloca en un recipiente y se pesa, esta muestra se lleva al horno durante 24 horas para de esta manera encontrar el contenido de humedad de cada una de las muestras que se van a tomar.

Al tener ya todos los contenidos de humedad y el número de golpes de cada uno de ellos se procede a graficar estos dos datos en un gráfico semi-logaritmico, teniendo en el eje X el número de golpes y en el eje Y el número de golpes necesitados para el cierre de la muestra

Al tener todos los puntos ya graficados se hace una regresión lineal para encontrar tener la ecuación de la recta y de esta manera poder encontrar el límite líquido el cual se va dar en golpe número 25, también se puede obtener de la gráfica como lo muestra la ilustración 6.

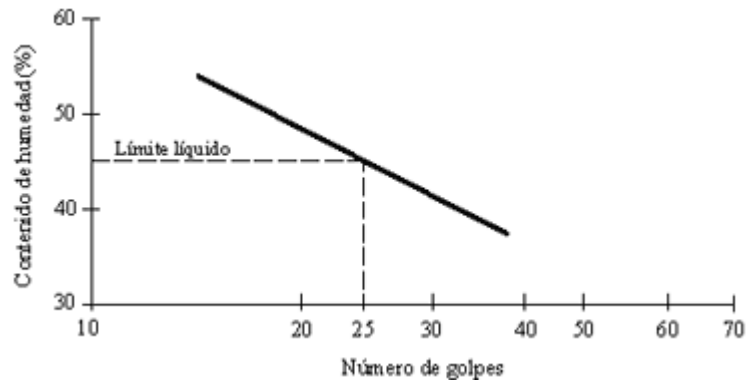


Ilustración 6 Grafica limite liquido

CÁLCULOS

- Contenido de humedad:

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2}$$

Ecuación 1

Donde:

w : contenido de humedad

m_1 : masa suelo húmedo

m_2 : masa suelo seco

- Limite liquido

$$LL_N = w_N \times \left[\frac{N}{25} \right]^{0.121}$$

Ecuación 2

O:

$$LL_N = K \times w_N$$

Ecuación 3

Donde:

LL_N : Límite líquido a partir de un punto, para un tanteo (%)

N : Número de golpes para que se cierre la ranura en un tanteo

w_N : Contenido de agua para un tanteo



K : Factor de corrección (Tabla 1)

Tabla 1 Factores de corrección para obtener el límite líquido a partir de la cantidad de golpes

NÚMEROS DE GOLPES (N)	FACTOR DE LÍMITE LÍQUIDO (K)
20	0.973
21	0.979
22	0,985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

((Norma I.N.V.E - 125, 2018))

REPORTE DE RESULTADOS

El informe obtenido de la realización de este ensayo debe articularse al contenido de humedad, límite plástico, Límite líquido, granulometría para poder elaborar una ficha de clasificación del tipo de suelo.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

[1] DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - INV E – 125 – 13



Equipos y Accesorios	unidad	Cantidad
Balanza de 600gr	Und	2
Tamiz no 40	Und	6
Espatula	Und	12
Vidrio Esmerilado	Und	6
Probetas	Und	6

MATERIALES A TRAER POR LOS ESTUDIANTES		
Elementos	Unidad	Cantidad
Capsula en aluminio para colocar muestra de suelo	Und/grupo	3

MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD NECESARIAS	
<p>Es obligatorio para el ingreso y permanencia en las actividades de laboratorio el uso de bata manga larga anti fluidos, guantes de nitrilo, mascarilla de gases, gafas de seguridad, gorro desechable, pantalón sin desgastes o rotos, camisa manga larga y zapatos cerrados o botas de seguridad. Los siguientes son elementos de protección a emplear de acuerdo a el tipo de actividad que se va a desarrollar.</p>	
Elementos	señalar si el estudiante lo requiere
Guantes de carnaza	Si
Tapabocas desechable	No
Protector auditivo	No
Casco de seguridad	No
Otros:	N/A

OBJETIVOS

General: El estudiante por medio de este procedimiento, lograra determinar cuantitativamente el límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.



Específicos:

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se determinen las siguientes constantes de la muestra de suelo:

- Clasificación por cualquiera de los métodos del suelo

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Límites de Atterberg – Originalmente, Albert Atterberg definió seis “límites de consistencia” para los suelos finos: el límite superior del flujo viscoso, el límite líquido, el límite de pegajosidad, el límite de cohesión, el límite plástico y el límite de contracción. En el uso actual de la ingeniería el término se aplica solamente a los límites líquido y plástico y, en algunas referencias, también al límite de contracción. Los límites líquido y plástico de los suelos (junto con el límite de contracción) son mencionados a menudo en conjunto como límites de Atterberg. Estos límites dividen diferentes estados de consistencia de los suelos plásticos

Límite plástico (LI) – Contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje, que determina el límite donde el suelo deja de comportarse como semi sólido y pasa a un estado plástico.

Índice de Plasticidad (Ip) – es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.

METODOLOGÍA

MUESTRA

Se toma una porción de 20 g, o un poco más, del suelo preparado para el ensayo del límite líquido, ya sea luego del segundo mezclado antes del ensayo o del suelo que sobre al terminar la prueba del límite líquido. Se reduce el contenido de agua de esta porción de suelo hasta que alcance una consistencia que permita enrollarlo sin que se pegue a las manos, extendiéndolo o mezclándolo continuamente sobre la placa de vidrio o en el recipiente de mezcla y almacenamiento. El proceso de secado se puede acelerar, exponiendo el suelo a la corriente de aire de un ventilador eléctrico o aplicándole un papel secante que no añada fibras al suelo.



PROCEDIMIENTO

1. Del espécimen de ensayo, se selecciona una porción de 15 a 20 g con la cual se forma una masa elipsoidal.
2. Se forman rollos con la masa de suelo, siguiendo los procedimientos
3. Cuando el diámetro del rollo llegue a 3.2 mm, este se divide en varios trozos. Se juntan los trozos y se comprimen entre los pulgares y los demás dedos de ambas manos formando una masa uniforme de forma elipsoidal y se enrolla de nuevo. Se repite este procedimiento partiendo, juntando, amasando y enrollando, hasta que el rollo de 3.2 mm de diámetro se desmorone bajo la presión requerida para el enrollamiento y el suelo no pueda ser enrollado mas en cilindros de 3.2 mm de diámetro. No es importante si el rollo se parte en rollos de longitud muy corta. Cada uno de estos rollos cortos se deberá enrollar hasta alcanzar un diámetro de 3.2 mm. Lo único que se requiere para continuar el ensayo, es que al juntar estos rollos se pueda volver a formar una masa elipsoidal y luego crear nuevos rollos. En ningún momento el operador deberá intentar producir la rotura a un diámetro exacto de 3.2 mm formando un rollo de este tamaño y tratando de producir entonces la desintegración mediante una disminución de la velocidad de enrollamiento y/o de la presión manual, y continuando el enrollamiento sin mas deformación hasta que el rollo se desbarate. Esta permitido, sin embargo, reducir la cantidad total de deformación de un suelo débilmente plástico, haciendo que el diámetro inicial de la masa elipsoidal sea próximo al diámetro final requerido de 3.2 mm. Es posible que el desmoronamiento de un rollo ocurra cuando este tenga un diámetro mayor de 3.2 mm. Este podrá ser considerado un punto final satisfactorio, siempre y cuando el suelo haya podido ser enrollado precisamente en un cilindro de 3.2 mm de diámetro. El desmoronamiento se manifiesta de maneras diferentes en distintos tipos de suelos. Algunos suelos se desintegran en numerosas partículas pequeñas y otros pueden formar una capa exterior tubular que comienza a separarse desde ambos extremos.
4. Se recogen las porciones de suelo desmoronado y se colocan en un recipiente adecuando de masa conocida. Si el recipiente con el suelo no se pesa en ese momento, se deberá tapar inmediatamente.
5. Se seleccionan otras porciones de 15 a 20g del espécimen del límite plástico y se repiten las operaciones descritas anteriormente hasta que el recipiente tenga, cuando menos, 60g de suelo.



6. Las operaciones descritas en los numerales (a-e) se deberán repetir para obtener otro recipiente que contenga al menos 60g de suelo.
7. Se determinan los contenidos de agua de los suelos contenidos den los dos recipientes, de acuerdo con la norma de humedad y se anotan los resultados.

CALCULOS

- Índice de plasticidad

$$IP = LL - LP$$

Ecuación 1

Donde:

LL: Limite liquido

LP: Limite plástico

REPORTE DE RESULTADOS

El informe obtenido de la realización de este ensayo debe articularse al contenido de humedad, limite líquido, indice plasticidad, granulometría para poder elaborar una ficha de clasificación del tipo de suelo.

Se calcula el promedio de los contenidos de agua (tanteos del limite plástico) y el valor obtenido se redondea el entero mas cercano. Este valor es el límite plástico (LP). El ensayo se deberá repetir, si la diferencia entre los limites plásticos de los dos tanteos supera el rango de aceptabilidad para los resultados de los ensayos, efectuados por un solo operador; es decir 1,4 puntos porcentuales.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

[1] DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLASTICO Y DEL INDICE PLASTICO - INV E – 126 – 13



Equipos y Accesorios	unidad	Cantidad
Permeámetro (equipo)	Und	1
Tanque de cabeza constante	Und	1
Equipo de compactación para la muestra	Und	1
Bomba de vacío	Und	1
Tubos manométricos (equipo)	Und	1
Cucharón con capacidad de 100 g. (0.25 Lb)	Und	1
Balanza con capacidad de 2Kg (4.4 Lb)	Und	1
Probetas (250 ml y 1 L)	Und	2
Termómetro	Und	1

MATERIALES A TRAER POR LOS ESTUDIANTES		
Elementos	Unidad	Cantidad
Reloj con temporizador	Und/Grupo	1
Tazón para mezclar	Und/Grupo	1
Cuchara	Und/Grupo	1
Embudo amplio	Und/Grupo	1

MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD NECESARIAS	
<p>Es obligatorio para el ingreso y permanencia en las actividades de laboratorio el uso de bata manga larga anti fluidos, guantes de nitrilo, mascarilla de gases, gafas de seguridad, gorro desechable, pantalón sin desgastes o rotos, camisa manga larga y zapatos cerrados o botas de seguridad. Los siguientes son elementos de protección a emplear de acuerdo a el tipo de actividad que se va a desarrollar.</p>	
Elementos	señalar si el estudiante lo requiere
Guantes de carnaza	Si
Tapabocas desechable	No
Protector auditivo	No
Casco de seguridad	No
Otros:	N/A

OBJETIVOS

General: Por medio de esta guía se tiene como objetivo determinar el coeficiente de permeabilidad mediante el método de carga constante (cabeza constante) para el flujo laminar de agua a través de los suelos granulares.



Específicos:

- A través de esta guía se podrá conocer el comportamiento permeable del suelo a evaluar, ya sea para análisis académico o constructivo.
- Analizar e interpretar los resultados obtenidos de la prueba.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

El suelo no se constituye un sólido ideal, sino que forma un sistema con dos o tres fases: partículas sólidas y gas, partículas sólidas y líquido, o bien, partículas sólidas, gas y líquido. Por lo tanto, se habla de medios “porosos” y a su vez esta propiedad condiciona la permeabilidad del medio o del material de estudio.

La permeabilidad es la mayor o menor facilidad con la que el fluido atraviesa el suelo, esto depende de varios factores como la relación de vacíos, es decir, el tamaño de los poros y la forma de correlación entre las partículas. Todo está en función de la granulometría.

A través de ley de Darcy (1856), se obtiene la siguiente ecuación para determinar el coeficiente de permeabilidad:

$$k = \frac{Q \times L}{A \times t \times h}$$

Ecuación 1

Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad.

Q: Gasto, es decir cantidad de agua descargada.

L: Distancia entre manómetros.

A: Área de la sección transversal de la muestra.

t: Tiempo total de desagüe.

h: Diferencia de cabezas en los manómetros.



METODOLOGÍA

MUESTRA

Se deberá escoger por cuarteo una muestra óptima para el desarrollo de la práctica, esta debe ser de suelo granular secado al aire, que contenga menos del 10% de pasante por el tamiz N° 200, y en cantidad suficiente para satisfacer toda la prueba.

Se deberá hacer un análisis granulométrico sobre la muestra representativa de la totalidad del suelo, antes del ensayo de permeabilidad. Las partículas mayores a 19.0 mm (3/4") deberán ser separadas por tamizado. Los sobretamaños no deberán ser empleados para el ensayo, pero su porcentaje si debe ser reportado. Del material el cual se ha removido los sobretamaños se escoge, mediante cuarteo, una cantidad aproximadamente igual al doble de la requerida para llenar la cámara del permeámetro.

PREPARACIÓN

2.1. Se debe efectuar las siguientes medidas iniciales en centímetros o en centímetros cuadrados según corresponda: el diámetro interior de permeámetro (D), la longitud entre salidas del manómetro, la profundidad H1 que será medida entre la parte superior del cilindro y la parte superior de la piedra porosa superior, o sino desde la malla colocada en la piedra porosa superior o hasta la malla inferior. Esto deduce el espesor de la placa porosa superior o malla, de las medidas usadas para hallar el volumen del suelo puesto en el cilindro de permeabilidad. Se usa una placa con cuatro aberturas grandes simétricamente colocadas a través se puedan efectuar medidas requeridas para determinar el valor promedio de H1. Se calcula el área transversal "A" de la muestra.

2.2. Se toma de la muestra escogida anteriormente para hallar la humedad de la muestra y se anota la masa de muestra sobrante.

2.3. Se coloca el suelo preparado en capas uniforme de compactación con un aproximado de 15 mm.

Para suelos con un máximo de 9.5 mm o menos; se coloca en el equipo de permeabilidad el embudo, con el conducto en contacto con la capa porosa inferior y se va rellenando en forma espiral para que tenga un llenado de capas uniformemente con el fin de producir separación.

Para suelos con un máximo mayor de 9.5 mm, se distribuye el suelo con un cucharón. Se logra un extendido del suelo uniforme deslizándolo con una pendiente leve descendente a lo largo de la superficie interior del dispositivo, así sucesivamente con las demás capas enfocadas hacia el centro del aparato, con esto evitamos separaciones del material.



- 2.4. Se compacta las capas del suelo sucesivamente. La densidad relativa se obtiene según el aparato de compactación utilizado.
- 2.5. Se nivela la parte superior del suelo colocando la placa porosa o la malla superior en posición o rotándola suavemente hacia adelante y hacia atrás.
- 2.6. Se mide y se anota la altura final de la muestra (H1-H2), midiendo la profundidad H2 desde la parte superior porosa de la placa que se utilizó para medir H1, hasta el tope de la placa superior en malla, medida en cuatro puntos simétricamente dispuestos después de comprimir ligeramente el resorte.
- 2.7. Empleando la bomba de vacío, se aspira la muestra bajo los 500 mm de mercurio, como mínimo, durante 15 minutos, para remover el aire de los vacíos y el adherido a las partículas.

PROCEDIMIENTO

- 3 Para un desarrollo óptimo de la práctica, se debe considerar que el fluido tenga un flujo laminar constante, sin cambios de volumen del suelo y con los vacíos del suelo saturados. Las condiciones del fluido deben transcurrir de manera lenta y constante, no se admiten flujos turbulentos.
 - 3.1 Se abre ligeramente la válvula de admisión del tanque filtrante para las condiciones descritas en el anterior numeral (3.1.), obteniendo el tiempo de gasto y la medida de cabeza hasta que se alcance una condición de cabeza estable sin que exista variación apreciable de los niveles de los manómetros. Se obtiene el tiempo "t", la cabeza "h" (diferencia de nivel en los manómetros), el gasto "Q", y la temperatura del agua, "T".
 - 3.2 Se repiten las pruebas con incrementos de cabeza de 0,5 cm con el fin de establecer la región del flujo laminar con velocidad, v ($v=Q/At$), directamente proporcional al gradiente hidráulico. "i" ($i=h/L$). Cuando aparezca el flujo turbulento se pueden incluir intervalos de cabeza de 1 cm para conllevar el ensayo suficientemente dentro de la zona de turbulencia.
 - 3.3 Al concluir el ensayo de permeabilidad, se drena y se examina la muestra para establecer si era esencialmente homogénea y de carácter isotrópico. Cualquier clase de rayas o capas horizontales alternadas claras y oscuras evidencian la segregación de finitos.
 - 3.4 Se corrige la permeabilidad (K) a 20°C multiplicándolo por la relación entre la viscosidad de agua a la temperatura del ensayo y la viscosidad del agua a 20°C (Ver Tabla 1)



Tabla 1. Relación entre la viscosidad del agua y la temperatura a una presión de 101.325 kPa

TEMPERATURA °C	VISCOSIDAD DINÁMICA kg/m.s	TEMPERATURA °C	VISCOSIDAD DINÁMICA kg/m.s
0	0,001792	21	0.000979
1	0,001731	22	0.000955
2	0,001674	23	0.000933
3	0,00162	24	0.000911
4	0.001569	25	0.000891
5	0.001520	26	0.000871
6	0.001473	27	0.000852
7	0.001429	28	0.000833
8	0.001386	29	0.000815
9	0.001346	30	0.000798
10	0.001308	31	0.000781
11	0.001271	32	0.000765
12	0.001236	33	0.000749
13	0.001202	34	0.000734
14	0.001170	35	0.000720
15	0.001139	36	0.000705
16	0.001109	37	0.000692
17	0.001081	38	0.000678
18	0.001054	39	0.000666
19	0.001028	40	0.000653
20	0.001003	41	0.000653

Fuente: Norma INV E-130



REPORTE DE RESULTADOS

Se calcula el reporte de los datos obtenidos y a través de estos se puede obtener que: la permeabilidad es una medida directa. La permeabilidad es la facilidad o dificultad que el fluido tiene para atravesar el suelo.

Una vez esto, obtenemos una clasificación de los datos obtenidos de la práctica, como lo es la masa de las muestras, tiempo de transcurso del fluido, área de la muestra, velocidades y finalmente la permeabilidad de la muestra del suelo. Como anexo, también se cuenta con el análisis granulométrico, clasificación, tamaño de la partícula, porcentaje del material sobrepasado y se obtiene una curva que representa la velocidad “v” contra el gradiente hidráulico “i” que cubran los rangos de las identificaciones del suelo.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES (CABEZA CONSTANTE) - INV E – 130 – 13



Equipos y Accesorios	unidad	Cantidad
Molde 4"	Und	1
Molde 5"	Und	1
Martillo metálico	Und	1
Extractor de muestras	Und	1
Balanzas	Und	1
Horno	Und	1
Regla metálica	Und	1
Tamices ¾", 8" y No. 4	Und	1
Espátulas	Und	1

MATERIALES A TRAER POR LOS ESTUDIANTES

Elementos	Unidad	Cantidad
Capsula en aluminio para colocar muestra de suelo	Und/grupo	2
Recipiente en aluminio para determinar la humedad	Und/grupo	2

MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD NECESARIAS

Es obligatorio para el ingreso y permanencia en las actividades de laboratorio el uso de bata manga larga anti fluidos, guantes de nitrilo, mascarilla de gases, gafas de seguridad, gorro desechable, pantalón sin desgastes o rotos, camisa manga larga y zapatos cerrados o botas de seguridad. Los siguientes son elementos de protección a emplear de acuerdo a el tipo de actividad que se va a desarrollar.

Elementos	señalar si el estudiante lo requiere
Guantes de carnaza	
Tapabocas desechable	
Protector auditivo	
Casco de seguridad	
Otros:	

OBJETIVOS

General: El estudiante por medio de este procedimiento, determinar la curva de compactación para determinar la energía de compactación



Específicos:

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se determinen las siguientes constantes de la muestra de suelo:

- Contenido de humedad
- Densidad seca

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Humedad de moldeo – Contenido de agua con el cual se prepara una muestra para someterla a compactación.

Energía del ensayo normal de compactación – 600 kN–m/m³ (12 400 lbf–pie/pie³), aplicada con el equipo y procedimiento descritos en esta norma.

Peso unitario seco máximo del ensayo normal de compactación ($\gamma_d, máx$) – El máximo valor definido en la curva de compactación obtenida como resultado del ensayo realizado con la energía indicada en el numeral 2.2.

Humedad óptima del ensayo normal de compactación (w_{opt}) – La humedad de moldeo con la cual el suelo alcanza el peso unitario seco máximo usando la energía normalizada.

Sobretamaños (fracción gruesa) (P_{FG}) – Porción de la muestra total que no se utiliza en la prueba de compactación. Es la retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4) cuando se utiliza el Método A; la retenida en el tamiz de 9.5 mm (3/8") cuando se emplea el Método B, o la retenida en el tamiz de 19.0 mm (3/4") cuando se emplea el Método C.

Fracción de ensayo (fracción fina) (P_{FE}) – Es la porción de la muestra total que se emplea en el ensayo de compactación. Corresponde al material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) cuando se utiliza el Método A; al pasante por el tamiz de 9.5 mm (3/8") cuando se emplea el Método B, o al pasante por el tamiz de 19.0 mm (3/4") cuando se emplea el Método C.

METODOLOGÍA

MUESTRA

1. La muestra debe ser una cantidad mínima para el ensayo Métodos A o B es de unos 16 kg y para el Método C es de 29 kg. Por o tanto la muestra debería tener una masa húmeda de, de 23 kg y 45 kg.
2. Si no se dispone de los datos de la granulometría de la muestra, se estima las proporciones de la materia retenido en el tamiz No. 4 para el Método A; en el tamiz 3/8" se emplea para el Método B o el tamiz de 3/4" cuando se emplea el método C. Si se considera que el porcentaje retenido esta muy cerca



del límite admitido por el método de compactación que se va a utilizar, entonces se escoge alguna de las siguientes 3 opciones:

1. Se Elige un Método que permita un mayor porcentaje retenido (por ejemplo, el B o el C, Si inicialmente se pretende utilizar el A.
2. Usando el método de interés, se procesa la muestra como se indica en los numerales 7.2 o 7.3, con lo que se determina al porcentaje retenido para dicho método. Si resulta aceptable, se procede en caso contrario se va al método B o C.
3. Se determina los valores de los porcentajes retenidos usando una porción representativa de la muestra y empleando la norma de ensayo INV E – 213. Solamente se necesita determinar los porcentajes retenidos en el tamiz o los tamices deseados.

PROCEDIMIENTO

1. El suelo no se puede utilizar como muestra de suelo previamente compactadas en el laboratorio, si se usa con suelo que tenga haloisita hidratada o en los cuales la experiencia indica que los resultados se puedan ver afectados por el secado del aire de la muestra, se debe emplear el método de preparación de vía húmeda.
2. Preparación de la vía húmeda, sin secado previo de la muestra, se procesa la muestra de 5000 g sobre el tamiz No. 4, 3/8" o 3/4" dependiendo el método a ser usando o requerido, se debe terminar y registrar las masas de los materiales pasantes y retenidos en esos tamices. Se seca en el horno la fracción gruesa y se determina y registra su masa.
- 3.



CALCULOS

Porcentajes de las fracciones

- Masa seca de la fracción de ensayo (M_{sfe})

$$M_{sfe} = \frac{M_{hfe}}{1 + \frac{w_{fe}}{100}}$$

Ecuación 1

Donde:

M_{hfe} : Masa húmeda de la fracción de ensayo, aproximada a 1 (g)

w_{fe} : Humedad de la fracción de ensayo, aproximada a 0.1%

- Porcentaje de la fracción gruesa (P_{fg})

$$P_{fg} = \frac{M_{sfc}}{M_{sfc} + M_{sfe}} \times 100$$

Ecuación 2

Donde:

M_{sfc} : Masa seca de la fracción gruesa, aproximada a 1 (g)

- Porcentaje de la fracción de ensayo (P_{fe})

$$P_{fe} = 100 - P_{fg}$$

Ecuación 3

Donde:

P_{fg} : porcentaje de la fracción gruesa

Humedad de moldeo de cada probeta:

- Densidad húmeda de cada sub muestra (P_h)



$$P_h = \frac{M_t - M_{md}}{V}$$

Ecuación 4

Donde:

P_h : Densidad húmeda de la sub-muestra compactada (punto de compactación), con 4 dígitos significativos, g/cm³ o kg/m³

M_t : Masa del suelo húmedo dentro del molde, aproximada a 1 g

M_{md} : Masa del suelo húmedo dentro del molde, aproximada a 1 g

V : Volumen del molde, cm³ o m³ (Ver Anexo A NORMA 141)

K : Constante de conversión que depende de las unidades de densidad y de volumen:

Usar 1, para g/cm³ y volumen en cm³

Usar 1000 para g/cm³ y volumen en m³

Usar 0.001 para kg/cm³ y volumen en m³

Usar 1000 para kg/m³ y volumen en cm³

- Densidad seca de cada sub-muestra (P_d)

$$P_d = \frac{P_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

Ecuación 5

- Peso unitario seco de cada sub-muestra (γ_d) (kN/m³)



$$\gamma_d = K_1 \times P_d \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Ecuación 6

$$\gamma_d = K_2 \times P_d \text{ (lbf/pie}^3\text{)}$$

Ecuación 7

Donde:

γ_d : Peso unitario seco, aproximado a 0.01 kN/m³ (0.1 lbf/pie³)

K_1 : Constante de conversión (9.8066 para densidad en g/cm³; 0.0098066 para densidad en kg/m³)

K_2 : Constante de conversión (62.428 para densidad en g/cm³; 0.062428 para densidad en kg/m³).

- Curva de compactación

1. Con los valores de humedad del moldeo y el peso unitario seco de cada sub-muestra, se dibuja la curva de compactación. El contenido de humedad que corresponda al punto mas alto de la curva, se llamara “humedad optima”, mientras que el peso unitario seco correspondiente al contenido optimo de humedad, se denomina “peso unitario seco máximo”.
2. Si se removió mas de 5% de la muestra del ensayo a causa de la existencia de sobre tamaños, los valores de la humedad y de peso unitario seco máximo se deberán corregir de acuerdo a la norma INV E-143
3. Al dibujar la curva de compactación, las escalas se deberán escoger de manera sensible permanezca constante, que el cambio de humedad de moldeo o en peso unitario seco por división se constante entre dibujos. Con una escala 1.1 como indica la Ilustración 1.

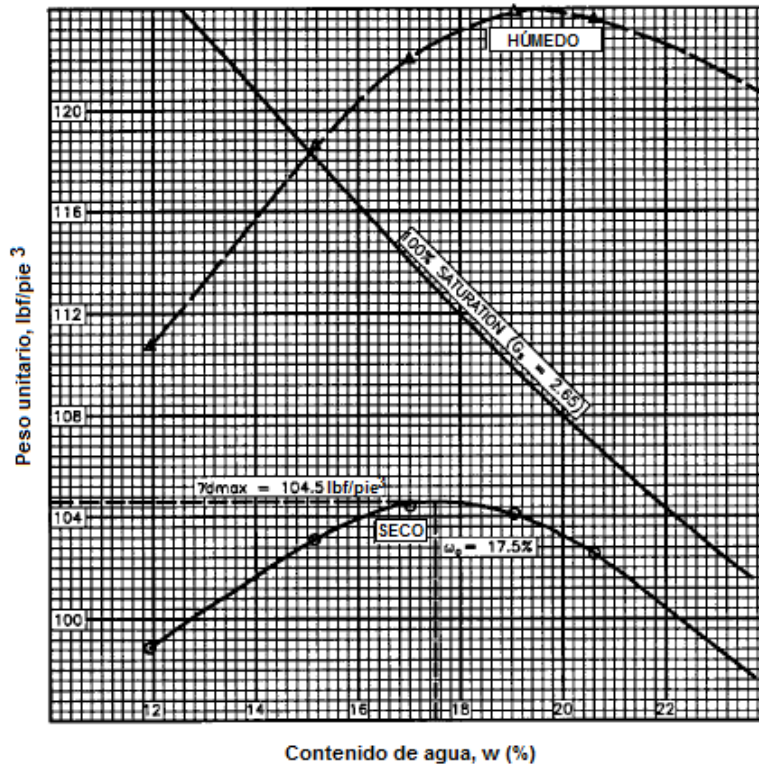


Ilustración 1 Grafica curva compactación

- Curva de saturación

Se dibuja la curva de saturación (0 % de vacíos con aire), a partir de la gravedad específica medida (ver norma INV E-128, INV E-222 o INV E-223); o todas ellas de ser necesario) o estimada. Los puntos para dibujar esta curva se obtienen eligiendo valores del peso unitario seco y calculando la respectiva humedad de saturación, con la expresión:

$$w_{sat} = \frac{(y_w \times G_s) - y_d}{y_d + G_s} \times 100$$

Ecuación 8

Donde:

y_w : Peso unitario del agua a 20° C (9.789 kN/m³ o 62.32 lbf/pie³)

y_d : Peso unitario seco del suelo con tres dígitos significativos, kN/m³ o lbf/pie³

G_s : Gravedad específica del suelo, aproximada a 0.01



REPORTE DE RESULTADOS

El informe obtenido de la realización de este ensayo debe articularse método (vía seca o vía húmeda), valor de la gravedad específica, dibujo de las curvas de compactación y saturación, humedad óptima, como porcentaje, peso unitario seco máximo, los porcentajes de fracción gruesa (P_{fg}) y fracción de ensayo (P_{fe}), el tipo de martillo utilizado,

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

[1] DETERMINACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS - INV E – 141



Equipos y Accesorios	unidad	Cantidad
Molde 4"	Und	1
Molde 5"	Und	1
Martillo metálico	Und	1
Extractor de muestras	Und	1
Balanzas	Und	1
Horno	Und	1
Regla metálica	Und	1
Tamices ¾", 8" y No. 4	Und	1
Espátulas	Und	1

MATERIALES A TRAER POR LOS ESTUDIANTES

Elementos	Unidad	Cantidad
Capsula en aluminio para colocar muestra de suelo	Und/grupo	2
Recipiente en aluminio para determinar la humedad	Und/grupo	2

MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD NECESARIAS

Es obligatorio para el ingreso y permanencia en las actividades de laboratorio el uso de bata manga larga anti fluidos, guantes de nitrilo, mascarilla de gases, gafas de seguridad, gorro desechable, pantalón sin desgastes o rotos, camisa manga larga y zapatos cerrados o botas de seguridad. Los siguientes son elementos de protección a emplear de acuerdo a el tipo de actividad que se va a desarrollar.

Elementos	señalar si el estudiante lo requiere
Guantes de carnaza	
Tapabocas desechable	
Protector auditivo	
Casco de seguridad	
Otros:	

OBJETIVOS

General: El estudiante por medio de este procedimiento, determinar la curva de compactación para determinar la energía de compactación, el contenido de humedad optimo



Específicos:

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se determinen las siguientes constantes de la muestra de suelo:

- Contenido de humedad
- Densidad seca
- Identificar las características de la muestra

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Humedad de moldeo – Contenido de agua con el cual se prepara una muestra para someterla a compactación.

Energía del ensayo normal de compactación – $600 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ($12\ 400 \text{ lbf}\cdot\text{pie}/\text{pie}^3$), aplicada con el equipo y procedimiento descritos en esta norma.

Peso unitario seco máximo del ensayo normal de compactación (γ_d , máx) – El máximo valor definido en la curva de compactación obtenida como resultado del ensayo realizado con la energía indicada en el numeral 2.2.

Humedad óptima del ensayo normal de compactación (w_{opt}) – La humedad de moldeo con la cual el suelo alcanza el peso unitario seco máximo usando la energía normalizada.

Sobretamaños (fracción gruesa) (P_{FG}) – Porción de la muestra total que no se utiliza en la prueba de compactación. Es la retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4) cuando se utiliza el Método A; la retenida en el tamiz de 9.5 mm (3/8") cuando se emplea el Método B, o la retenida en el tamiz de 19.0 mm (3/4") cuando se emplea el Método C.

Fracción de ensayo (fracción fina) (P_{FE}) – Es la porción de la muestra total que se emplea en el ensayo de compactación. Corresponde al material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) cuando se utiliza el Método A; al pasante por el tamiz de 9.5 mm (3/8") cuando se emplea el Método B, o al pasante por el tamiz de 19.0 mm (3/4") cuando se emplea el Método C.

METODOLOGÍA

MUESTRA

1. La muestra debe ser una cantidad mínima para el ensayo Métodos A o B es de unos 16 kg y para el Método C es de 29 kg. Por o tanto la muestra debería tener una masa húmeda de, de 23 kg y 45 kg.
2. Si no se dispone de los datos de la granulometría de la muestra, se estima las proporciones de la materia retenido en el tamiz No. 4 para el Método A; en el tamiz 3/8" se emplea para el Método B o el tamiz de 3/4" cuando se emplea el método C. Si se considera que el porcentaje retenido esta muy cerca



del límite admitido por el método de compactación que se va a utilizar, entonces se escoge alguna de las siguientes 3 opciones:

1. Se Elige un Método que permita un mayor porcentaje retenido (por ejemplo, el B o el C, Si inicialmente se pretende utilizar el A.
2. Usando el método de interés, se procesa la muestra como se indica en los numerales 7.2 o 7.3, con lo que se determina al porcentaje retenido para dicho método. Si resulta aceptable, se procede en caso contrario se va al método B o C.
3. Se determina los valores de los porcentajes retenidos usando una porción representativa de la muestra y empleando la norma de ensayo INV E – 213. Solamente se necesita determinar los porcentajes retenidos en el tamiz o los tamices deseados.

PROCEDIMIENTO

1. Cada grupo debe tener una cantidad de 5 kilogramos de muestra que haya pasado por el tamiz $\frac{3}{4}$
2. Al tener una muestra seleccionada y con la cantidad adecuada cada uno de los grupos la cantidad de agua determinada para el 12%, 14% y 16%, la cual fue agregada la muestra con el uso de la probeta
3. Ya con la muestra húmeda con la cantidad de agua deseada se dio inicio al proceso de mezclado de la muestra para diseminar la cantidad de agua agrega y tener el material homogéneo para compactación.
4. Para la compactación modificado se lleva a cabo mediante capas, es decir fue adicionada con moldes de una altura igual, a cada capa se le fue agregando una cantidad de 56 golpes mediante el uso de un martillo.
5. Al realizar la compactación de 4 capas se procede a quitar el collarín el molde, de esta manera se observará que ha quedado sobre este una capa de exceso sobre el borde y para quitar el exceso se lleva a cabo el enrasado de la muestra
6. Ya con la muestra enrasada se procede tomar su peso
7. Cada grupo se toma una parte de a muestra para ser puesta en el horno y de esta manera determinara la humedad, para ello es necesario el peso del platón y el peso del platón con el material, ya con esos datos tomados fue dejado en el horno por aproximadamente 24 horas para ser secado tomado su peso nuevamente.



CALCULOS

Porcentajes de las fracciones

- Masa seca de la fracción de ensayo (M_{Sfe})

$$M_{Sfe} = \frac{M_{hfe}}{1 + \frac{w_{fe}}{100}}$$

Ecuación 1

Donde:

M_{hfe} : Masa húmeda de la fracción de ensayo, aproximada a 1 (g)

w_{fe} : Humedad de la fracción de ensayo, aproximada a 0.1%

- Porcentaje de la fracción gruesa (P_{fg})

$$P_{fg} = \frac{M_{sfc}}{M_{sfc} + M_{Sfe}} \times 100$$

Ecuación 2

Donde:

M_{sfc} : Masa seca de la fracción gruesa, aproximada a 1 (g)

- Porcentaje de la fracción de ensayo (P_{fe})

$$P_{fe} = 100 - P_{fg}$$

Ecuación 3

Donde:

P_{fg} : porcentaje de la fracción gruesa

- Humedad de moldeo de cada probeta:
- Densidad húmeda de cada sub muestra (P_h)

$$P_h = \frac{M_t - M_{md}}{V}$$

Ecuación 4

Donde:

P_h : Densidad húmeda de la sub-muestra compactada (punto de compactación), con 4 dígitos significativos, g/cm^3 o kg/m^3

M_t : Masa del suelo húmedo dentro del molde, aproximada a 1 g



M_{md} : Masa del suelo húmedo dentro del molde, aproximada a 1 g

V : Volumen del molde, cm^3 o m^3 (Ver Anexo A NORMA 141)

K : Constante de conversión que depende de las unidades de densidad y de volumen:

- Usar 1, para g/cm^3 y volumen en cm^3
- Usar 1000 para g/cm^3 y volumen en m^3
- Usar 0.001 para kg/cm^3 y volumen en m^3
- Usar 1000 para kg/m^3 y volumen en cm^3

- Densidad seca de cada sub-muestra (P_d)

$$P_d = \frac{P_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

Ecuación 5

- Peso unitario seco de cada sub-muestra (y_d) (kN/m^3)

$$y_d = K_1 \times P_d \text{ (kN/m}^3\text{)} \text{ o } y_d = K_2 \times P_d \text{ (lbf/pie}^3\text{)}$$

Ecuación 6

Donde:

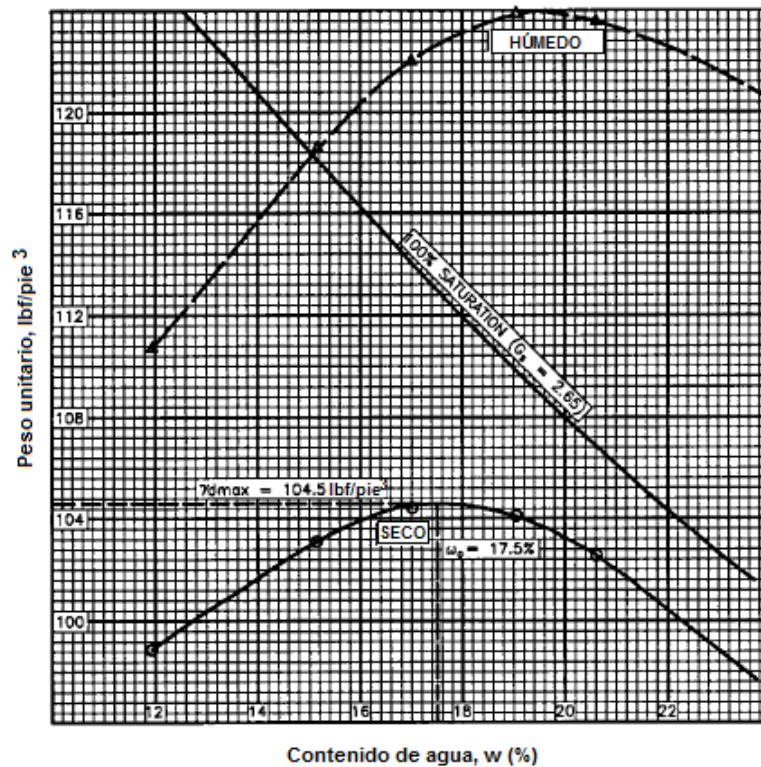
y_d : Peso unitario seco, aproximado a $0.01 \text{ kN}/\text{m}^3$ ($0.1 \text{ lbf}/\text{pie}^3$)

K_1 : Constante de conversión (9.8066 para densidad en g/cm^3 ; 0.0098066 para densidad en kg/m^3)

K_2 : Constante de conversión (62.428 para densidad en g/cm^3 ; 0.062428 para densidad en kg/m^3).

- Curva de compactación

1. Con los valores de humedad del moldeo y el peso unitario seco de cada sub-muestra, se dibuja la curva de compactación. El contenido de humedad que corresponda al punto mas alto de la curva, se llamara "humedad optima", mientras que el peso unitario seco correspondiente al contenido optimo de humedad, se denomina "peso unitario seco máximo".
2. Si se removió mas de 5% de la muestra del ensayo a causa de la existencia de sobre tamaños, los valores de la humedad y de peso unitario seco máximo se deberán corregir de acuerdo a la norma INV E-143
3. Al dibujar la curva de compactación, las escalas se deberán escoger de manera sensible permanezca constante, que el cambio de humedad de moldeo o en peso unitario seco por división se constante entre dibujos. Con una escala 1.1 como indica la figura.



- Curva de saturación

Se dibuja la curva de saturación (0 % de vacíos con aire), a partir de la gravedad específica medida (normas INV E-128, INV E-222 o INV E-223; o todas ellas de ser necesario) o estimada. Los puntos para dibujar esta curva se obtienen eligiendo valores del peso unitario seco y calculando la respectiva humedad de saturación, con la expresión:

$$w_{sat} = \frac{(y_w \times G_s) - y_d}{y_d + G_s} \times 100$$

Ecuación 7

Donde:

y_w : Peso unitario del agua a 20° C (9.789 kN/m³ o 62.32 lbf/ft³)

y_d : Peso unitario seco del suelo con tres dígitos significativos, kN/m³ o lbf/ft³

G_s : Gravedad específica del suelo, aproximada a 0.01

REPORTE DE RESULTADOS

El informe obtenido de la realización de este ensayo debe articularse método (vía seca o vía húmeda), valor de la gravedad específica, dibujo de las curvas de compactación y saturación, humedad óptima, como



porcentaje, peso unitario seco máximo, los porcentajes de fracción gruesa (P fg) y fracción de ensayo (P fe), el tipo de martillo utilizado,

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

[1] DETERMINACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS - INV E – 142



Equipos y Accesorios	unidad	Cantidad
Balanza de 600gr	Und	2
Espatula	Und	12
Vidrio Esmerilado	Und	6
Probetas	Und	6

MATERIALES A TRAER POR LOS ESTUDIANTES		
Elementos	Unidad	Cantidad
Capsula en aluminio para colocar muestra de suelo	Und/grupo	3

MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD NECESARIAS	
<p>Es obligatorio para el ingreso y permanencia en las actividades de laboratorio el uso de bata manga larga anti fluidos, guantes de nitrilo, mascarilla de gases, gafas de seguridad, gorro desechable, pantalón sin desgastes o rotos, camisa manga larga y zapatos cerrados o botas de seguridad. Los siguientes son elementos de protección a emplear de acuerdo a el tipo de actividad que se va a desarrollar.</p>	
Elementos	señalar si el estudiante lo requiere
Guantes de carnaza	Si
Tapabocas desechable	No
Protector auditivo	No
Casco de seguridad	No
Otros:	N/A

OBJETIVOS

General: El estudiante por medio de este procedimiento, lograra determinar cuantitativamente la densidad seca en campo de los suelos.



Específicos:

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se determinen las siguientes constantes de la muestra de suelo:

- Clasificación por cualquiera de los métodos del suelo

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Límites de Atterberg – Originalmente, Albert Atterberg definió seis “límites de consistencia” para los suelos finos: el límite superior del flujo viscoso, el límite líquido, el límite de pegajosidad, el límite de cohesión, el límite plástico y el límite de contracción. En el uso actual de la ingeniería el término se aplica solamente a los límites líquido y plástico y, en algunas referencias, también al límite de contracción. Los límites líquido y plástico de los suelos (junto con el límite de contracción) son mencionados a menudo en conjunto como límites de Atterberg. Estos límites dividen diferentes estados de consistencia de los suelos plásticos

Límite plástico (LI) – Contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje, que determina el límite donde el suelo deja de comportarse como semi sólido y pasa a un estado plástico.

Índice de Plasticidad (Ip) – es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.

METODOLOGÍA

MUESTRA

Se toma una porción de 20 g, o un poco más, del suelo preparado para el ensayo del límite líquido, ya sea luego del segundo mezclado antes del ensayo o del suelo que sobre al terminar la prueba del límite líquido. Se reduce el contenido de agua de esta porción de suelo hasta que alcance una consistencia que permita enrollarlo sin que se pegue a las manos, extendiéndolo o mezclándolo continuamente sobre la placa de vidrio o en el recipiente de mezcla y almacenamiento. El proceso de secado se puede acelerar, exponiendo el suelo a la corriente de aire de un ventilador eléctrico o aplicándole un papel secante que no añada fibras al suelo



PROCEDIMIENTO

- 1 Del espécimen de ensayo, se selecciona una porción de 15 a 20 g con la cual se forma una masa elipsoidal.
- 2 Se forman rollos con la masa de suelo, siguiendo los procedimientos.
- 3 Cuando el diámetro del rollo llegue a 3.2 mm, este se divide en varios trozos. Se juntan los trozos y se comprimen entre los pulgares y los demás dedos de ambas manos formando una masa uniforme de forma elipsoidal y se enrolla de nuevo. Se repite este procedimiento partiendo, juntando, amasando y enrollando, hasta que el rollo de 3.2 mm de diámetro se desmorone bajo la presión requerida para el enrollamiento y el suelo no pueda ser enrollado mas en cilindros de 3.2 mm de diámetro. No es importante si el rollo se parte en rollos de longitud muy corta. Cada uno de estos rollos cortos se deberá enrollar hasta alcanzar un diámetro de 3.2 mm. Lo único que se requiere para continuar el ensayo, es que al juntar estos rollos se pueda volver a formar una masa elipsoidal y luego crear nuevos rollos. En ningún momento el operador deberá intentar producir la rotura a un diámetro exacto de 3.2 mm formando un rollo de este tamaño y tratando de producir entonces la desintegración mediante una disminución de la velocidad de enrollamiento y/o de la presión manual, y continuando el enrollamiento sin mas deformación hasta que el rollo se desbarate. Esta permitido, sin embargo, reducir la cantidad total de deformación de un suelo débilmente plástico, haciendo que el diámetro inicial de la masa elipsoidal sea próximo al diámetro final requerido de 3.2 mm. Es posible que el desmoronamiento de un rollo ocurra cuando este tenga un diámetro mayor de 3.2 mm. Este podrá ser considerado un punto final satisfactorio, siempre y cuando el suelo haya podido ser enrollado precisamente en un cilindro de 3.2 mm de diámetro. El desmoronamiento se manifiesta de maneras diferentes en distintos tipos de suelos. Algunos suelos se desintegran en numerosas partículas pequeñas y otros pueden formar una capa exterior tubular que comienza a separarse desde ambos extremos.
- 4 Se recogen las porciones de suelo desmoronado y se colocan en un recipiente adecuando de masa conocida. Si el recipiente con el suelo no se pesa en ese momento, se deberá tapar inmediatamente.



- 5 Se seleccionan otras porciones de 15 a 20g del espécimen del límite plástico y se repiten las operaciones descritas anteriormente hasta que el recipiente tenga, cuando menos, 60g de suelo.
- 6 Las operaciones descritas en los numerales (a-e) se deberán repetir para obtener otro recipiente que contenga al menos 60g de suelo.
- 7 Se determinan los contenidos de agua de los suelos contenidos den los dos recipientes, de acuerdo con la norma de humedad y se anotan los resultados.

REPORTE DE RESULTADOS

El informe obtenido de la realización de este ensayo debe articularse al contenido de humedad, limite líquido, granulometría para poder elaborar una ficha de clasificación del tipo de suelo.

Se calcula el promedio de los contenidos de agua (tanteos del limite plástico) y el valor obtenido se redondea el entero mas cercano. Este valor es el límite plástico (LP). El ensayo se deberá repetir, si la diferencia entre los limites plásticos de los dos tanteos supera el rango de aceptabilidad para los resultados de los ensayos, efectuados por un solo operador; es decir 1,4 puntos porcentuales.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

[1] DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLASTICO Y DEL INDICE PLASTICO - INV E – 161 – 13



Equipos y Accesorios	unidad	Cantidad
Dispositivo de carga	Und	1
Consolidómetro con anillo de tolerancia de mínimo 0.1%	Und	1
Discos porosos Diámetro de 0.2 a 0.5 mm	Und	1
Pantalla filtrante	Und	1
Cizalla o cortador cilíndrico	Und	1
Deformímetro Resolución de 0.0025 mm	Und	1
Placa espaciadora	Und	1
Balanza	Und	1
Horno Termostáticamente controlado	Und	1
Recipientes para determinar la humedad		
Espátulas		
Navajas		
Sierras de alambre		

MATERIALES A TRAER POR LOS ESTUDIANTES

Elementos	Unidad	Cantidad

MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD NECESARIAS

Es obligatorio para el ingreso y permanencia en las actividades de laboratorio el uso de bata manga larga anti fluidos, guantes de nitrilo, mascarilla de gases, gafas de seguridad, gorro desechable, pantalón sin desgastes o rotos, camisa manga larga y zapatos cerrados o botas de seguridad. Los siguientes son elementos de protección a emplear de acuerdo a el tipo de actividad que se va a desarrollar.

Elementos	señalar si el estudiante lo requiere
Guantes de carnaza	Si
Tapabocas desechable	No
Protector auditivo	No
Casco de seguridad	No
Otros:	N/A

OBJETIVOS

General: El estudiante por medio de este procedimiento, lograra determinar la rata y la magnitud de la consolidación de muestras de suelos cuando se confinan lateralmente y se drenan axialmente mientras se someten a incrementos controlados de esfuerzo vertical.



Específicos:

- Determinar la rata y la magnitud de la consolidación de muestras de suelos que se confinan lateralmente y se drenan axialmente con un procedimiento de incremento de cargas durante 24 horas, denominado método A.
- Determinar la rata y la magnitud de la consolidación de muestras de suelos que se confinan lateralmente y se drenan axialmente, mediante el método B, luego de que se alcance el 100% de la consolidación primaria se aplican incrementos de carga constantes.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Consolidación inicial (CI) – Reducción casi instantánea de volumen de la masa de un suelo bajo una carga aplicada, que procede a la consolidación primaria, debida principalmente a la expulsión y compresión del aire contenido en los vacíos del suelo.

Consolidación primaria – Reducción del volumen de la masa de un suelo originada por la aplicación de una carga aplicada, acompañada por una transferencia de carga del agua de las partículas sólidas del suelo, debido a la disipación de los poros.

Consolidación secundaria – Reducción en el volumen de la masa del suelo, causada por la aplicación de una carga permanente y el acomodo de la estructura interna de su masa, luego de que la mayor parte de la carga ha sido transferida a las partículas sólidas del suelo.

METODOLOGÍA

MUESTRA

Se deberán obtener y emplear muestras relativamente inalteradas para el ensayo de consolidación a causa de que la utilidad de los resultados del mismo disminuye grandemente con la alteración de la muestra. La norma INV E – 105, cubren procedimientos y equipo que se deben usar para obtener muestras satisfactorias para los ensayos.

PROCEDIMIENTO

1. El objetivo de la preparación de las piedras y de los restantes elementos antes de que se pongan en contacto con la muestra es el de evitar cambios en el contenido de humedad de ésta. En esta forma,



suelos altamente expansivos, muy secos, saturados se podrán colocar sobre piedras que hayan sido simplemente humedecidas.

2. Si la muestra está saturada y si no se cree que tenga una elevada afinidad con el agua, se deberán herir las piedras porosas después de limpiarlas con un cepillo no abrasivo y mantenerse saturadas hasta cuando se pongan en contacto con la muestra, tal como lo recomienda la sección 5.3 de la norma INV E – 151.
3. Se arma el anillo, la muestra y las piedras porosas. Con el conjunto del consolidómetro ensamblado, se envuelve la muestra, el anillo, el papel de filtro (cuando se use) y las piedras porosas con un plástico suelto o con una membrana de acucho para evitar el cambio en el volumen de la muestra por evaporación. Se podrá omitir esta etapa cuando la muestra se inunde después de aplicado el primer incremento de carga como se prevé en la sección 10.8.
4. Se coloca el consolidómetro en el dispositivo de carga y se aplica una carga de asentamientos de 5 KPa (0.05 Kg/cm^2) o de 100 lb/pie². Dentro de los cinco minutos siguientes a la aplicación de ésta, se ajusta el deformímetro para la lectura inicial o para la lectura de cero. Para los suelos muy blandos es deseable por lo menos una presión de (0.025 Kg/cm^2 o 2 o 3 KPa, Alrededor de 50 lb/pie²).
5. Se colocan cargas sobre el consolidómetro para obtener presiones sobre el suelo de aproximadamente 12.5, 25, 50, 100, 200, 400 KPa, etc., o de 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 Kg/cm^2 etc.), 0 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, etc. lbf/pie², con cada carga mantenida constante. (se puede requerir incrementos más pequeños sobre muestras muy blandas o cuando se desee determinar con mayor precisión la carga de preconsolidación). Como recomendación la carga inicial podrá estar entre 10 a 50 KPa (0.1 a 0.5 Kg/cm^2) dependiendo de la consistencia inicial de la muestra del suelo y lo que se desee investigar. El proceso del cargue de la muestra se deberá continuar dentro de la zona de la compresión virgen de manera que se pueda apreciar la forma de la curva en la parte correspondiente a ésta. Típicamente, una carga final igual o cuatro veces mayor que la de preconsolidación de la muestra puede ser requerida con este fin. En particular, en el caso de arcillas preconsolidadas, puede ser deseable un ciclo de carga – descarga para evaluar mejor los parámetros de recompresión, aunque dicho procedimiento es opcional.



6. Se anota el espesor de la muestra o el cambio de ésta antes de aplicar cada incremento de carga y con intervalos de aproximadamente 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15 y 30 minutos, 1, 2, 4, 8, etc. Horas, contados a partir del momento cuando se aplicó la carga. Estas lecturas de tiempo-asentamiento sólo son requeridas para muestras saturadas. Las lecturas deben continuar por lo menos por 24 horas (Método A) o un múltiplo de este, o hasta que se haga patente la pendiente de la compresión lineal secundaria característica del asentamiento, contra el logaritmo del tiempo, a menos que se use otro método, en cuyo caso, la carga siguiente se pueda aplicar tan pronto como se complete el 100 % de la consolidación primaria (Método B). Para suelos con una baja consolidación primaria, las cargas se deberán mantener por lo menos durante 24 horas. En casos extremos o cuando se quieran evaluar las características de consolidación secundaria, se deberán aplicar durante un período más largo.
 - a. Se aplica luego el incremento siguiente de carga. Cuando no se requieran datos de tiempo contra asentamiento se deberá mantener la carga sobre la muestra esencialmente durante el mismo tiempo que cuando se hacen lecturas del tiempo contra cada deformación. Se deberá disponer de suficientes lecturas cerca del final del período del incremento de carga para permitir cualquier extrapolación de la curva de Tiempo vs. Asentamiento.
7. Cuando se vayan a dibujar las deformaciones contra la raíz cuadrada del tiempo, los intervalos se pueden ajustar a aquellos que correspondan a raíces cuadradas, como por ejemplo 0.09, 0.25, 0.49, 1 minuto, 4 minutos, 9 minutos, etc.
8. Rebote. Cuando se deseen conocer las características del rebote o de la descarga, se deberá descargar el suelo mediante reducciones de la carga en orden inverso. Sin embargo, si se desea, cada carga sucesiva puede ser tan sólo un cuarto de la carga que la precede. Se registran los intervalos de tiempo como se sugirió en la Sección 10.4. Nótese, sin embargo, que para muchos suelos el rebote se completará en menor tiempo del que había sido requerido para un incremento de carga durante la consolidación primaria, pero se deberán hacer suficientes lecturas para verificar que el rebote esté esencialmente completo.
9. Como alternativa, se podrá emplear un programa de carga, descarga y recarga, que reproduzca los cambios de esfuerzos que se presentarán durante la construcción, o que obtenga una mejor definición de alguna parte de la curva de carga -asentamiento, o que ayuden a la interpretación del comportamiento del suelo en el terreno. Esto se deberá indicar claramente en los resultados del ensayo.



10. Si el ensayo se efectúa sobre una muestra inalterada saturada bajo las condiciones del terreno o que haya sido obtenida por debajo del nivel freático, se deberá inundar antes de aplicar el primer incremento de carga. A medida que ocurra la inundación y el humedecimiento de la muestra, se deberá aumentar la carga cuando fuere necesario, para evitar que se expanda, a menos que ésta tienda a hincharse bajo la carga vertical estimada en el sitio. Si la muestra se comprime después de inundada, se anota simplemente la magnitud de la compresión. También se pueden inundar las muestras a presiones que simulen una situación futura bajo las condiciones del terreno. En tales casos, la presión de inundación y cualquier efecto resultante, como la expansión o el aumento de la compresión, se deberán anotar en los resultados del ensayo.

Se puede aplicar contrapresión para la saturación si así se desea y cuando el consolidómetro está capacitado para ello. La contrapresión se deberá estimar como sigue:

En unidades del sistema internacional (SI):

$$p \left(\frac{kg}{cm^2} \right) = \frac{\text{Profundidad de la muestra por debajo del nivel freático, mf} * 1000 \text{ Kg/m}^3}{1000 \text{ cm}^2/\text{m}^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

En unidades del sistema inglés:

$$p \left(\frac{lb}{pul^2} \right) = \frac{\text{Profundidad de la muestra por debajo del nivel freático, piesf} * 62.4 \text{ lb/pie}^3}{144 \text{ pul}^2/\text{pie}^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Se aplica la contrapresión mediante incremento cada 30 minutos de manera que la aplicación total se cumpla en 6 horas. La contrapresión se deberá mantener mientras tiene lugar la saturación de la muestra (aproximadamente 3 días).



- a. Para disminuir la expansión durante la descarga, se deberá rebotar la muestra hasta un esfuerzo muy pequeño y desmontar rápidamente después de quitada la carga final. Se remueve el anillo con la muestra del consolidómetro y se quita el agua libre del anillo y de la muestra, se saca la muestra del anillo, y se determina su masa, se seca al horno, y se vuelve a medir su masa para obtener la masa de los sólidos y el contenido final de agua. Cuando la muestra original sea muy heterogénea, los ensayos índices se podrán efectuar sobre una porción de la muestra de ensayo y el remanente se podrá usar para la determinación del contenido final de humedad.

REPORTE DE RESULTADOS

Para el reporte de resultados del laboratorio desarrollado se deben incluir lo siguiente:

- a. Identificación y descripción de la muestra, con indicación de si el suelo es inalterado, remodelado, compactado preparado de manera diferente.
- b. Humedades inicial y final.
- c. Masa unitaria seca y masa unitaria húmeda, inicial y final.
- d. Grado inicial de saturación.
- e. Densidad específica del suelo o límites de Atterberg y datos de granulometría si se obtuvieron.
- f. Dimensiones de la muestra.
- g. Condiciones del ensayo (humedad natural o con saturación, presión de saturación).
- h. Procedimiento usado para la preparación en relación con el corte: establecer si la muestra fue desbastada, obtenida directamente por extrusión dentro del anillo, o ensayada directamente en un anillo proveniente de un tubo muestreador.
- i. Gráficos del logaritmo y la raíz cuadrada del tiempo contra los asentamientos, como se indica en los gráficos para cada uno de los incrementos de carga en las cuales se hicieron lecturas de tiempo – asentamiento. Para suelos orgánicos o altamente micáceos, u otros suelos con apreciable consolidación secundaria, es recomendable que el gráfico de logaritmo del tiempo se extienda de manera que quede incluida la zona de la consolidación secundaria.



- j. Se dibuja la curva de la relación de vacíos contra el logaritmo de la carga y se indica en ésta la carga de preconsolidación obtenida mediante el procedimiento gráfico y también el índice de compresión C_c , o pendiente de la parte recta.
- k. Se puede dibujar opcionalmente un gráfico de deformación unitaria contra el \log_{10} de la carga. Este gráfico es idéntico en cuanto a forma a la curva e vs $\log_{10} p$, pero la pendiente de la parte recta de la misma se denomina relación de compresión C'_c .
- l. Cuando se desean conocer las características de expansión, se deberán dibujar las mismas curvas que para la consolidación.
- m. En caso de que las lecturas de la rata de consolidación hayan sido tomadas para varios incrementos de carga, se deberá dibujar un gráfico del coeficiente de consolidación contra el log de la carga. Se deberá anotar el método usado para el cálculo de C_v . Si inicialmente se obtienen lecturas para algunos incrementos de carga, se tabulan simplemente los valores de C_v contra la carga promedio para el incremento.
- n. Se deberán anotar todas las desviaciones a partir del procedimiento delineado, incluyendo secuencias especiales de cargas. Por ejemplo, puede ser deseable inundar y cargar la muestra de acuerdo con la trayectoria de humedecimiento y carga esperada en el terreno. Relaciones más pequeñas que los incrementos normales de carga pueden ser deseables también para los suelos altamente sensibles o cuyo comportamiento dependa en gran parte de la rata de deformación.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

[1] CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E – 151 – 13



Equipos y Accesorios	unidad	Cantidad
Aparato de corte	Und	1
Caja de corte	Und	1
Piedras porosas	Und	1
Mecanismo de carga	Und	1
Mecanismo para cizallar la muestra		
Marco superior de la caja de corte		
Instrumento de medición de la fuerza normal		
Instrumento de medición de la fuerza de corte		
Indicadores de deformación		
Cubeta de caja de corte		
Cuarto de humedad controlada		
Anillo para desbastar o cortar la muestra		
Balanza		
Equipo para determinar el contenido de agua		
Equipo para compactar la muestra		
Equipo misceláneo		

MATERIALES A TRAER POR LOS ESTUDIANTES

Elementos	Unidad	Cantidad
Capsula en aluminio para colocar muestra de suelo	Und/grupo	2

MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD NECESARIAS

Es obligatorio para el ingreso y permanencia en las actividades de laboratorio el uso de bata manga larga anti fluidos, guantes de nitrilo, mascarilla de gases, gafas de seguridad, gorro desechable, pantalón sin desgastes o rotos, camisa manga larga y zapatos cerrados o botas de seguridad. Los siguientes son elementos de protección a emplear de acuerdo a el tipo de actividad que se va a desarrollar.

Elementos	señalar si el estudiante lo requiere
Guantes de carnaza	
Tapabocas desechable	
Protector auditivo	
Casco de seguridad	
Otros:	



OBJETIVOS

General: El estudiante por medio de este procedimiento, determinar la resistencia de una determinada muestra de suelos, mediante la simulación de terreno cuando se somete a una carga de una muestra consolidada y drenada

Específicos:

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se determinen las siguientes constantes de la muestra de suelo:

- Determinar la grafica esfuerzo de corte vs deformación con el fin de calcular el esfuerzo máximo.
- Analizar los datos obtenidos en el laboratorio y de esta manera poder concluir acerca del ensayo realizado.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Falla – Es la condición de esfuerzo en el instante de la falla de un espécimen de ensayo. Normalmente, se acepta que la falla corresponde al máximo esfuerzo de corte alcanzado o, en ausencia de una condición pico, al esfuerzo de corte cuando ha tenido lugar el 10 % de desplazamiento lateral relativo. Dependiendo del comportamiento del suelo y de la aplicación en el campo, se pueden definir otros criterios adecuados por parte de quien solicita la ejecución del ensayo.

Esfuerzo normal nominal – En el ensayo de corte directo, es la fuerza normal (vertical) aplicada, dividida por el área de la caja de corte. El área de contacto del espécimen en el plano de corte impuesto, decrece durante el ensayo y, por lo tanto, el verdadero esfuerzo normal es desconocido.

Esfuerzo cortante nominal – En el ensayo de corte directo, es la fuerza de corte aplicada, dividida por el área de la caja de corte. El área de contacto del espécimen en el plano de corte impuesto, decrece durante el ensayo y, por lo tanto, el verdadero esfuerzo cortante es desconocido.

Desplazamiento lateral relativo – Es el desplazamiento de la mitad superior (marco superior) de la caja de corte con respecto a la mitad inferior (marco inferior).

Porcentaje de desplazamiento lateral relativo – Relación, en porcentaje, entre el desplazamiento horizontal y el diámetro o dimensión lateral del espécimen en la dirección del corte.

Precorte – Corresponde a la etapa del ensayo luego de que el espécimen se ha estabilizado bajo la condición de la carga de consolidación, justamente antes de comenzar la fase de corte.

Este ensayo consiste en colocar el espécimen del ensayo en un dispositivo de corte directo, aplicar luego un esfuerzo normal determinado, humedecer y/ o drenar el espécimen de ensayo, consolidar el espécimen bajo el esfuerzo normal, desbloquear las mitades (marcos) de la caja de corte que contiene la muestra, y desplazar horizontalmente una mitad respecto de la otra a una velocidad constante de deformación, mientras se miden la fuerza de corte y los desplazamientos normales y horizontales (Ilustración 1). La velocidad de corte debe ser suficientemente lenta para permitir la disipación prácticamente total del exceso de presión de poros.

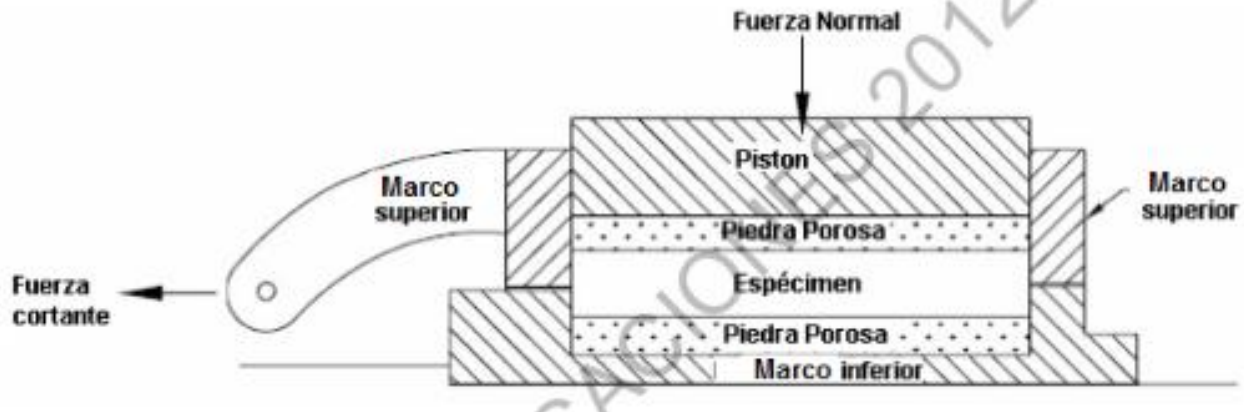


Ilustración 1 Caja para ensayo de corte directo

METODOLOGÍA

MUESTRA

1. La muestra a utilizar debe estar inalterada, debe ser suficientemente grande para hacer como mínimo 3 muestras idénticas, preparando la muestra no debe de perder la humedad y su alteración de la estructura natural del suelo, se calcula la muestra en el dispositivo de corte directo, se determina la masa inicial de la muestra para el contenido de humedad inicial y la densidad total del material.
2. Se asegura las dos mitades de la caja de corte y se ensambla ésta en su soporte, se coloca una piedra porosa húmeda en el fondo de la caja y se coloca dentro de la caja. Se distribuye el suelo de manera uniforme y se compacta hasta alcanzar la condición deseada. a continuación, colocado y compactado las capas, hasta que se logre la reconstitución completa del espécimen, se debe anotar la altura y la masa inicial, se colca otra piedra porosa húmeda sobre la superficie del espécimen.

PROCEDIMIENTO

1. Se ensambla la caja de corte y la cubeta en el marco de carga, se coloca las piedras porosas sobre la superficie expuesta del espécimen en la caja de corte y se coloca la muestra del mismo tamaño de las dimensiones de la caja y las piedras porosas en la cubeta y se alinea la cubeta en el marco de carga.
 - 1.1 La muestra a calcular se coloca y se alinea en el ensamble de la caja de corte
 - 1.2 Pesamos el anillo sin la muestra y con la muestra y con la ayuda de un micrómetro medir su diámetro y altura.



2. Se conecta y se ajusta la posición del sistema de la carga de corte, de modo que no transmita fuerza sobre el instrumento de medición. Se pone en cero el instrumento y se anota dicho valor
3. Se conecta y se ajusta el instrumento de medición de desplazamiento horizontal. Se hace una lectura inicial o se ajusta instrumento de medición, indicando el desplazamiento en cero.
4. Se coloca la placa de transferencia de carga y de interrupción del momento sobre la piedra porosa coloca en la parte superior.
5. Se pone el marco de carga de fuerza normal en posición, y se ajusta de modo que la barrera de carga quede alineada
6. Se aplica una pequeña carga normal, se verifica que todos los componentes del sistema de carga estén ajustados y alineados
7. Se fija y ajusta el instrumento de medición de desplazamiento se obtiene una lectura inicial, junto con una lectura de carga normal
8. *Consolidación:* la carga normal para la consolidación final se puede ampliar en uno o varios incrementos, los incrementos deben ser suficientes pequeños para prevenir la extrusión del material por los contornos de las piedras porosas.
 - 8.1 Se aplica el primer incremento de carga, se requiere, se llana la cubeta con agua y se mantiene llena durante todo el ensayo
 - 8.2 Para cada nivel intermedio de esfuerzo, la carga se debe aplicar tan rápido como sea posible
 - 8.3 Agregar masa al brazo de la palanca para aplicar la carga normal
 - 8.4 Dejar que la consolidación se efectúe
 - 8.5 Se retira los tornillos de alimentación para permitir el corte de la muestra
 - 8.6 Inicial el corte de la muestra con la velocidad constante
 - 8.7 Se registra las deformaciones
 - 8.8 Una vez cortada la muestra, la carga descenderá y se procede a desarmar el equipo
 - 8.9 Una vez cortada la muestra volvemos a pesar y extremos una muestra para realizar los cálculos.



CALCULOS

- Tiempo total estimado

$$t_f = 50 \times t_{50}$$

Ecuación 1

Donde:

t_f : Tiempo total estimado para alcanzar la falla, (min)

t_{50} : Tiempo requerido para que el espécimen alcance el 50 % de consolidación bajo el máximo incremento de esfuerzo normal, (min)

$$t_f = 11.6 \times t_{90}$$

Ecuación 2

Donde:

t_{90} : Tiempo requerido para que el espécimen alcance el 90 % de consolidación bajo el máximo incremento de esfuerzo normal, min

$$R_d = \frac{d_f}{t_f}$$

Ecuación 3

Donde:

R_d : Velocidad de desplazamiento, mm/min (pg./min)

d_f : Desplazamiento lateral relativo estimado en la falla, mm (pg.)

- Esfuerzo cortante

$$\tau = \frac{F_s}{A}$$

Ecuación 4

Donde:

τ : Esfuerzo cortante nominal, kPa (lbf/pg²) (3 dígitos significativos)

F_s : Fuerza de corte, kN (lbf) (3 dígitos significativos)

A : Área de la caja de corte, m² (pg²) (3 dígitos significativos)



- Esfuerzo nominal

$$\sigma_n = \frac{F_n}{A}$$

Ecuación 5

Donde:

σ_n :Esfuerzo normal nominal, kPa (lbf/pg²) (3 dígitos significativos)

F_n :Fuerza normal actuante sobre el espécimen, kN (lbf) (3 dígitos significativos).

- Velocidad de desplazamiento

$$R_d = \frac{d_h}{t_e}$$

Ecuación 6

Donde:

R_d :Velocidad de desplazamiento, mm/min (pg./min) (3 dígitos significativos)

d_h :Desplazamiento lateral relativo, mm (pg.) (3 dígitos significativos)

t_e :Tiempo transcurrido durante el ensayo, min (3 dígitos significativos).

- Porcentaje de desplazamiento lateral relativo

$$R_d = \frac{d_h}{D} \times 100$$

Ecuación 7

Donde:

R_d :Porcentaje de desplazamiento lateral relativo, % (3 dígitos significativos)

D: Diámetro o lado del espécimen en la dirección de corte, mm (pg.) (3 dígitos significativos)

REPORTE DE RESULTADOS

El informe obtenido de la realización de este ensayo debe articularse espesor y diámetros iniciales, masa seca inicial y final, humedad inicial y final, humedad inicial y precorte, densidad húmeda inicial y de precorte, grado de saturación inicial y precorte, tabla de esfuerzos normal, cortante, desplazamiento lateral,



desplazamiento norma y velocidad de deformación, grafico de logaritmo de tiempo o de la raíz cuadrada del tiempo vs la deformación para incrementos de carga, un grafico de esfuerzo cortante vs desplazamientos.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

[1] DETERMINACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS - INV E – 154



Equipos y Accesorios	unidad	Cantidad
Aparato de compresión	Und	1
Extractor de muestra	Und	1
Indicador de deformaciones	Und	1
Micrómetro con dial comparador	Und	N
Cronometro	Und	1
Balanzas	Und	1
Determinación del contenido de humedad	Und	N
Misceláneo	Und	1
Moldes	Und	1

MATERIALES A TRAER POR LOS ESTUDIANTES		
Elementos	Unidad	Cantidad
Moldes para la muestra	Und	1

MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD NECESARIAS	
<p>Es obligatorio para el ingreso y permanencia en las actividades de laboratorio el uso de bata manga larga anti fluidos, guantes de nitrilo, mascarilla de gases, gafas de seguridad, gorro desechable, pantalón sin desgastes o rotos, camisa manga larga y zapatos cerrados o botas de seguridad. Los siguientes son elementos de protección a emplear de acuerdo a el tipo de actividad que se va a desarrollar.</p>	
Elementos	señalar si el estudiante lo requiere
Guantes de carnaza	
Tapabocas desechable	
Protector auditivo	
Casco de seguridad	
Otros:	

OBJETIVOS

General:

- Los estudiantes a través de este ensayo determinarán la resistencia a la compresión no confinada de suelos no cohesivos.



Específicos:

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos de los cuales se determinarán las siguientes constantes de la muestra de suelo:

- Valor de la resistencia a la compresión en los suelos, que tiene cohesión para los ensayos en condición inconfiada.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Resistencia a la compresión inconfiada (q_u) – Mínimo esfuerzo compresivo al cual falla una muestra no confinada de suelo, de forma cilíndrica, en condiciones normalizadas. En este método, la resistencia a la compresión inconfiada se toma como la máxima carga por unidad de área alcanzada durante el ensayo, o la carga por unidad de área cuando se alcanza el 15 % de deformación axial, lo que ocurra primero, durante la ejecución del ensayo.

Resistencia al corte (S_u) – Para los especímenes sometidos al ensayo de resistencia a la compresión inconfiada, la resistencia al corte se define como:

$$S_u = 0.5 * q_u$$

Límites de Atterberg – Originalmente, Albert Atterberg definió seis “límites de consistencia” para los suelos finos: el límite superior del flujo viscoso, el límite líquido, el límite de pegajosidad, el límite de cohesión, el límite plástico y el límite de contracción. En el uso actual de la ingeniería el término se aplica solamente a los límites líquido y plástico y, en algunas referencias, también al límite de contracción. Los límites líquido y plástico de los suelos (junto con el límite de contracción) son mencionados a menudo en conjunto como límites de Atterberg. Estos límites dividen diferentes estados de consistencia de los suelos plásticos

Límite plástico (L_I) – Contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje, que determina el límite donde el suelo deja de comportarse como semi sólido y pasa a un estado plástico.

Índice de Plasticidad (I_p) – es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.



METODOLOGÍA

MUESTRA

1. Tamaño de las muestras - Los especímenes deben tener un diámetro mínimo de 30 mm (1.3") y la mayor partícula contenida en ellos debe ser menor que 1/10 del diámetro del espécimen. Para muestras que tengan un diámetro de 72 mm (2.8") o mayores, el tamaño máximo de partícula debe ser menor que 1/6 del diámetro del espécimen. Si después de terminar un ensayo sobre una muestra inalterada se encuentra, con base en la observación directa, que había partículas mayores que las permitidas, esta información se debe anotar en la sección de observaciones del informe. La relación de altura/diámetro se debe encontrar entre 2 y 2.5. Se determinan la altura y el diámetro promedios de la muestra para el ensayo, utilizando el micrómetro con dial comparador. Se debe tomar un mínimo de 3 mediciones de la altura (separadas 120°) y, por lo menos, tres del diámetro, igualmente espaciadas a lo largo de la generatriz del cilindro.
2. Si se encuentran partículas de suelo grandes en la muestra después del ensayo, se debe hacer un análisis granulométrico, para confirmar la observación visual; los resultados de este ensayo se deben incluir en el informe del ensayo.
3. Muestras inalteradas – Se preparan los especímenes inalterados a partir de muestras obtenidas de acuerdo con las normas INV E-104 o INV E-105, en donde establecen la forma de obtener muestras de suelos cohesivos que conserven su estructura y su humedad, cuando se pueden tomar en superficie o a una profundidad a la cual se pueda llegar. Las muestras de tubo se pueden ensayar sin labrar, excepto sus extremos, si las condiciones de la muestra justifican este procedimiento. Las muestras se deben manejar cuidadosamente para prevenir cualquier alteración, cambios en la sección transversal o pérdidas en el contenido de agua. Si el aparato de extracción puede causar compresión o cualquier otro tipo de alteración notoria de la muestra, el tubo de muestreo se debe dividir a lo largo o cortar en secciones pequeñas para facilitar la remoción del espécimen con una alteración mínima. Siempre que sea posible, se deben preparar los especímenes labrados a partir de muestras intactas de mayor tamaño, en un cuarto con humedad controlada. Se debe hacer todo lo posible para prevenir cualquier cambio en el contenido de agua del suelo. Los especímenes deben tener una sección transversal circular uniforme, con sus extremos perpendiculares al eje longitudinal de la muestra. Cuando se recorte o labre una muestra, se debe remover cualquier guijarro pequeño o conchilla que se encuentre. Se llenan cuidadosamente los vacíos en la superficie del espécimen empleando suelo remoldeado, obtenido de los recortes. Si la presencia de guijarros o el desmoronamiento dan lugar a una irregularidad excesiva en los extremos de la muestra, éstos se deberán emparejar con un espesor mínimo de yeso de París, cemento, o un material similar. Si la condición de la muestra lo permite, se



puede utilizar un torno vertical que acomode la muestra completa, como una ayuda para el labrado de la muestra, hasta alcanzar el diámetro requerido. Cuando se considere importante la prevención del desarrollo de fuerzas de capilaridad, el espécimen se deberá sellar con una membrana de caucho con un recubrimiento de plástico delgado o con un recubrimiento de grasa o de plástico pulverizado, inmediatamente después de la preparación y durante todo el ensayo. Se determinan las dimensiones y la masa de la muestra para el ensayo. Si el espécimen debe ser emparejado en sus extremos con yeso o cemento, su masa y sus dimensiones se deben determinar antes del emparejamiento. Si la muestra completa no se va a utilizar en la determinación del contenido de agua, se toma una muestra representativa de los cortes para este objeto, y se coloca inmediatamente en una cápsula cubierta. El contenido de agua se debe determinar de acuerdo con la norma INV E-122.

4. Muestras remoldeadas – Las muestras remoldeadas se pueden preparar a partir de una muestra inalterada o a partir de una muestra alterada, siempre y cuando sea representativa de la muestra inalterada fallada. En el caso de las muestras inalteradas falladas, se envuelve el material en una membrana de caucho delgado y se amasa completamente el material con los dedos para asegurar un remoldeo completo.
5. Se debe evitar que quede aire atrapado en la muestra. Se debe tener cuidado, con el fin de obtener una muestra de densidad uniforme, con la misma relación de vacíos de la muestra inalterada y con el mismo contenido natural de agua. Se moldea el material alterado en un molde de sección transversal circular. Después de retirarlo del molde, se determinan la masa y las dimensiones del espécimen para el ensayo.
6. Muestras compactadas – Las muestras se deben preparar con un contenido de agua predeterminado y con la densidad prescrita por quien solicita el ensayo (es difícil compactar, manejar y obtener resultados válidos con especímenes cuyo grado de saturación sea mayor de 90 %.). Después de preparada la muestra, se recortan los extremos perpendicularmente al eje longitudinal, se retira del molde donde se compactó y se determinan su masa y sus dimensiones.



PROCEDIMIENTO

- a. El espécimen, previamente medido y pesado, se coloca en el aparato de carga de tal manera que quede centrado sobre la platina inferior. A continuación, se ajusta el instrumento de carga cuidadosamente, de modo que la platina superior apenas haga contacto con el espécimen y se lleva a cero el indicador de deformación.
- b. Se aplica la carga para que se produzca una deformación axial a una velocidad de $\frac{1}{2}$ a 2.5 % por minuto. Se registran los valores de carga, deformación y tiempo a intervalos suficientes para definir la curva esfuerzo-deformación (normalmente son suficientes 10 a 15 puntos). La velocidad de deformación se debe escoger de manera que el tiempo necesario para la falla no exceda de 15 minutos
Nota: Los materiales blandos que presentan grandes deformaciones en la falla, se deben ensayar con una mayor velocidad de deformación. Por el contrario, los materiales rígidos o frágiles que presentan deformaciones pequeñas en el momento de la falla se deben ensayar con una velocidad de deformación menor.
- c. Se continúa aplicando carga hasta que los valores de carga decrezcan al aumentar la deformación, o hasta que se alcance una deformación igual a 15 %.
- d. Terminado el ensayo, se determina el contenido de agua de la muestra de ensayo utilizando todo el espécimen, a menos que se hayan obtenido recortes representativos para este fin, como en el caso de las muestras inalteradas.
- e. Se hace un esquema o se toma una fotografía de la muestra en las condiciones de falla, mostrando el ángulo de inclinación de la superficie de rotura, si dicho ángulo es medible.
- f. Se calcula la deformación axial, ϵ_1 , al 0.1 % más cercano:
- g. Se calcula el área de la sección transversal media, A , para una carga aplicada dada.
- h. Para cada carga de interés se calcula el esfuerzo compresivo, σ_C , con tres cifras significativas o con una precisión de 1 kPa (0.01 kgf/cm²).
- i. Gráfico – Si se desea, se puede dibujar un gráfico que muestre la relación entre los esfuerzos de compresión y la deformación axial.
- j. Se determinan las resistencias a la compresión sobre el suelo inalterado y remoldeado, se calcula la sensibilidad, ST



CALCULOS

- *Deformación Axial:*

$$E_1 = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

Ecuación 1

Donde:

ΔL : Cambio de longitud del espécimen, obtenido a partir de las lecturas de deformaciones o cálculos.
mm (pg)

L_0 : Longitud inicial del espécimen de ensayo, mm (pg)

- *Área trasversal*

$$A = \frac{A_0}{\left(1 - \frac{E_1}{100}\right)}$$

Ecuación 2

Donde:

A_0 : Área media inicial de la sección trasversal

E_1 : Deformación Axial para una carga dada %

- *Esfuerzo compresivo*

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

Ecuación 3

Donde:

P : Carga aplicada

A : Área media corresponde a la sección trasversal

- *Resistencia de compresión*

$$S_T = \frac{q_u (\text{muestra inalterada})}{q_u (\text{muestra remoldeada})}$$

Ecuación 4



REPORTE DE RESULTADOS

El informe debe incluir lo siguiente:

- a. Identificación y descripción visual del espécimen, incluyendo la clasificación del suelo, el símbolo y si el espécimen es inalterado, remodelado, compactado, etc. También, se debe incluir la información que permita identificar el espécimen, (proyecto, localización, número de sondeo, número de la muestra, profundidad, etc.). Las descripciones visuales deben ser hechas de acuerdo con la norma INV E-102.
- b. Densidad seca inicial y contenido de agua (especificar si la muestra para el contenido de agua fue obtenida antes o después del ensayo, y si fue obtenida a partir de recortes o de la muestra completa).
- c. Grado de saturación, si fue calculado.
- d. Resistencia a la compresión confinada y resistencia al corte, (kPa).
- e. Altura y diámetro promedios de la muestra.
- f. Relación altura/diámetro.
- g. Velocidad promedio de deformación hasta la falla, (%).
- h. Deformación en el instante de la falla, (%).
- i. Límite líquido y límite plástico, si fueron determinados.
- j. Esquema o fotografía de las condiciones de falla.
- k. Gráfico esfuerzo-deformación.
- l. Sensibilidad, si fue determinada.
- m. Análisis granulométrico, si fue ejecutado, de acuerdo con la norma INVE-123.

Observaciones – Se debe anotar cualquier condición inusual u otros datos que pudieran ser considerados necesarios para interpretar adecuadamente los resultados obtenidos; por ejemplo, planos de deslizamiento, estratificación, presencia de conchas, guijarros, raíces, o fragilidad, el tipo de rotura (es decir, forma de barril, cizalla diagonal, etc.).

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

[1] DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - INV E – 152



Equipos y Accesorios	unidad	Cantidad
Prensa – Debe estar equipada con una cabeza o base móvil que se mueve a una velocidad uniforme de 1.27 mm/min , con una tolerancia de $\pm 20\%$.	Und	1
Moldes – Debe ser un cilindro de un metal rígido, de 152,4 mm \pm 0.66 de diámetro interior y de 177,8 \pm 0,46 mm de altura, con un collar suplementario de no menos de 50.8 mm de altura y una placa base de 9.53 mm de espesor	Und	1
Disco espaciador de 150.8 mm de diámetro y 61.4 mm de espesor	Und	1
Martillo de compactación	Und	1
Medidor de expansión	Und	1
Placa de metal perforado	Und	1
Tripode	Und	1
Pistón de penetración cilíndrico de 49.63 mm de diámetro	Und	1
Tanque	Und	1
Horno Termostáticamente controlado	Und	1
Balanza de 20 Kg de capacidad	Und	1
Balanza de 1000g de capacidad	Und	1
Tamiz de 4.75 mm (No 4)	Und	1
Tamiz de 19 mm (3/4")	Und	1

MATERIALES A TRAER POR LOS ESTUDIANTES

Elementos	Unidad	Cantidad
Capsula en aluminio para colocar muestra de suelo	Und/grupo	3

MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD NECESARIAS

Es obligatorio para el ingreso y permanencia en las actividades de laboratorio el uso de bata manga larga anti fluidos, guantes de nitrilo, mascarilla de gases, gafas de seguridad, gorro desechable, pantalón sin desgastes o rotos, camisa manga larga y zapatos cerrados o botas de seguridad. Los siguientes son elementos de protección a emplear de acuerdo a el tipo de actividad que se va a desarrollar.

Elementos	señalar si el estudiante lo requiere
Guantes de carnaza	Si
Tapabocas desechable	No
Protector auditivo	No
Casco de seguridad	No
Otros:	N/A



OBJETIVOS

General: El estudiante por medio de este procedimiento, lograra determinar un índice de resistencia de los suelos de subrasante, subbase y base, denominado CBR (California Bearing Ratio).

Específicos:

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se determinen las siguientes constantes de la muestra de suelo:

- Sobrecarga de saturación y penetración
- Expansión del espécimen
- Curvas presión – penetración
- Valor de relación de soporte

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Límites de Atterberg – Originalmente, Albert Atterberg definió seis “límites de consistencia” para los suelos finos: el límite superior del flujo viscoso, el límite líquido, el límite de pegajosidad, el límite de cohesión, el límite plástico y el límite de contracción. En el uso actual de la ingeniería el término se aplica solamente a los límites líquido y plástico y, en algunas referencias, también al límite de contracción. Los límites líquido y plástico de los suelos (junto con el límite de contracción) son mencionados a menudo en conjunto como límites de Atterberg. Estos límites dividen diferentes estados de consistencia de los suelos plásticos.

Límite plástico (LI) – Contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje, que determina el límite donde el suelo deja de comportarse como semi sólido y pasa a un estado plástico.

Índice de Plasticidad (Ip) – es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.

Contenido de agua (humedad) de la muestra (espécimen) compactado (0): contenido de agua, expresado en porcentaje, del material usado para compactar la muestra de ensayo.

Contenido de agua en los 25.4 mm (1”) superiores luego de la inmersión (w_s): Contenido de agua, expresado en porcentaje, del material de los 25.4 mm (1”) superiores de la muestra compactada, luego de su inmersión y penetración.

Contenido de agua luego del ensayo (w_f): contenido de agua, expresado en porcentaje, del material de la muestra compactada, lueo de su inmersión y penetración.



Densidad seca antes de la inmersión (p_d): Densidad seca del espécimen tal como fue compactado, calculada a partir de su masa húmeda y de su contenido de agua.

METODOLOGÍA

MUESTRA

Las muestras para compactación se deben preparar de acuerdo con el método C: fracción de ensayo (fracción final) (P_{FE}) – es la porción de la muestra total que se emplea en el ensayo de compactación. Corresponde al material pasante por el tamiz de 19.0 mm (3/4”), con la siguiente excepción: **si todo el material pasa por el tamiz de 19 mm (3/4”), se deberá usar la gradación entera, sin modificación, para preparar las muestras para fabricar los especímenes para ensayo. Si hay partículas retenidas en dicho tamiz, ellas se deberán remover y reemplazar por una cantidad igual, en masa, de material que pase el tamiz de 19 mm (3/4”) y que quede retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).**

Tabla 0. Método para realizar el ensayo normal de compactación

METODO	C
DIAMETRO DEL MOLDE	152.4 mm (6”)
MATERIAL	Pasa tamiz de 19.0 mm (3/4”)
CAPAS	3
GOLPES/CAPA	56
USO	Si 30% o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 19.0 mm (3/4”)
OTRO USO	

Fuente: norma INVE – 141 – 13



PROCEDIMIENTO

1. Una vez preparado el material como se indica en la **MUESTRA**, se adelanta una prueba de control de compactación, con el número suficiente de especímenes para determinar la humedad óptima del suelo, empleando las normas INV E – 141 o INV E – 142, según lo especifique el docente.

Nota 1: cuando se desee obtener el CBR al 100% de compactación y a la humedad óptima, se compacta un espécimen usando el procedimiento de compactación especificado (INV E – 141 o INV E – 142), con una porción de suelo que contenga el contenido óptimo de agua \pm 0.5% determinado de acuerdo con la norma INV E – 122.

Nota 2: Si se desea obtener el CBR con el contenido óptimo de humedad y a un determinado porcentaje del peso unitario seco máximo, se preparan tres especímenes con el contenido óptimo de agua \pm 0.5 % y empleando el método de compactación especificado, pero aplicando un número diferente de golpes por capa a cada espécimen. Dicho número de golpes por capa deberá variar lo necesario para que los pesos unitarios secos resultantes presenten valores por encima y por debajo del valor deseado. Típicamente, si se desea obtener el CBR de un suelo al 95 % de compactación, resulta satisfactorio compactar especímenes con 56, 25 y 10 golpes por capa. La penetración se deberá realizar sobre todos ellos

2. Se preparan especímenes de manera similar a la descrita en el ítem (a), salvo que todos los especímenes usados para desarrollar la curva de compactación deberán ser penetrados. Además, se deberán desarrollar relaciones completas entre el contenido de agua y el peso unitario seco para 25 golpes y 10 golpes por capa y cada espécimen de prueba compactado deberá ser penetrado. Todas las compactaciones se deben realizar en moldes de CBR. En casos en los cuales el peso unitario especificado está en o cerca del 100 % del peso unitario seco máximo, puede ser necesario incluir un esfuerzo de compactación mayor de 56 golpes por capa
3. Si el espécimen va a ser sometido a inmersión, se toma una muestra representativa del material para la determinación de humedad, de acuerdo con la norma INV E–122



4. Se ajusta el molde a la placa de base y se une el collar de extensión. A continuación, se inserta el disco espaciador dentro del molde y se coloca un papel filtro grueso sobre el disco. Se elaboran mezclas de suelo con agua y se compactan en moldes de CBR, de acuerdo con lo indicado en el ítem **(a, Nota 1 y Nota 2)**.
5. Terminada la compactación, se quita el collar de extensión y se enrasa el espécimen con la regla metálica dispuesta para ello. Cualquier hueco superficial producido al eliminar partículas gruesas durante el enrase, se rellenará con material sobrante sin gruesos, comprimiéndolo con la espátula. Se desmonta el molde de la placa de base y se determina la masa del molde con el espécimen compactado. Se vuelve a montar el molde sobre la placa de base, pero ahora en posición invertida, sin incluir el disco espaciador y colocando previamente un papel de filtro sobre la placa de base.
6. Sobre la superficie de la muestra invertida se coloca la placa perforada con vástago ajustable y, sobre ésta, las pesas de sobrecarga necesarias para producir una presión equivalente a la originada por todas las capas de pavimento que se hayan de construir sobre el suelo que se ensaya, con una aproximación de 2.27 kg, correspondientes a una pesa. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4.54 kg. Cada 15 cm (6") de espesor de estructura del pavimento corresponde, aproximadamente, a 4.54 kg de sobrecarga.
7. Se sumerge el molde en el tanque con las pesas de sobrecarga colocadas, dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra. Se toma la primera lectura para medir la expansión, colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del deformímetro con el de la placa perforada.
8. Se anota su lectura [con aproximación a 0.0025 mm (0.0001")], así como el día y la hora de la lectura. Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días) con el nivel de agua constante, aproximadamente 25 mm (1") por encima de la superficie del espécimen

Recomendación: Se admite un periodo de inmersión más corto, nunca menor de 24 horas, si se trata de suelos granulares que se saturan de agua rápidamente y si los ensayos muestran que esto no afecta los resultados. Para algunos suelos arcillosos puede ser necesario un período de inmersión superior a 4 días



9. Al final del período de inmersión, se vuelve a colocar el trípode exactamente en la misma posición que cuando se tomó la primera lectura y se lee el deformímetro para medir el hinchamiento y calcular posteriormente la expansión, como un porcentaje de la altura inicial del espécimen
10. Después del período de inmersión, se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y las pesas de sobrecarga en su posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos. Se debe tener cuidado para no alterar la superficie de la muestra durante el lapso de remoción de agua

PENETRACION DE LAS PROBETAS COMPACTADAS

- a. Se colocan sobre el espécimen las mismas pesas de sobrecarga que tuvo durante el período de inmersión. Para evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga, es conveniente colocar inicialmente una pesa anular sobre la muestra. Para ello, se lleva el molde a la prensa y se coloca la pesa anular y luego el pistón de penetración a través del orificio de la pesa. En seguida, se coloca el resto de las pesas alrededor del pistón
- b. Se aplica una carga de 44 N para que el pistón asiente. Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y, seguidamente, se sitúan en cero los diales medidores: el del anillo dinamométrico (u otro dispositivo para medir la carga) y el de control de la penetración

Nota 3: Cuando las cargas son elevadas, los soportes de la prensa pueden sufrir un movimiento de rotación, afectando la lectura del dial de penetración. Verificar la profundidad de penetración del pistón es un medio de controlar indicaciones erróneas de la deformación

- c. Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, de manera de producir una velocidad de penetración uniforme, de 1.27 mm (0.05") por minuto. Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones del pistón dentro del suelo: 0.64 mm (0.025"), 1.27 mm (0.050"), 1.91 mm (0.075"), 2.54 mm (0.100"), 3.18 mm (0.125"), 3.81 mm (0.150"), 4.45 mm (0.175"), 5.08 mm (0.200"), 7.62 mm (0.300"), 10.16 mm (0.400") y 12.70 mm (0.500"). Si la carga máxima ocurre a una penetración menor de 12.70 mm (0.500"), se hará la anotación correspondiente



- d. Se desmonta el molde de la prensa y si el espécimen fue sometido previamente a inmersión, se toma una muestra para determinar su humedad, de los 25 mm (1") superiores, en la zona próxima a donde se hizo la penetración. Su masa deberá ser al menos de 100 g si el suelo ensayado es de grano fino y de 500 g si es granular
- e. Se calcula la presión aplicada por el pistón para cada penetración indicada en el ítem **m** (dividiendo la carga aplicada por el área del pistón y se dibuja una curva para obtener los esfuerzos de penetración a partir de los datos de prueba
- f. La corrección consiste en trazar una tangente a la curva en el punto de inflexión, cuya prolongación hasta el eje de abscisas definirá el nuevo origen de esa curva (penetración cero) para la determinación de las presiones correspondientes a 2.54 y 5.08 mm, como se indica más adelante. Se debe dibujar una curva por cada espécimen penetrado

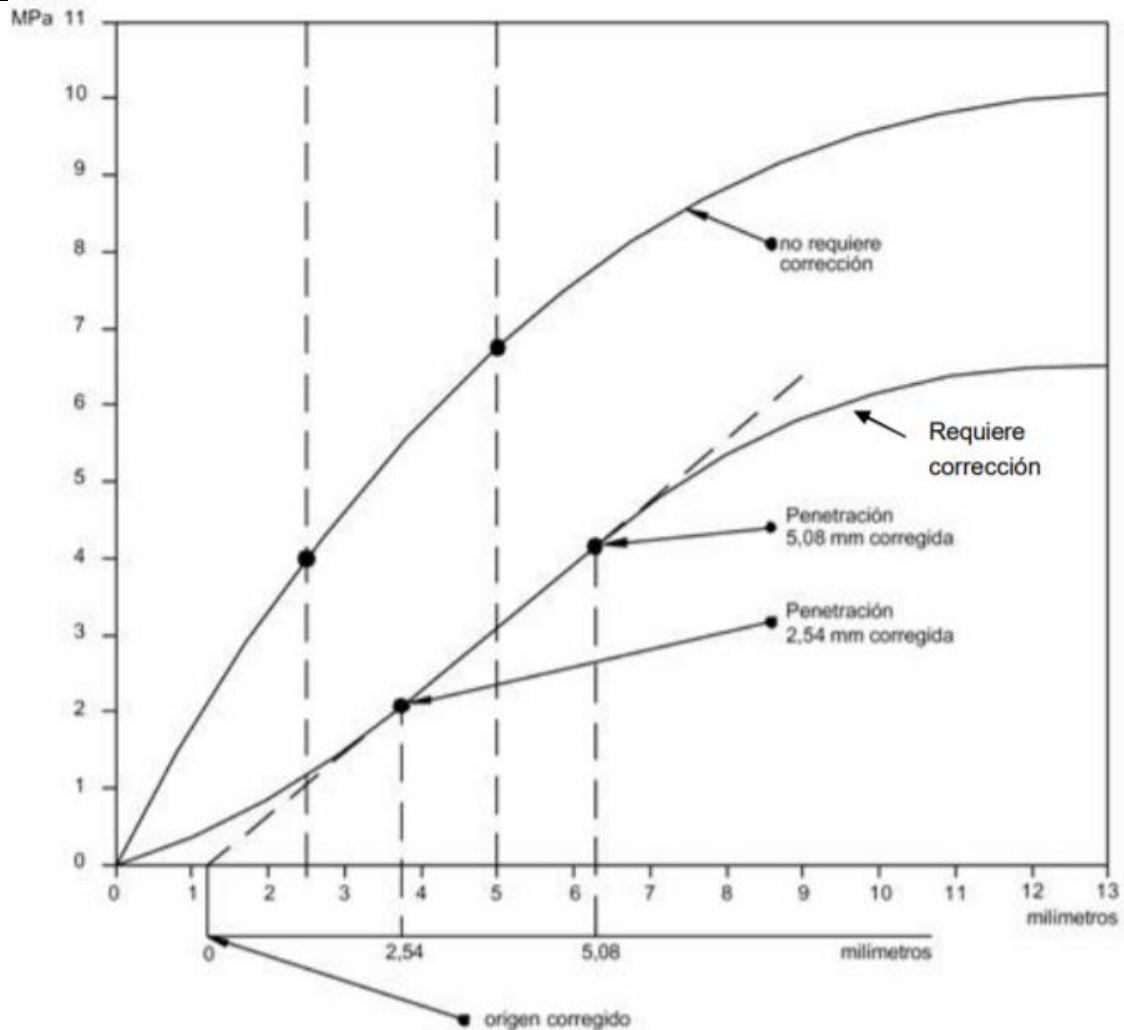


Ilustración 1. Curva de presiones de penetración

Fuente: norma INV E – 148 – 13

- g. Usando los esfuerzos corregidos, tomados de las curvas penetración - esfuerzo, para penetraciones de 2.54 y 5.08 mm (0.100 y 0.200"), se calculan las relaciones de soporte correspondientes, dividiendo dichos esfuerzos por los esfuerzos de referencia 6.9 MPa y 10.3 MPa, respectivamente, y multiplicando por 100

Recomendación: se debe calcular la relación de soporte para el esfuerzo máximo, si éste se produjo a una penetración inferior a 5.08 mm (0.200"); en este último caso, el esfuerzo de referencia se deberá obtener por interpolación. La relación de soporte (CBR) reportada para el suelo es, normalmente, la de 2.54 mm (0.1") de penetración. Cuando la relación a 5.08 mm (0.2") de penetración es mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, se toma como resultado del ensayo la relación de soporte (CBR) para 5.08 mm (0.2") de penetración.



- h. Se dibuja la curva peso unitario seco (o densidad seca) – CBR (ilustración 2). El CBR de diseño puede, entonces, ser determinado al porcentaje deseado del peso unitario seco máximo que, NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS Sección 100 - SUELOS E - 148 E 148 - 15 normalmente, corresponde al porcentaje mínimo especificado para el control de la compactación en obra.
- i. CBR de diseño para un rango de contenidos de humedad, se trazan las curvas de compactación y las de humedad de compactación versus el CBR corregido con los datos de las pruebas realizadas con las tres energías de compactación, como se muestra en la parte izquierda de la Figura 148 - 6. Igualmente, se elaboran las curvas de peso unitario seco (o densidad seca) versus CBR para diversas humedades de compactación

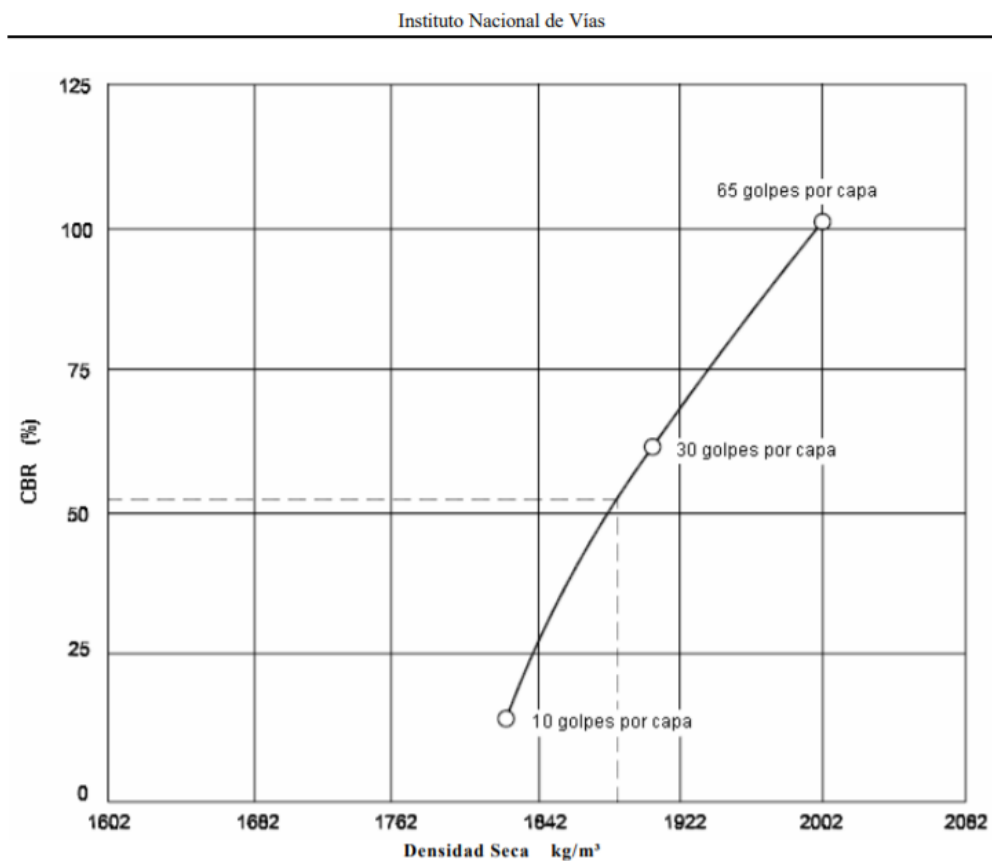


Ilustración 0. Densidad seca vs. CBR

Fuente: norma INV E- 148- 13



- j. Cálculo de los pesos unitarios secos de los especímenes compactados – Los pesos unitarios secos requeridos para dibujar las curvas mencionadas en los ítems (r,s) se determinan de la siguiente manera:

$$\rho_d = \frac{M_{sac}}{V_m} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$M_{sac} = \frac{M_{mws} - M_m}{(1 + W_{ac})} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

M_{sac} : Masa seca del suelo al ser compactado en el molde, Mg o g;

M_{mws} : Masa húmeda del suelo compactado más la masa del molde, Mg o g;

M_m : Masa del molde, Mg o g;

W_{ac} : Contenido de agua de porciones representativas tomadas durante el proceso de compactación de cada espécimen;

V_m : Volumen del espécimen compactado en el molde, m³ o cm³ .

- k. La expansión de cada espécimen se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro del aparato medidor de expansión al inicio y al final de la inmersión. Este valor se reporta en tanto por ciento, con respecto a la altura inicial de la muestra en el molde, que es de 116.43 mm (4.58")



Instituto Nacional de Vías

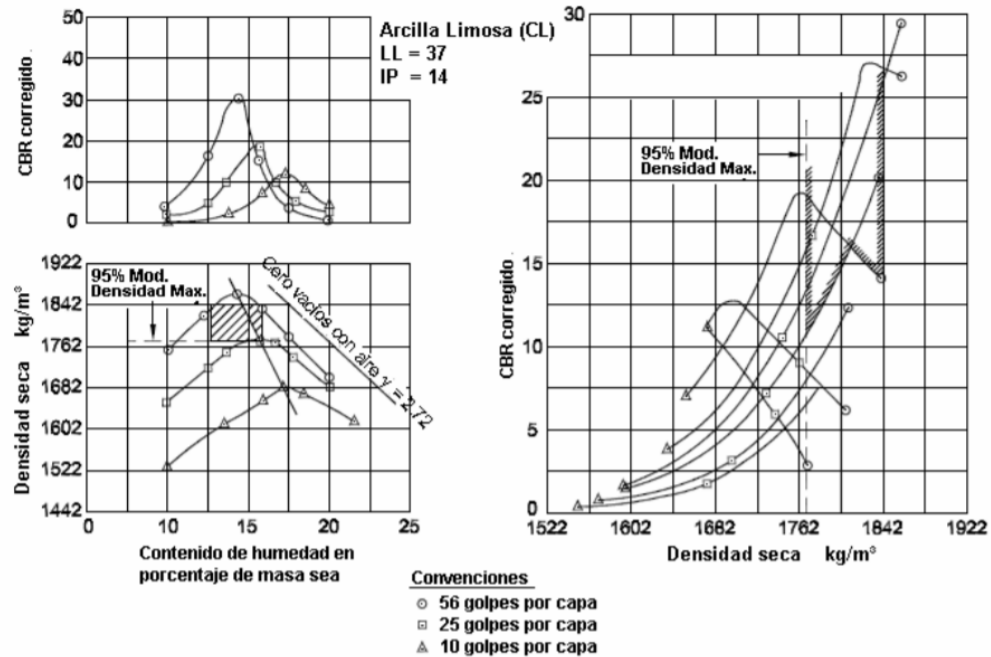


Ilustración 1. Determinación del CBR para un rango de humedades y masa unitaria seca mínima

Fuente: INV E – 148 – 13

REPORTE DE RESULTADOS

El informe deberá incluir los siguientes aspectos:

- Identificación completa de la muestra de ensayo (proyecto, número y localización de la calicata, profundidad de muestreo, etc)
- Descripción de las pruebas realizadas para la identificación de la muestra: descripción visual (norma INV E-102); granulometría (norma INV E – 123); límites de Atterberg (normas INV E – 125 e INV E-126); clasificación formal (normas INV E – 180 e INV E – 181)
- Método usado para la preparación y la compactación de las muestras (INV E – 141, INV E -142 u otro), con la respectiva descripción
- Porcentaje de material retenido en el tamiz de 19.0 mm (3/4”) y sustituido para realizar el ensayo
- Condición de ensayo de probetas (con o sin inmersión previa)
- Humedad y peso unitario seco con los cuales quedaron compactados los especímenes
- Pesas de sobrecargas utilizadas y tiempo de inmersión
- CBR de cada espécimen



- Curvas de penetración versus esfuerzo
- Curvas CBR contra pesos unitario seco y humedad.
- Valores de expansión de los especímenes

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRA IALTERADA INV E – 148
– 13



Equipos y Accesorios	unidad	Cantidad
Tamiz – De 425 µm de abertura (No. 40)	Und	1
Horno – Termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas constantes y uniformes hasta 110 ± 5° C (230 ± 9° F)	Und	1
Probetas graduadas – De 100 ml de capacidad	Und	2
Varilla de vidrio	Und	1
Balanza – capacidad de 500 gr	Und	1

MATERIALES PARA TRAER POR LOS ESTUDIANTES		
Elementos	Unidad	Cantidad
Capsula en aluminio para colocar muestra de suelo	Und/grupo	2

MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD NECESARIAS	
<p>Es obligatorio para el ingreso y permanencia en las actividades de laboratorio el uso de bata manga larga anti fluidos, guantes de nitrilo, mascarilla de gases, gafas de seguridad, gorro desechable, pantalón sin desgastes o rotos, camisa manga larga y zapatos cerrados o botas de seguridad. Los siguientes son elementos de protección a emplear de acuerdo con el tipo de actividad que se va a desarrollar.</p>	
Elementos	señalar si el estudiante lo requiere
Guantes de carnaza	Si
Tapabocas desechable	No
Protector auditivo	No
Casco de seguridad	No
Otros:	N/A

OBJETIVOS

General: El estudiante por medio de este procedimiento, lograra determinar si un suelo es potencialmente expansivo.



Específicos:

- Determinar el índice de expansión libre (IEL)
- Determinar suelos expansivos mediante los límites de Atterberg y la succión natural del suelo

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Límites de Atterberg – Originalmente, Albert Atterberg definió seis “límites de consistencia” para los suelos finos: el límite superior del flujo viscoso, el límite líquido, el límite de pegajosidad, el límite de cohesión, el límite plástico y el límite de contracción. En el uso actual de la ingeniería el término se aplica solamente a los límites líquido y plástico y, en algunas referencias, también al límite de contracción. Los límites líquido y plástico de los suelos (junto con el límite de contracción) son mencionados a menudo en conjunto como límites de Atterberg. Estos límites dividen diferentes estados de consistencia de los suelos plásticos

Límite plástico (LI) – Contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje, que determina el límite donde el suelo deja de comportarse como semi sólido y pasa a un estado plástico.

Índice de Plasticidad (Ip) – es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.

METODOLOGÍA

MUESTRA

Se toma una porción de suelo completamente mezclado que pase el tamiz de 425 μ m (No. 40) y recién secado al horno, se toman dos muestras, de 10 g cada una. **Nota: en el caso de suelos altamente expansivos, como la bentonita la muestra debe ser de solo 5 g o, alternativamente, se deberá usar una probeta de 250 ml para los 10 gr de muestra**



PROCEDIMIENTO

- a. Identificar y predecir el potencial de expansión de un suelo fino a partir de los límites líquido y plástico (Norma INV E-125 e INV E-126).

Tabla 1. Predicción de la expansividad a partir del límite líquido

GRADO DE EXPANSION	LIMITE LIQUIDO	
	CHEN	NORMA IS 1498
BAJO	< 30	20 – 35
MEDIO	30 – 40	35 – 50
ALTO	40 – 60	50 – 70
MUY ALTO	> 60	70 – 90

Fuente: norma INV E 132-13

Tabla 0. Predicción de la expansividad a partir del índice de plasticidad

GRADO DE EXPANSION	INDICE DE PLASTICIDAD		
	HOLTZ Y GIBBS	CHEN	NORMA IS 1498
BAJO	< 20	0 – 15	< 12
MEDIO	12 – 34	10 – 35	12 – 23
ALTO	23 - 45	20 – 55	23 – 32
MUY ALTO	> 32	> 35	> 32

Fuente: norma INV E 132-13

- b. Se coloca cada muestra en una probeta de 100 ml de capacidad.
- c. Con precaución, se llena uno de los cilindros con kerosene y el otro con agua destilada, hasta la marca de 100 ml. **Nota 1: como el kerosene es un liquido no polar, no producirá ninguna expansión en el suelo. Nota 2: se puede usar tetracloruro de carbono (CCl₄) en lugar del kerosene.**
- d. Mediante agitación con la varilla de vidrio, se remueve el aire atrapado en los cilindros, de esta forma permitiendo el asentamiento de las muestras en ambos cilindros.
- e. Se dejan los cilindros en reposo por un lapso de, cuando menos, 24 horas, para que las muestras de suelo alcen el equilibrio volumétrico.



- f. Se anota el volumen que alcanza el suelo en cada cilindro.
g. Se determina el índice de expansión libre (IEL) mediante la expresión:

$$IEL: \frac{V_W - V_K}{V_K} * 100$$

Ecuación 1

Donde:

V_w : volumen de la muestra, leído en la probeta que contiene agua destilada

V_k : volumen de la muestra, leído en la probeta que contiene kerosene

REPORTE DE RESULTADOS

El informe obtenido de la realización de este ensayo debe contener:

- Identificación de la muestra (procedencia, descripción visual)
- Granulometría y límites de consistencia
- Clasificación por las normas INV E-180 e INV E-181
- Lecturas obtenidas en cada uno de los cilindros y el valor calculado del índice de expansión libre

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

[1] DETERMINACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS - INV E – 132 – 13



Código: DO-VI-F-628

Versión: 01

Emisión: 29/09/2022

Página 1 de 7

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Práctica No.
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE LOS SUELOS INV E – 128 – 13	16

Fecha de la practica	
Laboratorio o Área de la practica	Laboratorio de Suelos
Espacio académico	Mecánica de Suelos
Facultad o Unidad	Ingeniería Civil
Nombre del docente o instructor	

Grupo:	Número total de estudiantes:	Número de subgrupos para la práctica:
--------	------------------------------	---------------------------------------

Hora de inicio:	Hora de salida:
-----------------	-----------------

Espacio de Carácter:	Académico		Teórico		Teórico - práctico	x	Práctico	
----------------------	-----------	--	---------	--	--------------------	---	----------	--

Metodología del espacio académico	Presencial	x	Virtual		Distancia	
-----------------------------------	------------	---	---------	--	-----------	--

MATERIALES - REACTIVOS - EQUIPOS

Reactivo	Concentración	Unidad	Cantidad

Materiales y Consumibles	Unidad	Cantidad
Hidrómetros	Und	1
Cilindros para hidrometros de 1000 ml	Und	1
Tamiz, 8" Dia, 1" (25.0mm) Malla, Altura completa, Marco de bronce, Malla de acero inoxidable	Und	1
Tamiz, 8" Dia, 1-1/2" (37.5mm) Malla, Altura completa, Marco de bronce, Malla de acero inoxidable	Und	1
Tamiz, 8" Dia, 2" (50mm) Malla, Altura completa, Marco de bronce, Malla de acero inoxidable	Und	1
Tamiz, 8" Dia, 3" (75mm) Malla, Altura completa, Marco de bronce, Malla de acero inoxidable.	Und	1
Tamiz, 8" Dia, 3/4" (19.0mm) Malla, Altura completa, Marco de bronce, Malla de acero inoxidable	Und	1



Código: DO-VI-F-628

Versión: 01

Emisión: 29/09/2022

Página 2 de 7

Tamiz, 8" Dia, 3/8" (9.5mm) Malla, Altura completa, Marco de bronce, Malla de acero inoxidable	Und	1
Tamiz, 8" Dia, No.10 (2.00mm), Altuta completa, Marco de bronce, Malla de acero inox.	Und	1
Tamiz, 8" Dia, No.100 (150 μ), Altuta completa, Marco de bronce, Malla de acero inox.	Und	1
Tamiz, 8" Dia, No.140 (106 μ), Altuta completa, Marco de bronce, Malla de acero inox.	Und	1
Tamiz, 8" Dia, No.16 (1.18mm), Altuta completa, Marco de bronce, Malla de acero inox.	Und	1
Tamiz, 8" Dia, No.20 (850 μ), Altuta completa, Marco de bronce, Malla de acero inox.	Und	1
Tamiz, 8" Dia, No.200 (75 μ), Altuta completa, Marco de bronce, Malla de acero inox.	Und	1
Tamiz, 8" Dia, No.30 (600 μ), Altuta completa, Marco de bronce, Malla de acero inox.	Und	1
Tamiz, 8" Dia, No.4 (4.75mm), Altuta completa, Marco de bronce, Malla de acero inox.	Und	1
Tamiz, 8" Dia, No.40 (425 μ), Altuta completa, Marco de bronce, Malla de acero inox.	Und	1
Tamiz, 8" Dia, No.50 (300 μ), Altuta completa, Marco de bronce, Malla de acero inox.	Und	1
Tamiz, 8" Dia, No.60 (250 μ), Altuta completa, Marco de bronce, Malla de acero inox.	Und	1
Tamiz, 8" Dia, No.8 (2.36mm), Altuta completa, Marco de bronce, Malla de acero inox.	Und	1
Tapa para tamices de 8" Diá, Bronce	Und	1
Hexa-Metafosfato de sodio, 1 lb	Und	1
Fondos para tamices	Und	1

Equipos y Accesorios	unidad	Cantidad
Baño para hidrómetros de Jarra H-4239A	Und	1
Mezclador de dispersión de suelos	Und	1

MATERIALES A TRAER POR LOS ESTUDIANTES		
Elementos	Unidad	Cantidad

MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD NECESARIAS
Es obligatorio para el ingreso y permanencia en las actividades de laboratorio el uso de bata manga larga anti fluidos, guantes de nitrilo, mascarilla de gases, gafas de seguridad, gorro desechable, pantalón sin desgastes o



rotos, camisa manga larga y zapatos cerrados o botas de seguridad. Los siguientes son elementos de protección a emplear de acuerdo a el tipo de actividad que se va a desarrollar.

Elementos	señalar si el estudiante lo requiere
Guantes de carnaza	Si
Tapabocas desechable	No
Protector auditivo	No
Casco de seguridad	No
Otros:	N/A

OBJETIVOS

General:

Familiarizar al estudiante con el método general de obtención de la gravedad específica de la masa de cualquier material compuesto por partículas pequeñas cuya gravedad específica sea mayor que 1.00. Esta práctica es aplicable específicamente a suelos y agregados finos (o arenas) como los utilizados en mezclas de concreto y asfalto).

Específicos:

- Esta norma de ensayo se utiliza para determinar la gravedad específica de los suelos que pasan el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y de la llenante mineral de las mezclas asfálticas (filler), empleando un picnómetro. Cuando el suelo contiene partículas mayores que el tamiz de 4.75 mm (No. 4), la gravedad específica de éstas se deberá determinar de acuerdo con el método de ensayo descrito en la norma INV E-223.
- Las partículas sólidas de los suelos a los cuales se les va a determinar la gravedad específica de acuerdo con esta norma, no podrán ser susceptibles de alteración por el procedimiento de ensayo, ni estar contaminadas con sustancias que prohíban el uso de estos métodos, o que sean altamente orgánicas, tales como la materia fibrosa que flota en el agua.



CONOCIMIENTOS PREVIOS

Discusion Exposicion General

La gravedad específica G , de un suelo sin ninguna calificación se toma como el valor promedio para los granos del suelo. Si en desarrollo de una discusión no se aclara adecuadamente a qué gravedad específica se refieren algunos valores numéricos dados, la magnitud de dichos valores puede indicar el uso correcto, pues la gravedad específica de los granos del suelo es siempre bastante mayor que la gravedad específica volumétrica determinada incluyendo los vacíos de los suelos en el cálculo [bien llenos de aire (secos) o llenos de agua parcial o totalmente].

El valor de la gravedad específica es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo, se utiliza también en el análisis de hidrómetro y es útil para predecir el peso unitario del suelo. Ocasionalmente el valor de la gravedad específica puede utilizarse en la clasificación de los minerales del suelo; i. e., algunos minerales de hierro tienen un valor de gravedad específica mayor que los provenientes de sílica.

La gravedad específica de cualquier sustancia se define como el peso unitario del material en cuestión dividido por el peso unitario del agua destilada a 4°C. Así, si se consideran solamente los granos del suelo se obtiene G , como:

$$G_s = \frac{\gamma_{\text{material}}}{\gamma_{\text{agua a } 4^{\circ}\text{C}}} \quad (7-1)$$

La misma fórmula de ecuación se utiliza para definir la gravedad específica del conjunto, la única diferencia en esa definición es el γ_{materia} . La gravedad específica del material puede también calcularse utilizando cualquier relación de peso de la sustancia al peso del agua siempre y cuando se consideren volúmenes iguales de material y sustancia:

$$G_s = \frac{W_s/V}{W_w/V} \quad (7-2)$$

Se evidencia en la ec. (7-2), que esto es cierto ya que los términos de volúmenes se cancelan.

Nótese, sin embargo, que si no se cancela V en la ec. (7-2), se obtiene la ec. (7-1).

El problema consiste en obtener el volumen de un peso conocido de granos de suelo y dividirlo por el peso del mismo volumen de agua, es decir, aplicar la ec. (7-2), pues esta fórmula es más difícil de captar como también de evaluar en el laboratorio. El volumen de un peso conocido de partículas de suelo puede obtenerse utilizando un recipiente de volumen conocido y el principio de Arquímedes, según el cual un cuerpo sumergido dentro de una masa de agua desplaza un volumen de agua igual al del cuerpo sumergido



El recipiente de volumen conocido es el frasco volumétrico el cual mide un volumen patrón de agua destilada a 30°C. A temperaturas mayores, el volumen será ligeramente mayor; a temperaturas menores de 20°C el volumen será ligeramente menor. Como el cambio sufrido en el volumen es pequeño para desviaciones de temperaturas pequeñas en el fluido, y además es relativamente fácil mantener la temperatura de ensayo cercana a los 20°C. es posible aplicar una corrección aproximada de temperatura para desviaciones pequeñas de temperatura en los cálculos del ensayo, que permita una aproximación satisfactoria sin necesidad de recurrir a determinar experimentalmente el cambio en el contenido volumétrico del frasco con la temperatura. Alternativamente, se puede desarrollar una curva de calibración para cualquier frasco volumétrico dado de la siguiente forma:

1. Limpiar cuidadosamente el frasco
2. Llenar con agua destilada demineralizada o común el frasco a temperaturas conocidas.
3. Hacer una gráfica del peso (W_{au}) contra T°C (usar mínimo 4 puntos a, por ejemplo, 16,20, 24 y 28°C).



METODOLOGÍA

Procedimiento

1. Mezclar entre 100 y 120 g (el peso exacto no es importante en este punto) de suelo secado al aire con agua en un recipiente evaporador hasta formar una pasta cremosa. Si no se utiliza un mezclador eléctrico, remojar el suelo entre 20 y 30 minutos (la ASTM sugiere

12 hrs. para muestras secadas al horno).

2. Opcional: transferir la pasta al vaso del mezclador eléctrico de refrescos y añadir agua hasta formar una mezcla de cerca de 200 ml de suelo-agua. Batir estas mezclas durante 5 a 10 minutos. Si se hace este paso, es necesario utilizar un frasco volumétrico de 500 ml

3. Pesar el frasco volumétrico vacío, a continuación, llenar el frasco hasta la marca con agua destilada, tener mucho cuidado en no introducir aire nuevamente al agua por agitación excesiva.

Como alternativa, es posible aplicar vacío por unos cuantos minutos después

de haber llenado el frasco hasta 3/4 de su capacidad. Cuando el nivel de agua se encuentra en la marca volumétrica (no el menisco) y el cuello por encima de esa marca se encuentra totalmente seco, pesar el frasco y registrar el peso W_{ow} . Registrar la temperatura de forma que la mezcla agua suelo se encuentre a la misma temperatura aproximadamente dentro de 1°C. Esta operación puede vaciarse mientras el suelo se encuentra en saturación o está siendo mezclado con la batidora eléctrica. Este paso se puede omitir si existe una curva de calibración para el frasco.

4. Luego de 15 a 30 minutos, transferir el suelo saturado del plato evaporador al frasco volumétrico. Tener cuidado de que no queden partículas de suelo en el recipiente evaporador.

Añadir suficiente agua con temperatura estabilizada para completar $\frac{2}{3}$ a $\frac{7}{8}$ de la capacidad del frasco volumétrico. No se debe llenar completo debido a que la eficiencia del trabajo del vacío en la de aireación se puede reducir marcadamente.

5. Conectar el frasco a un ducto de vacío por un espacio de por lo menos 10 minutos.

Durante este tiempo agitar suavemente la mezcla moviendo cuidadosamente la botella.

Observar que la reducción en la presión del aire dentro del Frasco produce "la ebullición" del agua (ver Fig. 7-2). Verificar la eficiencia del vacío en la forma descrita en la discusión general'. Si al final del periodo no se ha



extraído totalmente el aire, se debe dejar sedimentar la solución, por espacio de unos pocos minutos de forma que se aclare el agua superficial y se pueda extraer suficiente para permitir que el vacío trabaje eficientemente. Este paso puede tomar varias horas, sin embargo, en laboratorios para estudiantes, el instructor ordenará continuar con el paso siguiente después de un tiempo razonable.

REPORTE DE RESULTADOS

El informe deberá incluir lo siguiente:

El documento elaborado como resultado de la ejecución del ensayo realizado de acuerdo con esta norma, deberá contener, al menos, la siguiente información:

- Identificación del suelo (localización y número de la perforación de la cual se extrajo la muestra, número de la muestra, profundidad de la toma).
- Clasificación visual del suelo, de acuerdo con la norma INV E–102.
- Porcentaje de partículas retenidas en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).
- Si alguna parte de la muestra fue excluida del ensayo, descripción de la misma.
- Método de ensayo utilizado, A o B (Ver numeral 1.2).
- Los resultados de todas las medidas de masa, aproximadas a 0.01 g.
- Temperatura de ensayo, aproximada a 0.1° C.
- Gravedad específica a 20° C del suelo ensayado (G₂₀°C), aproximada a 0.01 y, si se desea, a 0.001 (Ver numeral 8.3).
- Si el suelo contenía partículas retenidas en el tamiz de 4.75 mm (No. 4), la gravedad específica promedio a 20° C (G_{s20}°C), aproximada a 0.01 y, si se desea, a 0.001 (Ver numeral 8.4).

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE LOS SUELOS INV E – 128 – 13