



## TABLA DE CONTENIDO

<u>DESCRIPCIÓN</u>	<u>PÁGINA</u>
Tabla de contenido .....	2
Introducción .....	3
Instrucciones de uso .....	3
Reglamento interno .....	4
Muestreo (Obtención de muestras) .....	6
Limites de consistencia .....	9
Granulometría .....	14
Permeabilidad .....	21
Contenido de agua .....	27
Consolidación .....	29
Prueba triaxial .....	32
Equivalente de arena .....	38
Compactación AASHTO .....	41
Cono de arena .....	45
Corte in situ .....	53
Secado, disgregado y cuarteo de muestras .....	55
Densidades relativas y absorción .....	58

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



## INTRODUCCION

Este manual de procedimientos fue creado con la finalidad de guiar al usuario paso por paso en la realización de cada una de las pruebas de geotecnia. El correcto uso del manual nos garantiza que los procedimientos de prueba se realizan bajo los mismos métodos y condiciones de trabajo, asegurando que los resultados no se verán afectados al seguir métodos distintos.

## INSTRUCCIONES DE USO

En el manual se indican claramente todos los elementos necesarios para poder llevar a cabo una correcta aplicación del mismo. Es importante que se comprenda la forma en que debe usarse para evitar cometer errores. El procedimiento es el siguiente:

- ❖ Leer cuidadosamente todo el documento de la prueba hasta asegurar su total comprensión.
- ❖ Asegurarse de que se tiene claro el objetivo de la prueba.
- ❖ Cerciorarse de que se cuenta con todo el equipo y los instrumentos indicados y verificar que cumplan con los requerimientos y se encuentren en buen estado.
- ❖ Colocar el equipo y los instrumentos cerca al área donde se llevara a cabo la prueba.
- ❖ Realizar las anotaciones referentes al material con el que se realizara la prueba en su respectiva hoja de registro, ubicada al final del documento.
- ❖ En caso de ser necesario, leer nuevamente la sección donde se especifica el procedimiento de prueba, especialmente la parte donde se especifican las acciones preventivas, que tienen la finalidad de evitar errores en el procedimiento.
- ❖ Realizar los cálculos y hacer las anotaciones de los resultados en las hojas de registro.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



## Reglamento Interno del Laboratorio

1. Los usuarios del laboratorio tienen la obligación de acudir a realizar las pruebas en el horario establecido por el responsable del laboratorio y retirarse al término de la misma en orden para evitar algún accidente.
2. Los usuarios del laboratorio tienen la obligación de comportarse con respeto y seguir las indicaciones durante el desarrollo de las pruebas.
3. Queda estrictamente prohibido fumar dentro de los laboratorios debido a que se manejan sustancias peligrosas y flamables.
4. El usuario que se presente con aliento alcohólico o en estado inconveniente a laborar al laboratorio, se le retirará de laboratorio y se hará acreedor a una penalización.
5. Queda prohibido ingresar al laboratorio con alimentos y bebidas durante la realización de las pruebas.
6. Es obligación de los usuarios usar el equipo de protección que se requiera para el desarrollo de las pruebas, así como la utilización de bata y calzado propio para laboratorio (de preferencia botas, suelas de goma etc.).
7. Queda prohibido el uso de teléfonos celulares durante la realización de las pruebas, ya que esto distrae la atención de los demás y puede ocasionar accidentes.
8. No están permitidas las visitas durante la realización de las pruebas así como la salida de estos para platicar con personas ajenas al laboratorio.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



9. El usuario se responsabiliza del buen uso que se le dé al equipo del laboratorio en cada prueba, ya que si algún equipo se descompusiera por uso inadecuado, el o los responsables tendrán que cubrir el costo del mismo.
  
10. El material y equipo de los laboratorios, son para ser usados en realización de pruebas de laboratorio y no se prestarán para fines personales.
  
11. Es obligación quien realiza las pruebas, que al término de la misma se ordene y deje limpio tanto el lugar de trabajo como el equipo utilizado para el buen desarrollo de la prueba.
  
12. El responsable del laboratorio no podrá enviar a los usuarios a realizar las pruebas sin su compañía ya que él también es responsable del buen uso del equipo que se utilice.

## **MUESTREO (OBTENCION DE MUESTRAS CUBICAS INALTERADAS)**

### **Objetivo**

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



Este procedimiento consiste en obtener una fracción representativa del material que forma parte de una terracería o bien que se utilizara para construirla con el fin de determinar sus características y en su caso verificar que cumplan con los requisitos de calidad.

### **Definiciones**

Muestras cúbicas inalteradas – son aquellas muestras que conservan su estructura y contenido de agua natural del suelo de donde son obtenidas. Su obtención, envase y traslado requiere de condiciones especiales a fin de no ser alteradas.

### **Equipo y materiales**

- Herramientas
  - Pico
  - Pala
  - Barreta
  - Cuchillos
  - Espátula
  - Cuchara de albañil
  - Machete
  - Arco con segueta o alambre de acero
- Parafina y brea
- Manta
- Estufa o lámpara de gas
- Recipiente para calentar parafina y brea
- Brochas
- Cajón para empacar muestras
- Aserrín, viruta o paja
- Cinta métrica 20m
- Flexometro 5m

### **Procedimiento de prueba**

#### *Trabajos previos*

1. Remover de la superficie toda la materia orgánica, polvo y basura o cualquier otra sustancia que pueda contaminar la muestra. Realizar esta actividad en un área mínima de  $1 m^2$ .
2. Preparar una mezcla de cuatro tantos de parafina por un tanto de brea y mantenerla fluidificada por medio de calor y mantenerla en estado liquido hasta el momento ser utilizada.

#### *Procedimiento para la obtención de la muestra*

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- 1) Marcar sobre el terreno un cuadrado de aproximadamente 40 x 40 cm de cada lado.
- 2) Con las herramientas indicadas anteriormente excavar alrededor del cuadrado para proceder a labrar un cubo. La excavación debe ser lo suficientemente amplia para asegurar la correcta extracción sin dañar la muestra y permitir las operaciones de labrado, deberá tener la profundidad necesaria para realizar el corte en la base del cubo y poder desprenderlo. En caso de obtener la muestra de una pared, se excava una bóveda alrededor del sitio de donde se extraerá la muestra, con el propósito de facilitar el labrado y la extracción.
- 3) Se sumerge la manta en el recipiente con la mezcla de parafina y brea hasta que esta quede totalmente embebida.
- 4) Al momento de tener el cubo perfectamente labrado y antes de desprenderlo se procede a cubrirlo con la manta empapada de mezcla para lograr una correcta adherencia con la muestra.
- 5) Inmediatamente después de haber protegido las cinco caras del cubo se realiza el corte de la base del cubo y se separa cuidadosamente. La base se debe cubrir al instante con una capa de manta embebida de mezcla de parafina y brea.
- 6) Aplicar una capa de mezcla de parafina y brea mediante una brocha en cada una de las caras de la muestra.
- 7) Antes de que la mezcla de parafina y brea seque, colocar una etiqueta de identificación de la muestra en la cara que se encontraba originalmente en la parte superior.

#### *Traslado y almacenamiento*

1. La muestra debe ser empacada en un cajón de madera y se debe apoyar con la cara opuesta a la que tiene la etiqueta. El cajón debe tener en el fondo y en los espacios libres aserrín, papel, paja o cualquier otro material que amortigüe las vibraciones.
2. El cajón debe quedar perfectamente tapado y a la tapa se le debe colocar una etiqueta de identificación.
3. El traslado de las muestras debe realizarse con extrema precaución para evitar golpes o vibraciones durante la carga, descarga y manejo.
4. La muestra debe ser almacenada en un cuarto cerrado, limpio, húmedo y techado. Se debe colocar en una tarima a 15 cm del suelo como mínimo.

#### *Acciones preventivas*

- a) El cajón debe estar perfectamente limpio.
- b) Evitar que la muestra se contamine de polvo o alguna otra sustancia antes de ser protegida.

#### **Referencias con normas y manuales**

Muestreo de materiales para terracerías ..... M-MMP-1-01-03  
Exploración directa y subsuelo ..... N-PRY-CAR-1-02-003

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



---

Materiales para terraplén .....	N-CTM-1-01
Materiales para subyacente .....	N-CTM-1-02
Materiales para subrasante .....	N-CTM-1-03
Criterios estadísticos de muestreo .....	M CAL 1 02
Clasificación de fragmentos de roca y suelos .....	M-MMP-1-02
Secado, disgregado y cuarteo de muestras .....	M-MMP-1-03

## LIMITES DE CONSISTENCIA

### Objetivo

Este procedimiento de prueba permite conocer las características de plasticidad de los materiales para terracería que pasan la malla No. 40. Consiste en obtener el límite líquido y el límite plástico, para con ellos calcular el índice plástico.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



## Definiciones

Limite liquido – contenido de agua para el cual el suelo plástico adquiere una resistencia al corte de  $25 \text{ g/cm}^2$ , a esta se le considera la frontera entre el estado semilíquido y plástico.

Limite plástico – es el contenido de agua para el cual un rollito de material se rompe en tres secciones al alcanzar un diámetro de 3 mm. A esto se le considera la frontera entre el estado plástico y semisólido.

Índice plástico – es la diferencia entre los límites liquido y plástico.

## Equipo y materiales

- Malla del No. 4 con bastidor circular de  $206\text{mm} \pm 2\text{mm}$  de diámetro y  $68\text{mm} \pm 2\text{mm}$  de altura.
- Copa de Casagrande
- Balanza 2000g con aproximación de 0.01 g
- Horno  $105 \pm 5^\circ \text{C}$
- Desecador de cristal con cloruro de calcio anhidro como elemento desecador
- Vaso o recipiente de 0.5 L
- Capsulas de porcelana 12cm de diámetro
- Espátula flexible 7.5 x 2 cm con punta redonda
- Cuenta gotas de vidrio o metal
- Vidrio de reloj
- Paño absorbente de 60 x 60 cm
- Placa de vidrio 40 x 40 x 0.6 cm
- Alambre de acero de 3mm de diámetro x 10 cm de largo

## Procedimiento de la prueba

### *Trabajos previos*

1. Seleccionar el material para la prueba según el procedimiento establecido para realizar el secado, disgregado y cuarteo de muestras.
2. Apartar una cantidad, tal que, al ser cribado el material por la malla No. 40 se logren obtener 300 gramos de material que pasen por la malla. Este se coloca y el material retenido es desechado.
3. Separar aproximadamente 250 gramos según lo establecido en el procedimiento para realizar el secado, disgregado y cuarteo de muestras.
4. Obtener y registrar la masa del material apartado.
5. Colocar el material seleccionado en un recipiente y agregar agua suficiente para saturar el material, se deja reposar aproximadamente 24 horas. Sobre el recipiente se debe colocar un paño para evitar la pérdida de agua a causa de la evaporación.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	





### *Procedimiento estándar para la determinación del Limite Liquido $\omega_L$*

- 1) Colocar aproximadamente 150 gramos de la muestra en una capsula de porcelana y con ayuda de la espátula homogenizar el material.
- 2) En la copa de Casagrande, se colocan aproximadamente 150 gramos de material con la espátula, hasta alcanzar un espesor en la parte central de la copa 8 a 10 mm. Es conveniente utilizar una porción mayor de material y eliminar el exceso con la espátula al momento de enrasar la muestra. El material debe extenderse del centro de la copa hacia los lados.
- 3) Hacer una abertura en la parte central de la muestra utilizando el ranurador. La pasada debe realizarse con firmeza.
- 4) Accionar la manivela de la copa de Casagrande realizando 2 golpes por segundo y registrar el número de golpes necesarios para lograr que los bordes inferiores de la ranura se pongan en contacto en una longitud de 13 mm.
- 5) Tomar con la espátula una porción aproximada de 10 gramos de la parte cerrada de la ranura para determinar su contenido de humedad  $\omega_n$ , por medio del procedimiento indicado en la prueba de *Contenido de Agua* de este manual. Colocar la porción en un vidrio de reloj con una masa previamente determinada.
- 6) El resto del material es regresado a la capsula de porcelana y la copa de Casagrande y el ranurador son lavados perfectamente y secados.
- 7) Por medio de un cuenta gotas agregar agua al material en la capsula y homogenizarlo con ayuda de la espátula. Con dicho material se debe realizar el mismo procedimiento del inciso 2 al 6. Este procedimiento se debe de realizar hasta completar 4 determinaciones. La cantidad de agua que se adicione debe ser tal que permita que la cantidad de golpes necesarios se encuentre en un rango de 10 a 35 golpes en la copa de Casagrande, es necesario que dos valores se encuentren por debajo de los 25 golpes y 2 por arriba.
- 8) Graficar representando en el eje de las abscisas el número de golpes  $n$ , en escala logarítmica, y en el eje de las ordenadas los respectivos contenidos de agua  $\omega_n$ , en escala aritmética.
- 9) Realizar un trazo que aproximadamente una los puntos graficados, a este se le denomina *curva de fluidez*.

### **Cálculos y resultados**

El límite líquido  $\omega_L$  se obtiene por medio de la grafica y es determinado según el contenido de agua correspondiente a 25 golpes en la curva de fluidez.

#### *Acciones preventivas*

- a) La prueba debe ser realizada en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire que pudieran provocar pérdidas de partículas de las muestras.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- b) Verificar que el equipo este perfectamente limpio, funcional y que no tengan indicios de falla. En especial la copa de Casagrande y el ranurador deberán estar limpios, calibrados, sin residuos de material y sin indicios de desgaste.
- c) Verificar que las dimensiones del ranurador sean las especificadas y que la forma, dimensión y dirección de la ranura sean las indicadas.
- d) Mantener el ritmo de dos golpes por segundo constante.
- e) No incorporar material seco para modificar los contenidos de agua de las muestras.

#### *Procedimiento para la determinación del Limite Plástico $\omega_p$*

- 1) Tomar del material preparado anteriormente una fracción del mismo, que permita formar una esfera con un diámetro aproximado de 12 mm la formación de la esfera con las manos tiene como finalidad que el material pierda agua.
- 2) Manipular la esfera manualmente hasta lograr con ella una forma cilíndrica.
- 3) Girar el cilindro con los dedos sobre una placa de vidrio, hasta reducir su diámetro aproximadamente a 3 mm en toda su longitud. La velocidad de girado deberá estar comprendida entre los 60 y 80 ciclos por minuto, se le denomina *ciclo* al movimiento de la mano hacia atrás y hacia delante.
- 4) El cilindro al alcanzar el diámetro de 3 mm y siendo manipulado a una velocidad constante se debe romper en tres secciones simultáneamente, esto tiene como significado que el contenido de agua es inferior al límite plástico  $\omega_p$ . En caso contrario, es decir, que no se rompa en tres secciones el cilindro, se debe reunir nuevamente el material y volver a formar una esfera para forzar la pérdida de agua en el material y lograr una distribución uniforme. El cilindro debe ser comparado contra el alambre de referencia para verificar que su diámetro es correcto.
- 5) Colocar los segmentos del cilindro sobre un vidrio de reloj y determinar su contenido de humedad  $\omega_i$ , por medio del procedimiento indicado en la prueba de *Contenido de Agua* de este manual.
- 6) Esta prueba se debe realizar tres veces para obtener una mayor seguridad en los resultados.

#### **Cálculos y resultados**

Los resultados del límite plástico se obtienen mediante la siguiente expresión:

$$\omega_p = \frac{\sum \omega_i}{3}$$

Donde:

$\omega_p$  = Limite plástico de la muestra (%)

$\omega_i$  = Contenido de agua de cada una de las tres determinaciones (%)

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



En caso de no ser posible formar cilindros del diámetro especificado con ningún contenido de agua  $\omega_n$ , el material es considerado como no plástico y se reporta como NP (no plástico).

*Acciones preventivas*

- a) Verificar que el equipo este perfectamente limpio, funcional y que no tengan indicios de falla. En especial la placa de vidrio deberá estar limpia y sin residuos de material.
- b) Realizar la obtención de las masas de los materiales con la mayor precaución posible, ya que se trabajara con proporciones muy pequeñas y el menor error puede influir notablemente.
- c) Mantener constante la presión y la velocidad de los ciclos durante el rolado de los cilindros.
- d) No incorporar material seco para modificar los contenidos de agua de las muestras.

*Procedimiento para la determinación del Índice Plástico IP*

**Cálculos y resultados**

El índice plástico es calculado una vez que se tiene determinado el límite plástico y el límite líquido, por medio de la siguiente expresión:

$$IP = \omega_L - \omega_p$$

Donde:

- $IP$  = Índice plástico de la muestra de material (%)
- $\omega_L$  = Limite líquido de la muestra de material (%)
- $\omega_p$  = Limite plástico de la muestra de material (%)

En caso de que el material sea muy arenoso y no sea posible determinar su límite plástico, se reportan el límite plástico y el índice de plasticidad como material NP (no plástico).

**Referencias con normas y manuales**

Muestreo de materiales para terracerías .....	M-MMP-1-01-03
Limites de consistencia .....	M-MMP-1-07-03
Materiales para terraplén .....	N-CTM-1-01
Materiales para subyacente .....	N-CTM-1-02
Materiales para subrasante .....	N-CTM-1-03

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



Secado, disgregado y cuarteo de muestras .....	M-MMP-1-03
Contenido de agua .....	M-MMP-04
Granulometría de materiales compactables para terracerías .....	M-MMP-06

## GRANULOMETRÍA

### Objetivo

Esta prueba determina en los materiales compactables para terracerías la composición por tamaños de las partículas del material, mediante su paso por una serie de mallas con aberturas determinadas.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



## Equipo y materiales

- Juego de mallas con bastidor circular de 206mm  $\pm$  2mm de diámetro y 68mm  $\pm$  2mm de altura

Gravas	Arenas
3"	No. 10
2"	No. 20
1 ½"	No. 40
1"	No. 60
¾"	No. 100
½"	No. 200
3/8"	
¼"	
No. 4	
- Horno 105  $\pm$  5° C
- Balanza 20 kg con aproximación de 1 g
- Balanza 2 kg con aproximación de 0.1 g
- Vaso de aluminio 500 cm<sup>3</sup>
- Agitador de varilla metálica de ¼" x 20 cm
- Maquina agitadora
- Cucharón 20 x 11 x 10 cm
- Charolas 40 x 70 x 10 cm
- Tapa y charola para juego de mallas
- Cepillos o brochas
- Desecador de cristal con cloruro de calcio anhidro como elemento desecador

## Procedimiento de la prueba

### Trabajos previos

1. Seleccionar el material para la prueba apartando aproximadamente 15 kg de la muestra, según el procedimiento establecido para realizar el secado, disgregado y cuarteo de muestras.
2. Obtener la masa de la muestra de suelo y registrarla como  $W_m$ , en gramos.
3. Obtener las porciones para realizar la prueba de la siguiente manera:
4. Vaciar con extrema precaución y lentamente el material sobre la malla No. 4, procurando no sobrepasar la capacidad de la malla. Recolectar el material que logra pasar en una charola. Utilizar una brocha para retirar el material que quede adherido a la malla, con el fin de no perder ninguna porción.
5. Colocar la fracción del material retenido en la malla No. 4 en una charola, este es considerado como grava.
6. Verter el material retenido en la malla No. 4 en la balanza y registrar su masa como  $W_{m1}$ , en gramos. Realizar el mismo procedimiento para obtener la masa

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



del material que pasa por la malla y registrarlo como  $W_{m2}$ , en gramos, a esta fracción se le considera arena y finos.

7. Obtener 100 gramos de material de la fracción de la muestra que pasó la malla No. 4 y determinar su contenido de humedad  $\omega_m$ , de acuerdo con lo establecido en la prueba de *Contenido de Agua* de este manual.
8. De la fracción restante de material que pasó por la malla No. 4 se retiran 200 gramos y se registran como  $W_{m3}$ .

### *Procedimiento*

- 1) Armar dos juegos de mallas, el primero para las gravas y el otro para la arena y el fino. Se deben acomodar en orden descendente de aperturas, es decir, cada charola debe tener una abertura menor a la charola superior. Cada juego de charolas debe tener una charola de fondo.
  - Cribado del material retenido en la malla No. 4
    - 1) Verter poco a poco y con mucho cuidado el material retenido en la malla No. 4 sobre la malla 3" y menores para gravas, la cantidad de material que se vierta debe ser menor a la capacidad misma de la malla para facilitar el cribado.
    - 2) El cribado se debe realizar con un movimiento vertical con rotación horizontal permitiendo que las partículas pasen a través de las aberturas. El material que pase debe ser recolectado en una charola, mientras que el material retenido debe ser colocado en una charola diferente. El cribado debe tener una duración de un minuto, o cuando se considere que la masa de material que pasa por las mallas es menor a 1 gramo.
    - 3) Revisar el material retenido en las mallas, las gravas con forma de laja o aguja pueden pasar por las mallas, estas deben ser introducidas por las aberturas de forma manual sin ser forzadas.
    - 4) Obtener la masa del material retenido en cada una de las mallas de grava y registrarla como  $W_i$  en gramos. El subíndice  $i$  represente a la designación de la malla.
  - Cribado del material que pasa la malla No. 4
    - 1) Colocar la muestra de material que pasa por la malla No. 4 en un vaso metálico y agregarle aproximadamente  $500\text{ cm}^3$  de agua y dejar reposar por 12 horas mínimo.
    - 2) Realizar un lavado de la muestra para remover los finos, el procedimiento es el siguiente:
    - 3) Agitar en forma de ochos (8) con una varilla el contenido del vaso durante 15 segundos, para formar una suspensión.
    - 4) Permitir que repose la suspensión durante 30 segundos e inmediatamente después decantarla sobre la malla No. 200.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- 5) Aplicar un chorro de agua a baja presión para facilitar el paso de las partículas finas a través de la malla.
- 6) Repetir el lavado hasta que el agua decantada este considerablemente limpia.
- 7) Regresar el material retenido en la malla No. 200 al vaso metálico, haciendo uso de un poco de agua. Al concluir se decanta el material y se retira el agua, evitando el arrastre de partículas.
- 8) Introducir la muestra en el horno a una temperatura constante de  $105 \pm 5^\circ \text{C}$ , mantener la muestra dentro por un lapso mayor a 16 horas.
- 9) Retirar del horno y dejar enfriar dentro del desecador hasta enfriar la muestra a temperatura ambiente.
- 10) Verter la muestra sobre la malla superior del juego de mallas de arena y colocar la tapa para evitar la pérdida de partículas.
- 11) Colocar el juego de mallas de arena en la maquina agitadora y programarla para funcionar durante 5 minutos.
- 12) Retirar la tapa y separar la malla superior, esta se debe agitar sobre una charola durante un minuto o hasta que el material que pasa no sea mayor a un gramo. El material que pasa es depositado en la malla se encontraba debajo en el juego.
- 13) El procedimiento se debe repetir de la misma manera con cada una de las mallas.
- 14) Cada una de las mallas debe ser cepillada por el reverso para devolver las partículas atoradas al material retenido.
- 15) Obtener la masa del material retenido en cada una de las mallas de arena y registrarla como  $W_i$ , en gramos. El subíndice  $i$  represente a la designación de la malla.

### Cálculos y resultados

Mediante el procedimiento estándar para el análisis granulométrico los cálculos a realizar son los siguientes:

*Calculo para determinar la masa de material seco de la muestra*

$$W_d = W_{d1} + W_{d2}$$

Donde:

$W_d$  = Masa del material seco de la muestra, (g)

$W_{d1}$  = Masa de la fracción de material retenida en la malla No. 4, (g)

El contenido de agua puede ser despreciado.

$W_{d2}$  = Masa de la fracción de material seco que pasa la malla No.4, (g)

Se determina con la siguiente expresión:

$$W_{d2} = \frac{W_{m2}}{1 + \omega_m}$$

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



$W_{m2}$  = Masa de la fracción de material que pasa por la malla No. 4, (g)

$\omega_m$  = Contenido de agua del material que paso la malla No. 4, (en decimales)

*Calculo de material retenido parcialmente en cada una de las mallas con relación a la muestra seca, de la fracción de material retenido en la malla No. 4*

$$R_i (\%) = \frac{W_i}{W_d} \times 100$$

Donde:

$R_i (\%)$  = Retenido parcial en la malla  $i$  con relación a la muestra original.

$W_i$  = Masa del material retenido en la malla  $i$ , en gramos.

$i$  = Designación de la malla utilizada

$W_d$  = Masa del material seco de la muestra, en gramos.

*Calculo de material retenido parcialmente en cada una de las mallas con relación a la muestra seca, de la fracción de material que pasó la malla No. 4*

$$R_i (\%) = \left( \frac{W_{d2}}{W_d} \times 100 \right) \frac{W_i}{W_{d3}} = \left( \frac{W_{d2}}{W_d} \frac{W_i}{W_{d3}} \right) \times 100$$

Donde:

$R_i (\%)$  = Retenido parcial en la malla  $i$  con relación a la muestra original.

$W_d$  = Masa del material seco de la muestra, (g)

$W_{d2}$  = Masa del material seco de la fracción que pasa la malla No. 4, (g)

$W_{d3}$  = Masa del material seco de la muestra, (g)

$$W_{d3} = \frac{W_{m3}}{1 + \omega_m}$$

$W_{m3}$  = Masa de la fracción de material que pasa por la malla No. 4, (g)

$\omega_m$  = Contenido de agua del material que paso la malla No. 4, (en decimales)

$W_i$  = Masa del material retenido en la malla  $i$ , (g)

$i$  = Designación de la malla utilizada

*Calculo del fino que pasó la malla No. 200 con relación a la muestra seca, de la fracción de material que pasó la malla No. 4*

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	





$$\%F = \left( \frac{W_{d2}}{W_d} \times 100 \right) \times \left( 1 - \frac{\sum W_i}{W_{d3}} \right)$$

Donde:

- $\%F$  = Contenido de finos con relación a la muestra seca (en decimales)  
 $\sum W_i$  = Sumatoria de las masas de los materiales retenidos en las mallas  
 $W_d$  = Masa del material seco de la muestra, (g)  
 $W_{d2}$  = Masa del material seco de la fracción que pasa la malla No. 4, (g)  
 $W_{d3}$  = Masa del material seco de la muestra, (g)

#### *Calculo de la cantidad de material que pasa por cada malla*

Al total de la muestra representativa se le resta el material retenido parcial correspondiente a la malla de mayor tamaño empleado.

$$P_3(\%) = 100 - W_{3''}(\%)$$

Donde:

- $P_{3''}(\%)$  = Material que pasa a través de la malla 3'', con relación a la muestra original (%)  
 $W_{3''}(\%)$  = Material retenido en la malla 3'' con relación a la muestra original

Al valor antes obtenido se le resta el material retenido parcial en las mallas subsecuentes, hasta llegar a la No. 200. Se calcula con la siguiente expresión:

$$P_i(\%) = P_{i+1}(\%) - W_i(\%)$$

Donde:

- $P_i(\%)$  = Material que pasa a través de la malla i, con relación a la muestra original (%)  
 $P_{i+1}(\%)$  = Material que pasa a través de la malla inmediata superior  
 $W_{3''}(\%)$  = Material retenido parcial en la malla i con relación a la muestra original (%)  
 $i$  = Designación para la malla utilizada

Con los datos obtenidos se dibuja sobre un sistema de ejes coordenados la curva granulométrica del material, marcando las aberturas nominales de las mallas, en escala logarítmica sobre el eje de las abscisas y los porcentajes de material que pasa cada malla, sobre el eje de las ordenadas.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



### *Calculo de los contenidos de grava y arena*

$$\%G = P_{3''}(\%) - P_4(\%)$$

$$\%S = P_4(\%) - \%F(\%)$$

Donde:

$\%G$  = Contenido de grava con relación a la muestra seca, (%)

$P_{3''}(\%)$  = Material que pasa a través de la malla 3", con relación a la muestra original, (%)

$P_4(\%)$  = Material que pasa a través de la malla No. 4, con relación a la muestra original, (%)

$\%S$  = Contenido de arena con relación a la muestra seca, (%)

$\%F$  = Contenido de finos con relación a la muestra seca, (%)

### *Determinación de los coeficientes de curvatura y uniformidad*

Estos coeficientes se utilizan para juzgar la graduación del material. Se determinan mediante la siguiente expresión:

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

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

Donde:

$C_u$  = Coeficiente de uniformidad del material, (adimensional)

$C_c$  = Coeficiente de curvatura del material, (adimensional)

$D_{10}$  = Tamaño de las partículas para el cual el 10% del material es menor que este tamaño, determinado en la curva granulométrica, (mm)

$D_{30}$  = Tamaño de las partículas para el cual el 30% del material es menor que este tamaño, determinado en la curva granulométrica, (mm)

$D_{60}$  = Tamaño de las partículas para el cual el 60% del material es menor que este tamaño, determinado en la curva granulométrica, (mm)

### *Acciones preventivas*

- El paso de las partículas por las aberturas de las mallas debe de realizarse libremente y sin ser forzado.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- b) La prueba debe ser realizada en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire que pudieran provocar pérdidas de partículas de las muestras.
- c) Verificar que el equipo este perfectamente limpio y funcional y que las mallas no tengan indicios de falla.
- d) Que las mallas estén perfectamente secas al momento de efectuar su cribado.
- e) Verificar que la balanza este bien calibrada y limpia, colocada en una superficie horizontal, sin vibraciones.
- f) Evitar a toda costa la pérdida de partículas al momento de ser manipuladas las cribas y los materiales. Sobretudo evitar las partículas atoradas en la trama de las mallas.

### Referencias con normas y manuales

Muestreo de materiales para terracerías .....	M-MMP-1-01-03
Materiales para terraplén .....	N-CTM-1-01
Materiales para subyacente .....	N-CTM-1-02
Materiales para subrasante .....	N-CTM-1-03
Secado, disgregado y cuarteo de muestras .....	M-MMP-1-03
Contenido de agua .....	M-MMP-04
Granulometría de materiales compactables para terracerías .....	M-MMP-06
Clasificación de fragmentos de roca y suelos .....	M-MMP-1-02

## PERMEABILIDAD

### Objetivo

Determinar el coeficiente de permeabilidad  $k$  mediante el uso de un permeámetro de carga constante para un suelo granular y un permeámetro de carga variable para suelos con gran contenido de finos.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



## Equipo y materiales

- Agua destilada
- Permeámetro de cabeza constante, con las siguientes características:
  - Un cilindro de aproximadamente, 100 mm. de diámetro y 300 mm. de longitud, provisto de una base y una tapa, ambas de latón, que están unidas por varillas verticales.
  - Un dispositivo regulador conectado a la base y otra conexión a través de la tapa, que va hasta un frasco medidor.
  - El cilindro se une mediante dos conexiones a tubos manométricos.
- Cronómetro
- Termómetro
- Cilindro graduado o frasco de medida
- Regla
- Balanza de sensibilidad 0.1 gramos
- Recipiente de humedad

## Procedimiento de la prueba

### *Trabajos previos*

1. Obtener el material de la muestra mediante el procedimiento de obtención de muestras inalteradas.

### *Procedimiento para la prueba con el permeámetro de carga constante*

- 1) Obtener el peso del permeámetro vacío sin la tapa superior ni la tapa inferior.
- 2) Pesar el recipiente de humedad.
- 3) Tomar una muestra del suelo con la cual se va a trabajar y obtener su peso y el del recipiente.
- 4) Introducir la muestra en el horno durante 24 horas.
- 5) Sacar la muestra y pesarla, con los datos obtenidos se calcula la humedad inicial de la muestra.
- 6) Retirar la tapa superior del permeámetro y colocar en el fondo una piedra porosa que tendrá la función de filtro.
- 7) Colocar la muestra dentro del cilindro interior del permeámetro.
- 8) Colocar el filtro superior, es decir que la muestra debe quedar entre dos filtros el superior y el inferior.
- 9) Colocar la tapa superior del permeámetro.
- 10) Revisar que la válvula de entrada esté completamente cerrada.
- 11) Determinar el volumen de suelo introducido, anotando la altura alcanzada por la muestra en el interior del cilindro y el diámetro interior del cilindro.
- 12) Introducir el conducto de entrada de agua destilada en el grifo e inmediatamente después abrirlo hasta que el agua del depósito superior alcance el tubo de desagüe.
- 13) Una vez se haya alcanzado dicho nivel, el grifo se mantendrá abierto para que el

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- nivel del depósito permanezca constante a lo largo de todo el ensayo.
- 14) Durante este proceso la válvula de entrada del permeámetro debe permanecer cerrada.
  - 15) Realizar la anotación de la altura entre el nivel superior de agua del depósito y el filtro superior del permeámetro.
  - 16) Abrir lentamente la válvula inferior del permeámetro, asegurando que la válvula de salida del permeámetro se encuentra abierta, de manera que el agua pueda entrar a través de la muestra de suelo saturándola con una cantidad mínima de aire atrapado.
  - 17) Permitir que el agua fluya durante un cierto tiempo para estabilizar la condición de flujo a través de la muestra. La estabilización del flujo se conseguirá cuando comience a salir agua por la parte superior del permeámetro.
  - 18) Cerrar la válvula de entrada y salida.
  - 19) Colocar un recipiente de 1000 ml, aproximadamente, para recibir el agua a la salida del permeámetro.
  - 20) Abrir las válvulas de entrada y las de salida del permeámetro.
  - 21) Realizar un registro del tiempo necesario para almacenar en dicho recipiente entre 750 y 900 ml de agua.
  - 22) Anotar la temperatura del agua
  - 23) Repetir dos o tres veces el procedimiento utilizando ahora un tiempo constante. Se debe observar que la cantidad de agua recogida en ensayos sucesivos es decreciente.
  - 24) Después de realizarse varias mediciones se debe abrir el permeámetro por la parte superior, eliminando toda el agua sobrante.
  - 25) Dar la vuelta al permeámetro con extremo cuidado y desarmar la parte inferior sin que se produzca pérdida de suelo y quitar toda el agua que se haya quedado en el filtro inferior. Si el suelo ensayado es un material granular, por ejemplo gravas, no se realizará el cálculo de la humedad ni de la densidad de la muestra.
  - 26) Pesar la parte central del permeámetro con el suelo y anotar los datos para calcular la densidad seca de la muestra.

### Cálculos y resultados

Calcular el valor de  $k$  para la temperatura del ensayo  $k_T$  y el valor de  $k$  para la temperatura de referencia  $k_{20}$  (con  $t =$  constante,  $T$  debería ser constante si el montaje es estable, de forma que es posible promediar  $Q$  y calcular un valor único para cada ensayo y los correspondientes valores de  $k_{20}$ ). Colocar en la tabla el promedio de los valores obtenidos para  $k_{20}$ .

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

Mediante la Tabla de Corrección de Viscosidad para  $k_T / k_{20}$  se puede obtener la relación de viscosidades  $k_T / k_{20}$  mediante la temperatura de ensayo. Por lo tanto para conocer  $k_{20}$  se sustituirá la relación anteriormente calculada y el valor de  $k_T$  que

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



teníamos del paso anterior en la siguiente expresión.

$$k_{20} = \frac{k_T \times \eta_T}{\eta_{20}}$$

Una vez conocidos los coeficientes de permeabilidad para cada uno de los experimentos, rellenar la tabla y calcular los valores promedios para ambos coeficientes de permeabilidad.

Calcular la velocidad de filtración del agua a través de la muestra mediante la siguiente expresión, siempre utilizando los valores promedio:

$$v = k_T \times i = k_T \times \frac{h}{L}$$

Obtener cual es la descarga de agua que se produce en el frasco de medida en la unidad de tiempo.

$$q = \frac{Q}{t} = \text{área} \times \text{velocidad}$$

#### *Procedimiento para la prueba con el permeámetro de carga variable*

- 1) Obtener la masa del permeámetro vacío sin la tapa superior ni inferior.
- 2) Tarar un recipiente de humedad. Tomar una muestra del suelo que se va a ensayar, anotar su peso más el del recipiente.
- 3) Introducir la muestra en el horno durante 24 horas.
- 4) Sacar la muestra y pesarla.
- 5) Con estos datos calcular la humedad inicial de la muestra.
- 6) Retirar la tapa superior del permeámetro y colocar un filtro de papel secante en el fondo. Colocar la muestra de suelo dentro del cilindro interior del permeámetro, deberá quedar colocada entre dos filtros, el superior y el inferior.
- 7) Colocar de nuevo la tapa superior del permeámetro, asegurarse de que la válvula de entrada está completamente cerrada.
- 8) Determinar el volumen de suelo introducido, anotando la altura alcanzada por la muestra en el interior del cilindro y el diámetro interior del cilindro.
- 9) Introducir el conducto de entrada de agua destilada en el grifo.
- 10) Abrir el grifo hasta que el nivel de agua en el depósito superior alcance el tubo de desagüe. La válvula de entrada del permeámetro debe permanecer cerrada.
- 11) Abrir la válvula inferior del permeámetro muy lentamente, la válvula de salida del permeámetro debe estar abierta, de manera que el agua entre a través de la muestra de suelo saturándola con una cantidad mínima de aire.
- 12) Cuando comience a fluir el agua a través de la muestra se deberán abrir las llaves de paso de los tubos manométricos que están conectados en la pared lateral del permeámetro. La apertura de estas llaves debe permitir el paso del agua a los tubos manométricos con los cuales se medirá la pérdida de carga en

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	

los controles que se lleven a cabo.

- 13) Estabilizar la condición de flujo, permitiendo que el agua fluya durante un cierto tiempo a través de la muestra. La estabilización del flujo se conseguirá cuando comience a salir agua por la parte superior del permeámetro.
- 14) Cerrar la válvula de entrada y salida.
- 15) Tomar uno de los tubos manométricos y llenarlo de agua hasta una altura considerable, mediante su tubería de entrada, siempre manteniendo cerrada la válvula de salida del mismo. Una vez conseguida la altura deseada, medir la altura hidráulica a través de la muestra para obtener  $h_1$ .

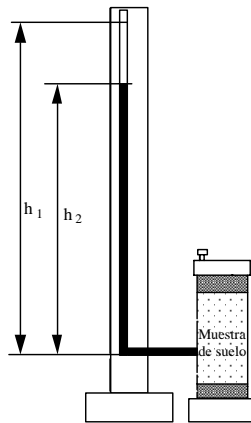


Fig. 8.1 Esquema de las cabezas hidráulicas del permeámetro.

- 16) Iniciar el flujo de agua abriendo la válvula de salida del tubo manométrico y echar a andar simultáneamente el cronómetro.
- 17) Dejar que el agua corra a través de la muestra hasta que el tubo manométrico se encuentre casi vacío. Simultáneamente parar el flujo y registrar el tiempo transcurrido. Obtener la altura  $h_2$ .
- 18) Registrar la temperatura del ensayo.
- 19) Medir el diámetro del tubo manométrico en cm.
- 20) Volver a llenar el tubo manométrico de agua y repetir el ensayo dos o tres veces adicionales.
- 21) Hacer mediciones de temperatura para cada ensayo.
- 22) Después de realizarse varios controles, se abrirá el permeámetro por la parte superior quitando toda el agua sobrante.
- 23) Dar la vuelta al permeámetro con cuidado y desarmar la parte inferior sin que se produzca pérdida de suelo y eliminando el agua que se había quedado en el filtro inferior.
- 24) Pesar la parte central del permeámetro con el suelo y anotar los datos en la siguiente tabla para calcular la densidad seca de la muestra.

### Cálculos y resultados

Calcular el valor de  $k$  para la temperatura del ensayo  $k_T$  y el valor de  $k$  para la temperatura de referencia  $k_{20}$ . Colocar en la tabla el promedio de los valores obtenidos para  $k_{20}$ .

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



$$k_T = \frac{a \times L}{A \times t} \times \ln \frac{h_1}{h_2}$$

siendo  $a$  la sección del tubo manométrico.

Mediante la Tabla de Corrección de Viscosidad para  $k_T / k_{20}$  se puede obtener la relación de viscosidades  $k_T / k_{20}$  mediante la temperatura de ensayo. Por lo tanto para conocer  $k_{20}$  se sustituirá la relación anteriormente calculada y el valor de  $k_T$  que teníamos del paso anterior en la siguiente expresión.

$$k_{20} = \frac{k_T \times \eta_T}{\eta_{20}}$$

Una vez conocidos los coeficientes de permeabilidad para cada uno de los ensayos o controles, rellenar la tabla y calcular los valores promedios para ambos coeficientes de permeabilidad.

Calcular la velocidad de filtración del agua a través de la muestra mediante la siguiente expresión, siempre utilizando los valores promedio:

$$v = k_T \times i = k_T \times \frac{h}{L}$$

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	





*Tabla 8.1 Corrección de Viscosidad para  $k_T / k_{20}$ .*

°C	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
10	1.301	1.297	1.294	1.290	1.286	1.283	1.279	1.275	1.272	1.268
11	1.265	1.261	1.258	1.254	1.251	1.247	1.244	1.240	1.237	1.233
12	1.230	1.226	1.223	1.220	1.216	1.213	1.210	1.206	1.203	1.200
13	1.196	1.193	1.190	1.187	1.184	1.181	1.177	1.174	1.171	1.168
14	1.165	1.162	1.159	1.156	1.152	1.149	1.146	1.143	1.140	1.137
15	1.134	1.131	1.128	1.126	1.123	1.120	1.117	1.114	1.111	1.108
16	1.105	1.102	1.099	1.097	1.094	1.091	1.088	1.085	1.080	1.080
17	1.077	1.074	1.072	1.069	1.066	1.064	1.061	1.058	1.056	1.053
18	1.050	1.048	1.045	1.042	1.040	1.037	1.035	1.032	1.030	1.027
19	1.024	1.022	1.019	1.017	1.014	1.012	1.009	1.007	1.005	1.002
20	1.000	0.997	0.995	0.992	0.990	0.988	0.985	0.983	0.980	0.978
21	0.976	0.973	0.971	0.969	0.966	0.964	0.962	0.960	0.957	0.954
22	0.953	0.950	0.948	0.946	0.944	0.942	0.939	0.937	0.935	0.933
23	0.931	0.929	0.926	0.924	0.922	0.920	0.918	0.916	0.914	0.911
24	0.909	0.907	0.905	0.903	0.901	0.899	0.897	0.895	0.893	0.891
25	0.889	0.887	0.885	0.883	0.881	0.879	0.877	0.875	0.873	0.871
26	0.869	0.867	0.865	0.863	0.861	0.859	0.857	0.856	0.854	0.852
27	0.850	0.848	0.846	0.844	0.842	0.841	0.839	0.837	0.835	0.833
28	0.831	0.830	0.828	0.826	0.824	0.822	0.281	0.819	0.800	0.798
29	0.813	0.812	0.810	0.808	0.807	0.805	0.803	0.801	0.800	0.798
30	0.796	0.795	0.793	0.791	0.790	0.788	0.786	0.785	0.783	0.781
31	0.780	0.778	0.776	0.775	0.773	0.772	0.770	0.768	0.767	0.765
32	0.764	0.762	0.761	0.759	0.757	0.756	0.754	0.753	0.751	0.750
33	0.748	0.747	0.745	0.744	0.742	0.741	0.739	0.738	0.736	0.734
34	0.733	0.732	0.730	0.729	0.727	0.726	0.724	0.723	0.721	0.720
35	0.718	0.717	0.716	0.714	0.713	0.712	0.710	0.709	0.707	0.706

### Referencias con normas y manuales

Muestreo de materiales para terracerías .....	M-MMP-1-01-03
Secado, disgregado y cuarteo de muestras .....	M-MMP-1-03
Contenido de agua .....	M-MMP-04

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



## CONTENIDO DE AGUA

### Objetivo

Esta prueba permite determinar el contenido de agua del material para terracerías, con el propósito de obtener una idea cualitativa de su comportamiento y de su consistencia.

### Equipo y materiales

- Balanza 100 g con aproximación de 0.01 g
- Balanza 1000 g con aproximación de 0.1 g
- Horno  $105 \pm 5^\circ \text{C}$
- Recipiente resistente a altas temperaturas y a la corrosión con tapa
- Desecador de cristal con cloruro de calcio anhidro como elemento desecador

### Procedimiento de prueba

#### *Trabajos previos*

1. Encender el horno a una temperatura de  $105 \pm 5^\circ \text{C}$ , con la finalidad de que cuando se meta la muestra ya se haya alcanzado la temperatura deseada.

#### *Procedimiento*

- 1) Obtener la masa del recipiente y la tapa en el que se contendrá la muestra. Debe encontrarse limpio y seco. Este valor se registra como  $W_t$ , en gramos.
- 2) Colocar en el recipiente una porción de la muestra húmeda, se tapa e inmediatamente después, determinar la masa. Se anota la masa obtenida como  $W_1$ , en gramos.
- 3) Retirar la tapa del recipiente e introducir la muestra en el horno.
- 4) Mantener la muestra en el horno a una temperatura constante de  $105 \pm 5^\circ \text{C}$ , en un lapso aproximado de 16 horas que es cuando se obtiene una masa constante. En caso de que la muestra contenga material orgánico o minerales como el yeso, la temperatura no deberá ser mayor de  $60^\circ \text{C}$ .
- 5) Retirar la muestra del horno con precaución, taparlo y colocarlo en el desecador.
- 6) Dejar que la muestra enfrié hasta la temperatura ambiente aproximadamente.
- 7) Obtener la masa de la muestra en el recipiente original con su tapa y registrarla como  $W_2$ , en gramos.

### Cálculos y resultados

El cálculo para obtener el contenido de humedad en una muestra se obtiene mediante la siguiente expresión:

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



$$\omega = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

$\omega$  = Contenido de agua

$W_1$  = Masa de la muestra húmeda mas la masa del recipiente y su tapa (g)

$W_2$  = Masa de la muestra seca as la masa del recipiente y su tapa (g)

$W_t$  = Masa del recipiente y su tapa (g)

$W_w$  = Masa del agua (g)

$W_s$  = Masa de los sólidos (g)

#### *Acciones preventivas*

- La prueba debe ser realizada en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire que pudieran provocar perdidas de partículas de las muestras.
- Verificar que el equipo este perfectamente limpio y funcional.
- Verificar que la balanza este bien calibrada y limpia, colocada en una superficie horizontal, sin vibraciones.

#### **Referencias con normas y manuales**

Contenido de agua .....	M-MMP-1-04-03
Muestreo de materiales para terracerías .....	M-MMP-1-01-03
Materiales para terraplén .....	N-CTM-1-01
Materiales para subyacente .....	N-CTM-1-02
Materiales para subrasante .....	N-CTM-1-03

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



## CONSOLIDACION

### Objetivo

Determinar la deformación que sufre un suelo bajo la acción de una carga que no se presenta inmediatamente después de la aplicación del esfuerzo.

### Equipo y materiales

- Consolidómetro completo: anillo, base para piedra porosa, cabezal, balín, piedra porosa y micrómetro
- Banco de consolidación
- Cuchillo
- Espátula
- Cronometro
- Horno
- Balanza
- 2 Placas de vidrio de 15 x 15 cm

### Procedimiento de prueba

#### *Trabajos previos*

1. Obtener una muestra inalterada
2. Labrar una muestra a partir de la inalterada hasta que alcance un diámetro igual al anillo metálico
3. Colocar piedras porosas tanto en la base como en la parte superior de muestra y colocar el anillo metálico
4. Ubique el balín sobre la tapa de muestra, centrando el brazo de aplicación de carga

#### *Procedimiento*

- 1) Saturar el material, de forma que quede inundado completamente el anillo.
- 2) Poner en cero el micrómetro e iniciar el conteo del tiempo con el cronómetro.
- 3) Si la manecilla del micrómetro no se mueve después de 10 minutos, se debe colocar cuidadosamente el primer incremento de carga.
- 4) Calcular la carga en base a lo siguiente:

$$p = \gamma \times z$$

Donde:

- $p$  = presión efectiva.  
 $\gamma$  = masa volumétrica del material.  
 $z$  = profundidad del muestreo.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- 5) Cada incremento de carga se debe anotar simultáneamente con las lecturas del micrómetro y el tiempo transcurrido desde que se colocó la carga ( $t = 0$ ).
- 6) Dos personas deben tomar las lecturas del micrómetro para tiempos de 0, 5, 15, 30, 60 seg. ; 1 2, 4 y 8 min. ; 1, 2, 3, 4... 8 horas, y una tercera persona debe realizar el registro.
- 7) Realizar una gráfica de consolidación, en la que se hace la relación micrómetro-tiempo. La decisión de poner otro incremento de carga depende del análisis de la gráfica, cuando se observe que la consolidación primaria ha concluido.
- 8) Aplicar el siguiente incremento de carga que sumado al precedente, origina nueva presión sobre la pastilla.
- 9) Realizar la anotación de los datos correspondientes a esta etapa tal como se indico anteriormente.
- 10) Incrementar la presión sobre la pastilla hasta llegar a obtener una presión sobre la muestra similar a la del problema por resolver. La obra impone un incremento de presión sobre el suelo que debe tomarse en cuenta.
- 11) La descarga se efectúa en forma inversa al de la carga, o sea que la carga máxima aplicada se reduce a la mitad y así sucesivamente hasta obtener una presión nula sobre la pastilla.
- 12) Una persona debe encargarse de quitar la carga del dispositivo, mientras otro pone en marcha el cronómetro y principia a tomar lecturas simultáneas para tiempo y recuperación hasta definir la curva.
- 13) Una vez realizadas todas las determinaciones se procede a desmontar la pastilla, se debe remover el micrómetro, la placa con puente y el balín, hasta finalmente sacar del banco de consolidación.
- 14) Secar el anillo de bronce y pesarlo junto con la muestra húmeda.
- 15) Anotar el valor del peso de la probeta y el anillo después de la consolidación.
- 16) Introducir en el horno la muestra a una temperatura de 110 °C durante 18 horas mínimo, para secado.

#### *Acciones preventivas*

- a) Las cargas deben ser colocadas cuidadosamente para no provocar impacto y se afecten las mediciones.
- b) Es muy recomendable que sean tres personas quienes realicen los registros para evitar perdidas de lectura.

#### **Referencias con normas y manuales**

Mecánica de Suelos I y II  
Juárez Badillo  
Noriega Limusa

Bowles J. E.  
Physical and geotechnical propieties of soils.  
Mc Graw Hill Book Co.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



Investigación de suelos

Jones E, Joseph.

UNAM

1965

Soils Mechanics Laboratory Manual

Das, Braja M.

Eng. Press Inc

Principles of Geotechnical engineering

Das, Braja M.

Second edition PWS KENT Publishers

## **PRUEBA TRIAXIAL**

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



## Objetivo

Obtención de la capacidad de carga de un suelo

## Equipo y materiales

- Enrasador
- Torno de labrado
- Cortador de arco
- Cuchilla
- Vernier
- Capsula
- Horno  $105 \pm 5^\circ \text{C}$
- Cámara triaxial
- Marco de deformación controlada
- Agua destilada
- Membranas de látex
- Aros de hule (o rings)
- Piedras porosas
- Plantilla de rasurado
- Papel filtro en forma circular de 3.6 cm de diámetro
- Papel filtro de 9.5 x 11.5 cm
- Franela
- Tijeras
- Matraz
- Molde partido
- Bomba de vacío
- Equipo de baño maría
- Charola

## Procedimiento de prueba

### *Trabajos previos*

1. Preparación de la probeta y programación de la prueba
  - 1) Depositar la muestra en una charola.
  - 2) Colocar la charola dentro del horno a  $105^\circ \text{C}$  durante 18 horas para secar la muestra.
  - 3) Obtener la relación de vacíos máxima, mínima y natural y obtener la densidad relativa del material.
  - 4) Calcular el peso necesario para formar la probeta en la cámara triaxial.
  - 5) Formar la probeta con el procedimiento húmedo
  - 6) Accionar la bomba de vacío el tiempo necesario hasta observar que no salgan burbujas de aire del sistema.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- 7) Determinar el esfuerzo confinante utilizando el concepto del esfuerzo octaédrico.

$$\sigma_c = \frac{1+2K_0}{3} \sigma_v, K_0 = \text{Coeficiente de empuje de tierras en reposo}$$

- 8) Estimar el ángulo de fricción por medio de tablas y obtener el esfuerzo desviador a la falla.

$$K_0 = \frac{1 + \text{sen}\phi'}{1 - \text{sen}\phi'}; \sigma_1 = K_0 \sigma_3$$

#### *Procedimiento de saturación del equipo prueba*

- 1) Limpiar la cámara y todas las líneas del equipo.
- 2) Revisar que todas las válvulas estén cerradas y que no exista ninguna presión o vacío en el sistema.
- 3) Llenar el depósito de agua destilada y desaireada, este se encuentra ubicado en la parte superior del tablero de contrapresión.
- 4) Girar la válvula que se localiza en la parte inferior izquierda del equipo para que el agua por gravedad, empiece a circular por las mangueras hasta llegar al conjunto de válvulas.
- 5) Abrir la válvula que se encuentra sobre la válvula anterior para que el agua llegue al depósito de circulación, verificando que la válvula F se encuentre abierta hacia la atmósfera (vacío), una vez lleno el depósito se cierra la válvula.
- 6) Abrir la válvula que se localiza al centro en la parte superior del equipo a la atmósfera y la válvula que se encuentra en el centro inferior del equipo y la válvula que se localiza del lado derecho sobre la válvula antes descrita para que el agua llegue a la bureta hasta llenarla.
- 7) Cerrar las últimas dos válvulas.
- 8) Con los pasos anteriores, cierta cantidad de aire queda atrapado en el sistema donde esta ubicada la válvula inferior derecha, abrir la válvula para eliminarlo y cerrarla una vez que el aire ha salido.
- 9) Colocar una membrana corta de látex, con una altura de 2 cm en la base de la cámara, asegurándola con un o'ring.
- 10) Con el regulador ubicado debajo del manómetro incrementar la presión a un valor 2 kg/cm<sup>2</sup> para circular el agua hacia los drenes.
- 11) Dirigir la válvula ubicada en la parte superior izquierda hacia la contrapresión y abrir las dos válvulas localizadas antes de las tres válvulas inferiores para que el agua circule hacia el dren inferior.
- 12) Ya que salió cierta cantidad de agua, cerrar las dos válvulas,
- 13) Girar la válvula superior izquierda a posición neutral, con esto se conecta el sistema de vacío y se aplica esta al depósito de circulación,
- 14) Las dos válvulas localizadas sobre las tres válvulas inferiores se abren para que cambie el sentido de la circulación del agua. Este ciclo se repite en varias ocasiones con el fin de eliminar el aire dentro de este conducto.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	





- 15) Para saturar el dren superior, los pasos a seguir son iguales que en el dren inferior, corrigiendo algunas válvulas para eliminar el aire atrapado.
- 16) Aplicar presión entre el depósito de circulación y la bureta, girar la válvula superior izquierda, abrir las tres válvulas ubicadas en el centro inferior hasta casi llenar,
- 17) Cerrar la válvula central inferior
- 18) Liberar la presión del vaso girando al lado contrario la válvula izquierda superior, la válvula del centro superior se gira para que la presión entre a la bureta, se abre la válvula del centro inferior para que el agua circule al lado contrario. Este ciclo se repite varias veces hasta que las burbujas que salen del sistema sean nulas.

#### *Procedimiento de montaje de la probeta y armado del equipo conjunto*

- 1) Limpiar la base de la cámara.
- 2) Tomar la cantidad de material previamente calculado y colocarlo en un matraz de bola con agua destilada y desairearlo.
- 3) Colocar en la base de la cámara triaxial la membrana de látex asegurándola con 2 arosellos.
- 4) Colocar el molde partido envolviendo a la membrana y colocar 2 arosellos en la parte superior del molde.
- 5) Se colocan las barras de soporte y la estrella de sujeción para darle la verticalidad al molde y extremo superior de la membrana se dobla hacia fuera sobre el filo del borde superior del molde.
- 6) Aplicar vacío constante en el pivote del molde para que la membrana se adhiera a este.
- 7) Se coloca en círculo de papel filtro en el dren inferior.
- 8) Verificar que todas las válvulas del sistema de cambios volumétricos y las de la cámara triaxial estén cerradas. El molde se llena con agua desaireada y destilada abriendo las válvulas izquierda inferior y la del dren inferior localizada en la cámara triaxial.
- 9) Una vez lleno se cierran las válvulas anteriores.
- 10) Colocar el material en el molde hasta la marca donde ira el cabezal y buscar la compacidad relativa mediante la aplicación de vibración o golpes laterales en el molde por medio de una pieza de hule.
- 11) Una vez colocado el material en el molde colocar un papel filtro en la parte superior de la probeta antes de colocar el cabezal superior.
- 12) Se coloca el cabezal dentro de la muestra, se deshace el doblez que se le hizo a la membrana y se asegura ésta al cabezal superior.
- 13) Se aplica tensión a la probeta mediante la abertura de la válvula izquierda inferior para después retirar el molde, con esto se logra la verticalidad de la probeta.
- 14) Se retira la estrella de sujeción, las barras de soporte y por ultimo el molde.
- 15) Una vez que se obtiene la probeta, tomar las medidas de los tres diámetros (superior, medio e inferior) y sus respectivas alturas a cada 120°C.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- 16) Colocar la camisa de la cámara (lucita, tapa de la cámara, vástago y tornillos), el vástago se introduce en la cámara y se atornilla al cabezal al igual que se ajustan los tornillos a la base inferior.
- 17) Se introduce agua a la cámara que se llene en su totalidad y el vaso hasta la mitad de altura de la probeta, esto se logra de la siguiente manera: con todas las válvulas cerradas, en el tablero lateral se acciona el regulador hasta obtener 2 Kg/cm<sup>2</sup> de presión.

La válvula A1 se abre en dirección del tanque y la presión entra a este.

- Se abren las válvulas C1 y B1 para llenar el vaso hasta la mitad de la probeta, después se cierra la válvula B1.
- Se gira la válvula A1 hasta cerrarla, se baja la presión y se gira hacia la indicación de la cámara triaxial.
- La válvula 3 se abre para llenar la cámara, una vez logrado esto se cierra esa válvula y se coloca el pivote en la parte superior de la cámara.
- Se cierra la válvula 3 y se abre la válvula del tanque a la atmósfera

( r ) se aplica un esfuerzo confinante de 0.1 Kg/cm<sup>2</sup> para sostener la probeta.

( s ) se cierra la válvula del dren que conecta el vacío del problema.

( t ) rarificar que no existan material en el matraz.

Saturación de la probeta.

Una vez montado el espécimen de suelo saturar. Sea arcilla o arena, se debe circular agua para eliminar el aire atrapado por la muestra y por el procedimiento del montaje. En ambos casos, sea arcilla o arena, se aplica un esfuerzo confinante de 0.25 kg/ cm<sup>2</sup>, para ello se procede de la siguiente manera:

- Con regulador de presión confinante se aplica una presión de 0.25 kg/ cm<sup>2</sup> se gira la válvula A1 hacia la posición de cámara triaxial, se abre la válvula B1 y la válvula 3 para aplicar dicho esfuerzo a la probeta.
- Se aplica una presión de 0.1 kg/ cm<sup>2</sup> al deposito de circulación, se abre la válvula D y la válvula C este cerrada para hacer independientes los drenes.
- Verificar que la válvula C esté cerrada para hacer independientes los drenes.
- Se abren las válvulas en el siguiente orden; 1 y A. Se observa un ligero goteo que es el agua que circula por la muestra.

Para observar el grado de saturación de que la muestra de suelo ha alcanzado a ir circulando el agua, se procede de la siguiente manera.

- Se cierra la válvula 2
- Se incrementa la presión confinante de 0.1 kg/ cm<sup>2</sup> a 0.30 kg/ cm<sup>2</sup> o bien otro valor, según el criterio del operador.
- Se abre la válvula 3 y se mide el cambio de la presión de poro, dato registrado en el procesador de datos el tablero de contrapresión.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- Al conocer  $\Delta\sigma_c$  y  $\Delta v$  se puede medir la B de Skempton como sigue:

Donde:

$\Delta u =$  Incremento en la presión de poro.

$\Delta\sigma =$  Incremento de esfuerzo.

- El valor optimo de B de deberá ser 0.97 a 1.0
- Una vez logrado lo anterior se procede a consolidar la probeta.

#### *Procedimiento de consolidación*

Una vez saturada la muestra se procede a consolidarla isotropica o anisotropica, según la investigación que se desee desarrollar. Para lograr lo anterior aplica un confinante, una vez aplicados los esfuerzos deseados se abre el drenaje para que la muestra de suelo pueda consolidarse.

El fluido desalojado de la muestra será únicamente agua, midiendo este volumen en la bureta se puede cuantificar el cambio volumétrico debido a consolidación, y a la deformación axial con ayuda del micrómetro.

- Una vez que se ha saturado la probeta y teniendo todas las válvulas cerradas se aplica el confinamiento efectivo deseado bajo el cual el suelo se va a consolidar.
- Se cierran las válvulas B, C y D.
- Se cierran las válvulas 1, 2 y 3.
- Con el regulador uno se obtiene el incremento de presión necesario para alcanzar el esfuerzo confinante de consolidación, este incremento se verifica en el traductor de presión y/o columna de mercurio.
- Aplicar este incremento a la probeta abriendo la válvula 3 y tener el último registro de la B de Skempton.
- Registrar el incremento en la presión de poro y calcular B.
- Abrir válvulas 1, 2 y 3.
- Se toman lecturas iniciales de la bureta y micrómetro.
- Con los datos obtenidos anteriormente se pueden graficar en escala semilogarítmica las deformaciones axiales contra el tiempo y las deformaciones volumétricas contra tiempo.
- Se tomaran lecturas del micrómetro y de la bureta a los tiempos acostumbrados para obtener una curva de consolidación.
- A partir de las curvas de consolidación se determina el pasar o no a la etapa de falla.
- En la mayoría de los casos se busca tener el 100% de consolidación primaria.

Etapa desviadora

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- 1) Se deberán de adecuar las válvulas de drenaje de acuerdo a las condiciones de la probeta, drenada o no drenada.
- 2) Se asegura el contacto entre el espécimen y el vástago de la cámara triaxial.
- 3) Se toman lectura inicial del extensómetro y lectura inicial de bureta según el tipo de prueba seleccionada
- 4) Se procede a la carga accionando el motor, arrancando el micrómetro y registrándose las lecturas del micrómetro y el transductor de presión de poro según se el tipo prueba que se este realizando en un tiempo ya programado.

#### Desmontaje del aparato

- 1) Retirar simultáneamente la presión y contrapresión aplicada
- 2) Quitar las pesas de la porta pesas.
- 3) Cerrar la válvula de confinamiento.
- 4) Vaciar la cámara abriendo el tornillo de purga y la válvula de drenaje.
- 5) Retirar el cilindro de lucita que forma la cámara triaxial.
- 6) Retirar la probeta del equipo con cuidado, quitando los arosellos, las membranas y el papel filtro.
- 7) La probeta se coloca dentro de una capsula numerada y previamente tarada, se pesa y se anota en el registro correspondiente obteniendo así el peso húmedo mas tara.
- 8) Limpiar el equipo.
- 9) Secar la probeta en el horno y pesarla (obteniendo peso seco mas tara).
- 10) Anotar en el registro los pesos obtenidos.

#### Referencias con normas y manuales

Muestreo de materiales para terracerías ..... M-MMP-1-01-03

#### EQUIVALENTE DE ARENA

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



## Objetivo

Por medio de esta prueba se logra determinar el contenido y actividad de los materiales finos y arcillosos.

## Equipo y materiales

- Cilindro de prueba de acrílico de 3.15 cm de diámetro y 43 cm de altura
- Tapón de hule
- Tubo irrigador
- Botella con sifón de 4 L de capacidad
- Soporte de posicionamiento
- Manguera de hule
- Pisón de 1kg
- Capsula de 90 ml
- Embuda de boca ancha
- Embudo de vidrio para filtrado
- Malla del No. 4 con bastidor circular de  $206\text{mm} \pm 2\text{mm}$  de diámetro y  $68\text{mm} \pm 2\text{mm}$  de altura.
- Papel filtro Whatman No. 12
- Balanza de 2 kg con aproximación a 0.1 g
- Matraces Erlenmeyer de vidrio y de  $2000\text{ cm}^3$
- Agitador automático o manual
- Guantes de hule
- Agua destilada o potable
- Cloruro de calcio anhídrido
- Glicerina USP
- Formaldehído RA (solución volumétrica al 40%)

## Procedimiento de prueba

### Trabajos previos

1. Preparar la solución de reserva.
  - 1) Disolver 454 g de cloruro de calcio en 1.9 L de agua destilada.
  - 2) Permitir que la solución se enfríe hasta la temperatura ambiente.
  - 3) Pasar la solución por papel filtro.
  - 4) Agregar a la solución 47 g de formaldehído y 2047 g de glicerina, mezclar bien y diluir con agua destilada hasta que la solución alcance los 3.2 L.
2. Preparar la solución de trabajo.
  - 1) Diluir 90 ml de la solución de reserva en 3.8 L de agua destilada.
3. Preparar la muestra
  - 1) Cuartear el material según lo establecido en el procedimiento de *Secado, Disgregado y cuarteo de muestras* de este manual.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- 2) Obtener una muestra de aproximadamente 10 kg.
  - 3) Humedecer ligeramente la muestra para evitar la pérdida de material fino durante el cribado.
  - 4) Cribar el material por la malla No. 4.
  - 5) El material retenido en la malla es desechado.
  - 6) El material que pasa la malla disgregado y cuarteado según lo establecido en el procedimiento de *Secado, Disgregado y cuarteo de muestras* de este manual, hasta reducir a 2 kg la muestra.
  - 7) Llenar la capsula hasta enrasar su superficie.
4. Preparación del equipo
- 1) Colocar la botella con sifón de tal manera que la salida del líquido se encuentre a 92 cm de la superficie de la mesa.
  - 2) Unir la botella mediante la manguera de hule al tubo irrigador.

#### *Procedimiento de prueba*

- 1) Soplar dentro de la botella por la parte superior, para que el sifón quede listo para usarse.
- 2) Por medio del sifón introducir la solución de trabajo al cilindro hasta una altura de 10 cm.
- 3) Vaciar, con ayuda del embudo, al cilindro de prueba la muestra de material contenida en la capsula.
- 4) Golpear varias veces el fondo del cilindro con la palma de la mano para eliminar las burbujas de aire atrapado y ayudar a saturar el material.
- 5) Dejar reposar la muestra durante 10 minutos.
- 6) Colocar un tapón sobre el cilindro de prueba.
- 7) Agitar el cilindro de forma manual:
  1. Colocar el cilindro en posición horizontal y agitarlo vigorosamente de un lado a otro en sentido longitudinal durante 90 ciclos en un tiempo de 30 segundos.
- 7) Agitar el cilindro de forma automática:
  1. Colocar el cilindro sobre el equipo y hacerlo trabajar durante 90 ciclos.
- 8) Después de la agitación, colocar el cilindro sobre la mesa y remover el tapón.
- 9) Inmediatamente después insertar el tubo irrigador y lavar las paredes del cilindro de arriba abajo hasta concluir en el fondo. Girar el cilindro conforme avanza el tubo para hacer la irrigación uniforme.
- 10) Cuando el nivel del líquido llegue a 38.1 cm del cilindro extraer lentamente el tubo irrigador sin cortar el flujo de solución. El nivel después de extraer el tubo debe ser de 38.1 cm.
- 11) Dejar reposar el cilindro durante 20 minutos. Evitar cualquier movimiento o vibración.
- 12) Medir y registrar como  $LNS_{finos}$  el nivel superior de finos en suspensión.
- 13) Introducir lentamente la varilla con pistón dentro del cilindro hasta que el pistón descansa en la arena.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- 14) Al nivel registrado en el indicador de la varilla del pistón se le resta la altura del pistón al indicador de la varilla y se registra como el nivel superior de la arena  $LNS_{arena}$ .
- 15) Limpiar el cilindro, tapándolo y agitándolo en posición vertical.
- 16) Voltarlo y destaparlo hasta que se vacié totalmente.
- 17) Lavarlo con agua hasta eliminar cualquier residuo de material.

### Cálculos y resultados

#### *Determinación del equivalente de arena*

$$\%EA = \frac{LNS_{arena}}{LNS_{finos}} \times 100$$

Donde:

- $\%EA$  = Equivalente de arena (%)  
 $LNS_{arena}$  = Nivel superior de arena (cm)  
 $LNS_{finos}$  = Nivel superior de finos (cm)

#### *Acciones preventivas*

- a) La prueba debe ser realizada en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire que pudieran provocar pérdidas de partículas de las muestras o contaminarlas.
- b) Verificar que el equipo este perfectamente limpio y funcional. En especial el cilindro debe estar perfectamente limpio y sin residuos de material.
- c) Verificar que los reactivos cuenten con las características mencionadas
- d) Cuidar que los tiempos de reposo, los ciclos de agitación y la carrera de los mismos correspondan a lo indicado en este manual.
- e) Evitar realizar movimientos bruscos y vibraciones con el cilindro.

### Referencias con normas y manuales

Materiales pétreos para mezclas asfálticas .....	N-CTM-4-04
Muestreo de materiales pétreos para mezclas asfálticas .....	M-MMP-4-04-001
equivalente de arena de materiales pétreos para mezclas asfálticas .....	M-MMP-4-04-004
Secado, disgregado y cuarteo de muestras .....	M-MMP-1-03

### COMPACTACION AASHTO

#### Objetivo

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



La prueba AASHTO permite determinar mediante la curva de compactación de los materiales para terracerías, el contenido de agua óptimo y la masa volumétrica seca máxima.

### Equipo y materiales

- Moldes metálicos
  - Extensión o collarín  $152.4 \pm 0.7$  mm diámetro int., 60.3 mm de altura
  - Molde  $152.4 \pm 0.7$  mm diámetro int.,  $116.4 \pm 0.1$  mm de altura
  - Placa 9.5 mm de espesor, 203.2 x 203.2 mm
- Pisón de 50.8 mm de diámetro
- Guía de 55 mm de diámetro
- Regla metálica de 25 cm
- Balanza 15 kg con aproximación de 5 g
- Balanza 2 kg con aproximación de 0.1 g
- Horno  $105 \pm 5^\circ$  C
- Base cúbica de concreto de 40 x 40 cm
- Probeta de  $500 \text{ cm}^3$  con graduaciones a cada  $10 \text{ cm}^3$
- Probeta de  $1000 \text{ cm}^3$  con graduaciones a cada  $10 \text{ cm}^3$
- Malla del No. 4 y  $\frac{3}{4}$ " con bastidor circular de  $206 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$  de diámetro y  $68 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$  de altura.
- Capsulas metálicas con tapa
- Charolas 40 x 70 x 10 cm
- Cucharón 20 x 11 x 10 cm
- Aceite

### Procedimiento de prueba

#### *Trabajos previos*

1. Seleccionar el material para la prueba apartando aproximadamente 7.5 kg para realizar la prueba modificada, según el procedimiento establecido para realizar el secado, disgregado y cuarteo de muestras.
2. Para realizar la variante A se criba el material a través de la malla No. 4, mientras que para la variante B se criba el material a través de la malla  $\frac{3}{4}$ ". En ambos casos realizar el cribado de forma manual. La fracción retenida es desechada y la que pasa se coloca en una charola.
3. Homogenizar el material de la muestra.
4. Lubricar con aceite las paredes de los moldes.

#### *Procedimiento para la prueba modificada*

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	





- 1) Agregar agua a la porción de la muestra hasta alcanzar un nivel 4 o 6% inferior al óptimo.
- 2) Homogenizar la muestra perfectamente, cuidando que no se formen grumos en el material.
- 3) Dividir la muestra en cinco fracciones aproximadamente iguales.
- 4) Colocar el molde sobre el bloque de concreto para compactar el material.
- 5) Poner la extensión o collarín al molde e inmediatamente después colocar una capa de material, según sea la variante que se este trabajando, dentro del molde.
- 6) Aplicar 56 golpes a la capa de material con el pisón con la finalidad de compactarla, los golpes deben repartir de manera uniforme en toda la superficie y sucesivamente en puntos diametralmente opuestos. La caída del pisón debe realizarse totalmente vertical y la altura de caída libre debe ser de 45.7 cm.
- 7) Colocar otra capa de material y repetir el mismo procedimiento hasta completar 5 capas.
- 8) Remover la extensión del molde y verificar que el material no exceda el molde en un espesor de 1.5 cm, en caso de no exceder el espesor, el material se debe enrasar con una regla metálica. En caso contrario la prueba debe repetirse utilizando una nueva porción de material con una masa ligeramente menor.
- 9) Determinar la masa del molde con el material y registrarlo como  $W_i$ , en gramos.
- 10) Remover el material del cilindro con mucho cuidado y realizar un corte longitudinal. De la parte central se toma una porción de muestra para determinar el contenido de agua del material  $\omega$ , de acuerdo con lo establecido en la prueba de *Contenido de Agua* de este manual.
- 11) Incorporar el material del molde con el resto del material, disgregando los grumos en caso de ser necesario, y agregar un 2% de agua con respecto a la masa inicial del material de prueba.
- 12) Con dicho material se debe realizar el mismo procedimiento del inciso 3 al 11. Este procedimiento se debe de realizar hasta completar 5 determinaciones.

### Cálculos y resultados

Para obtener los resultados del método de compactación AASHTO se deben realizar los siguientes cálculos:

*Determinación de la masa volumétrica del material húmedo de cada espécimen*

$$\gamma_m = \frac{W_i + W_t}{V} \times 1000$$

Donde:

$\gamma_m$  = Masa volumétrica del material húmedo ( $\text{kg/m}^3$ )

$W_i$  = Masa del cilindro con el material húmedo compactado (g)

$W_t$  = Masa del molde (g)

$V$  = Volumen del molde ( $\text{cm}^3$ )

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



### *Determinación de la masa volumétrica del material seco de cada espécimen*

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{100 + \omega} \times 100$$

Donde:

$\gamma_d$  = Masa volumétrica seca del material ( $\text{kg/m}^3$ )

$\gamma_m$  = Masa volumétrica del material húmedo ( $\text{kg/m}^3$ )

$\omega$  = Contenido de agua de la muestra (%)

### *Determinación de la curva de compactación*

Con los datos obtenidos se dibuja sobre un sistema de ejes coordenados una curva de forma parabólica denominada la *curva de compactación* del material, marcando sobre el eje de las abscisas el contenido de agua  $\omega$  de cada uno de los especímenes probados y sobre el eje de las ordenadas las masas volumétricas secas  $\gamma_d$ . Esta curva tiene como propósito determinar las variaciones volumétricas del material mostrando los diferentes contenidos de agua y una misma energía de compactación.

De forma gráfica en la curva de compactación se determina la masa volumétrica máxima seca del material  $\gamma_{d\max}$  y su contenido de agua óptimo  $\omega_o$ , en  $\text{kg/m}^3$  y en % respectivamente.

### *Determinación de la curva de saturación teórica*

Se deben calcular los contenidos de agua para las masas volumétricas secas, con los que el material compacto quedaría saturado, se debe utilizar la siguiente expresión:

$$\omega_{sat} = \left( \frac{\gamma_o}{\gamma_d} - \frac{1}{S_s} \right) \times 100$$

Donde:

$\omega_{sat}$  = Contenido de agua en el que el material estaría saturado, en las condiciones de compactación (%)

$\gamma_d$  = Masa volumétrica seca del material ( $\text{kg/m}^3$ )

$S_s$  = Densidad relativa de los sólidos del material determinada según el tamaño de sus partículas, de acuerdo con lo establecido en la prueba de *Densidades relativas y absorción* de este manual

$\gamma_o$  = Masa volumétrica del agua destilada a 4° C ( $1.000 \text{ kg/m}^3$ )

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



En la misma grafica donde trazo la curva de compactación, se trazan los puntos correspondientes a las masas volumétricas secas y los contenidos de agua para los cuales estaría teóricamente saturado el material, la curva trazada se denomina *curva de saturación teórica*. La curva de compactación no debe rebasar la curva de saturación teórica.

#### *Acciones preventivas*

- f) La prueba debe ser realizada en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire que pudieran provocar perdidas de partículas de las muestras o contaminarlas.
- g) Verificar que el equipo este perfectamente limpio y funcional.
- h) Cuidar que la superficie del pisón se mantenga limpia durante la aplicación de los golpes.
- i) El material debe encontrarse lo suficientemente seco para únicamente poder disgregarlo antes de realizar la prueba.

#### **Referencias con normas y manuales**

Compactación AASHTO .....	M-MMP-1-09-03
Muestreo de materiales para terracerías .....	M-MMP-1-01-03
Materiales para terraplén .....	N-CTM-1-01
Materiales para subyacente .....	N-CTM-1-02
Materiales para subrasante .....	N-CTM-1-03
Secado, disgregado y cuarteo de muestras .....	M-MMP-1-03
Contenido de agua .....	M-MMP-04
Densidades relativas y absorción .....	M-MMP-05
Granulometría de materiales compactables para terracerías .....	M-MMP-06

## **CONO DE ARENA**

### **Objetivo**

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



Esta prueba permite determinar en los materiales para terracerías la relación masa-volumen en diferentes condiciones de acomodo y los coeficientes de variación volumétrica al pasar de un estado a otro.

### Equipo y materiales

- Pico
- Pala
- Barreta
- Cuchillos
- Cincel
- Cuchara de albañil
- Mazo
- Cucharón de acero 20 x 11 x 10 cm
- Cono y frasco para arena, cono de 4l
- Balanza 20 kg con aproximación de 5 g
- Balanza 2 kg con aproximación de 0.1 g
- Recipiente cilíndrico de calibración de 18 cm de diámetro x 10 cm de altura
- Aceite
- Placa de vidrio de 20 x 20 cm
- Charola metálica de 40 x 70 x 10 cm
- Bolsas de plástico
- Arena limpia y seca con tamaños comprendidos en las mallas No. 20 y No. 30

### Procedimiento de prueba

#### *Trabajos previos*

1. Determinar el volumen del recipiente de calibración  $V_r$  mediante el siguiente procedimiento:
  - 1) Pesarse el recipiente totalmente limpio y seco, con una aproximación de 5 gramos, registrarlo como  $W_o$ .
  - 2) Colocar el recipiente en una superficie totalmente horizontal para inmediatamente después verter agua en su interior, evitando la formación de burbujas. Se debe llenar al máximo y verificarlo colocando sobre el borde una placa de vidrio con una fina película de aceite para eliminar el excedente.
  - 3) En caso de que se haya derramado agua, se debe secar perfectamente el recipiente y pesarlo con una aproximación de 5 gramos, registrarlo como  $W_w$ .
  - 4) La diferencia de masas del recipiente lleno y vacío en gramos es considerada matemáticamente igual al volumen  $V$  de recipiente en  $\text{cm}^3$ :

$$W = W_w - W_o = V$$

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- 5) Se debe repetir el procedimiento en tres ocasiones hasta que no exista una diferencia mayor a  $3 \text{ cm}^3$ . El valor del volumen  $V_r$  será el promedio de las tres determinaciones.
2. Determinar la masa necesaria para llenar el cono de arena mediante el siguiente procedimiento:
  - 1) Verter arena limpia dentro del frasco de 4 litros del cono de arena, acoplar el frasco con la válvula y cerrar la misma.
  - 2) Registrar la masa del dispositivo como  $W_{fs1}$ , en gramos.
  - 3) Instalar el cono sobre la placa de base metálica, y colocarla sobre una superficie limpia y totalmente horizontal.
  - 4) Acoplar el frasco con el cono y abrir la válvula del dispositivo permitiendo el flujo de arena hasta que el cono se llene. Inmediatamente después cierre la válvula y retire el frasco.
  - 5) Registrar la masa del cono con arena como  $W_{fsr1}$ , en gramos.
  - 6) Determinar la masa de arena necesaria para llenar el cono  $W_{sc}$ , mediante la siguiente expresión:

$$W_{sc} = W_{fs1} - W_{fsr1}$$

Donde:

- $W_{sc}$  = Masa de arena necesaria para llenar el cono de arena (g)
- $W_{fs1}$  = Masa inicial del dispositivo lleno de arena (g)
- $W_{fsr1}$  = Masa del dispositivo después de llenar el cono, con la arena restante (g)

3. Determinar la masa volumétrica de la arena de prueba mediante el siguiente procedimiento:
  - 1) Llenar el frasco del cono de arena con arena limpia y seca y acoplarle la válvula cerrada.
  - 2) Determinar el peso del dispositivo con arena y regístralo como  $W_{fs2}$ , en gramos.
  - 3) Colocar el recipiente de calibración, después de haber obtenido su volumen, sobre un área firme y totalmente horizontal para ser llenado.
  - 4) Acoplar el dispositivo al cono con la válvula cerrada, seguidamente después instalarlo sobre el recipiente de calibración sujetándolo adecuadamente para evitar cualquier fuga de arena.
  - 5) Abrir la válvula del dispositivo permitiendo el flujo de arena hasta que se llenen tanto el cono como el recipiente de calibración. Inmediatamente después cierre la válvula y retire el frasco.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- 6) Registrar la masa del cono y el recipiente de calibración con arena como  $W_{fsr2}$ , en gramos.
- 7) Determinar la masa volumétrica de la arena, mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_{sd} = \frac{W_{sd}}{V_r} \times 1000$$

Donde:

- $\gamma_{sd}$  = Masa volumétrica de la arena seca ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $V_r$  = Volumen del recipiente de calibración ( $\text{cm}^3$ )  
 $W_{sd}$  = Masa de la arena seca empleada para llenar el recipiente de calibración (g), se calcula mediante la siguiente expresión:

$$W_{sd} = W_{fs2} - W_{fsr2} - W_{sc}$$

- $W_{sc}$  = Masa de arena necesaria para llenar el cono de arena (g)  
 $W_{fs2}$  = Masa inicial del dispositivo lleno de arena (g)  
 $W_{fsr2}$  = Masa del dispositivo después de llenar el cono, con la arena restante (g)

- 8) Limpiar y preparar la superficie del terreno del sitio seleccionado, ya sea material en estado natural o un material compactado. El área debe ser de aproximadamente 50 x 50 cm y se debe encontrar libre de partículas sueltas.

#### *Procedimiento para la prueba*

- 1) Colocar sobre la superficie del terreno la base metálica del dispositivo de acoplamiento del cono para delimitar el área en la que se realizara la cala.
- 2) Realizar la cala excavando cuidadosamente el terreno, evitando realizar alteraciones a las paredes y el fondo de la misma, así como huecos por donde se pudiera fugar la arena. El volumen máximo de excavación no debe exceder los  $3000 \text{ cm}^3$ .
- 3) El suelo extraído en la cala se debe colocar en una charola, evitando la pérdida de material y contenido de agua. Inmediatamente después se debe determinar la masa del material y registrarlo como  $W_m$ , en kg.
- 4) Homogenizar el material y tomar una muestra para determinar el contenido de agua del material  $\omega$  en %, de acuerdo con lo establecido en la prueba de *Contenido de Agua* de este manual. La porción mínima para la obtención del contenido de agua es la siguiente:

Tamaño máximo del material que pasa la malla	Muestra mínima para determinar el contenido de agua del material (g)
---	---

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



No. 4	100
1/2"	250
1"	500
2"	1000
3"	1000

Tabla 8.2 Para determinar la porción mínima para la obtención del contenido de agua

- 5) Llenar con arena limpia y seca el dispositivo y acoplarlo al cono de arena, la válvula debe estar cerrada.
- 6) Determinar la masa del dispositivo y registrarlo como  $W_{fs3}$ , en gramos.
- 7) Colocar la base metálica del dispositivo sobre la cala, cuidando que esta se encuentre perfectamente asentada en el sitio de prueba, para evitar fugas.
- 8) Acoplar el dispositivo sobre la base metálica y abrir la válvula hasta que el flujo de arena haya llenado tanto la excavación como el cono.
- 9) Cerrar la válvula y retirar el dispositivo.
- 10) Determinar la masa del dispositivo con la arena restante y registrarla como  $W_{fsr3}$ , en gramos.

### Cálculos y resultados

*Determinación del volumen de cala de la prueba por medio de la siguiente expresión:*

$$V_m = \frac{W_{fs3} - W_{fsr3} - W_{sc}}{\gamma_{sd}} \times 1000$$

Donde:

- $V_m$  = Volumen de la cala (cm<sup>3</sup>)  
 $W_{fs3}$  = Masa del dispositivo lleno de arena (g)  
 $W_{fsr3}$  = Masa del dispositivo después de llenar el cono, con la arena restante (g)  
 $W_{sc}$  = Masa de arena necesaria para llenar el cono de arena (g)  
 $\gamma_{sd}$  = Masa volumétrica de la arena limpia y seca (kg/m<sup>3</sup>)

*Determinación de la masa volumétrica del material húmedo de cala por medio de la siguiente expresión:*

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m} \times 1000$$

Donde:

- $\gamma_m$  = Masa volumétrica del material húmedo (kg/m<sup>3</sup>)

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



$V_m$  = Volumen de la cala de prueba ( $\text{cm}^3$ )

$W_m$  = Masa del material extraído en la cala (g)

*Determinación de la masa volumétrica seca del material de cala por medio de la siguiente expresión:*

$$\gamma_{dn} = \left( \frac{\gamma_m}{100 + \omega} \right) \times 100 = \gamma_{dc}$$

Donde:

$\gamma_m$  = Masa volumétrica del material húmedo ( $\text{kg/m}^3$ )

$\omega$  = Contenido de agua del material (%)

$\gamma_{dn}$  = Masa volumétrica del material seco en estado natural ( $\text{kg/m}^3$ )

$\gamma_{dc}$  = Masa volumétrica del material seco en estado compacto ( $\text{kg/m}^3$ )

*Determinación de los coeficientes de variación volumétrica del material*

Los coeficientes de variación volumétrica se obtienen mediante la relación de las masas volumétricas del material bajo distintas condiciones de acomodo y estructura. Estas condiciones se clasifican como estado suelto, estado natural, estado compacto y estado compactado en laboratorio.

*Determinación del coeficiente de variación volumétrica del material de estado natural a estado suelto.*

$$C_{ns} = \frac{\gamma_{dn}}{\gamma_{ds}}$$

Donde:

$C_{ns}$  = Coeficiente de variación volumétrica del material de estado natural a estado suelto (adimensional)

$\gamma_{dn}$  = Masa volumétrica del material en estado natural ( $\text{kg/m}^3$ )

$\gamma_{ds}$  = Masa volumétrica del material en estado suelto ( $\text{kg/m}^3$ )

*Determinación del coeficiente de variación volumétrica del material de estado natural a estado compacto.*

$$C_{nc} = \frac{\gamma_{dn}}{\gamma_{dc}}$$

Donde:

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	





- $C_{nc}$  = Coeficiente de variación volumétrica del material de estado natural a estado compacto (adimensional)  
 $\gamma_{dn}$  = Masa volumétrica del material estado natural ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $\gamma_{dc}$  = Masa volumétrica del material en estado compacto ( $\text{kg/m}^3$ )

*Determinación del coeficiente de variación volumétrica del material de estado suelto a estado compacto.*

$$C_{sc} = \frac{\gamma_{ds}}{\gamma_{dc}}$$

Donde:

- $C_{sc}$  = Coeficiente de variación volumétrica del material de estado suelto a estado compacto (adimensional)  
 $\gamma_{ds}$  = Masa volumétrica del material estado suelto ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $\gamma_{dc}$  = Masa volumétrica del material en estado compacto ( $\text{kg/m}^3$ )

*Determinación del coeficiente de variación volumétrica del material de estado suelto a estado compactado en laboratorio.*

Para lograr la determinación del coeficiente de variación volumétrica del material de estado suelto a estado compactado en laboratorio se deben realizar previamente los siguientes cálculos:

Determinar la masa volumétrica seca máxima del material compactado en el laboratorio, siguiendo el procedimiento de compactación AASTHO, establecido en la prueba de *Compactación AASTHO* de este manual.

Obtener el porcentaje de material que atraviesa la malla  $\frac{3}{4}$ " y registrarlo como  $y$ , así como el porcentaje que la atraviesa y registrarlo como  $x$ .

Determinar la densidad relativa aparente de la fase sólida, de acuerdo con lo establecido en la prueba de *Densidades relativas y absorción* de este manual, de la fracción retenida en la malla  $\frac{3}{4}$ ", registrarla como  $S_{ap}$ .

El coeficiente se calcula con la siguiente expresión:

$$C_{sl} = \frac{\gamma_{ds}}{\gamma_{d\max}}$$

Donde:

- $C_{sl}$  = Coeficiente de variación volumétrica del material de estado

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- $\gamma_{ds}$  = suelto a estado compacto en laboratorio (adimensional)  
 = Masa volumétrica del material estado suelto ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $\gamma'_{d\max}$  = Masa volumétrica máxima del material compactado en laboratorio ( $\text{kg/m}^3$ ), calculada con la siguiente expresión:

$$\gamma'_{d\max} = \frac{100}{\frac{x}{\gamma_{d\max}} + \frac{y}{RS_{ap}\gamma_o}}$$

Donde:

- $x$  = Masa del material que pasa la malla  $\frac{3}{4}$ " (%)  
 $y$  = Masa del material que queda retenido en la malla  $\frac{3}{4}$ " (%)  
 $\gamma_{d\max}$  = Masa volumétrica máxima del material que pasa la malla  $\frac{3}{4}$ ", obtenida mediante el método de compactación AASHTO ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $S_{ap}$  = Densidad relativa aparente de la fase sólida del material retenido en la malla  $\frac{3}{4}$ " (adimensional)  
 $\gamma_o$  = Masa volumétrica del agua, considerada como  $1000 \text{ kg/m}^3$   
 $R$  = Coeficiente cuyo valor esta en función al valor  $y$ , indicado en la siguiente tabla:

$y$	$R$
20 o menos	1.00
21-25	0.99
26-30	0.98
31-35	0.97
36-40	0.96
41-45	0.95
46-54	0.94

### Acciones preventivas

- Verificar que el equipo este perfectamente limpio y funcional.
- La prueba debe ser realizada en lugares limpios y libres de corrientes de aire que pudieran provocar perdidas de partículas de las muestras o contaminarlas.
- Verificar frecuentemente que la arena empleada se encuentre totalmente seca y limpia.

### Referencias con normas y manuales

Masas volumétricas y coeficientes de variación volumétrica .....	M-MMP-1-08-03
Muestreo de materiales para terracerías .....	M-MMP-1-01-03
Materiales para terraplén .....	N-CTM-1-01

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



Materiales para subyacente .....	N-CTM-1-02
Materiales para subrasante .....	N-CTM-1-03
Secado, disgregado y cuarteo de muestras .....	M-MMP-1-03
Contenido de agua .....	M-MMP-04
Densidades relativas y absorción .....	M-MMP-1-05
Granulometría de materiales compactables para terracerías .....	M-MMP-06
Compactación AASHTO .....	M-MMP-1-09-03

## **CORTE IN SITU**

### **Objetivo**

La prueba consiste en el desarrollo de métodos directos para encontrar el esfuerzo cortante a través del cizallómetro y penetrómetro de bolsillo.

### **Equipo y materiales**

- Cizallómetro de bolsillo
- Penetrómetro de bolsillo
- Penetrómetro estándar

### **Procedimiento de prueba**

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



1. Con cada dispositivo realizar una serie de 12 mediciones en diferentes puntos del área a estudiar.
2. De los valores encontrados eliminar los menores y los mayores, los valores sobrantes se utilizan para calcular el promedio.

#### *Procedimiento para la prueba con el cizallómetro de bolsillo*

- 1) Poner el indicador de esfuerzo en cero.
- 2) Introducir las aspas del cizallómetro en el suelo presionando la parte superior. Las aspas deben quedar completamente dentro del suelo,
- 3) Aplicar torsión al dispositivo sujetando solamente la parte superior hasta que el suelo se libere.
- 4) Realizar la lectura y anotarla.

#### *Procedimiento para la prueba con el penetrómetro de bolsillo*

- 1) Ubicar la cintilla indicadora, generalmente esta es de color rojo, en la parte superior del penetrómetro.
- 2) Aplique presión sobre el penetrómetro e introdúzcalo dentro del suelo hasta llegar a la marca ubicada en la parte inferior.

#### *Procedimiento para la prueba con el penetrómetro estándar*

- 1) Seleccione la punta adecuada para el tipo de suelo en que se va a realizar la prueba, para suelos blandos se usara una punta con área mayor y en suelos duros una con área menor. Coloque el indicador de fuerza en cero.
- 2) Aplique fuerza sobre el penetrómetro hasta introducir el área de la punta.
- 3) Obtener el valor de la fuerza aplicada.
- 4) Para calcular el esfuerzo basta con dividir la fuerza aplicada entre el área de la punta usada.

### **Referencias con normas y manuales**

Mecánica de Suelos 1  
Juárez Badillo  
Noriega Limusa

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



Investigación de suelos

Jones E, Joseph.

UNAM

1965

## SECADO, DISGREGADO Y CUARTEO DE MUESTRAS

### Objetivo

El procedimiento para preparar los materiales mediante el secado, disgregado y cuarteo con el objetivo de obtener las porciones representativas para efectuar las pruebas de laboratorio. El secado se realiza para facilitar el disgregado y el manejo de las muestras, el disgregado se realiza para separar las diferentes partículas aglomeradas que constituyen las muestras y el cuarteo se realiza con la finalidad de obtener porciones representativas con el tamaño adecuado para realizar las pruebas.

### Equipo y materiales

- Horno  $105 \pm 5^\circ \text{C}$
- Cucharón de 20 x 11 x 10 cm.
- Charola de 40 x 70 x 10 cm.
- Pala recta
- Mazo de madera de 1 kg. aprox.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- Balanza de 120 kg. con aproximación de 10 g.
- Juego de mallas con bastidor circular de 206mm  $\pm$  2mm de diámetro y 68mm  $\pm$  2mm de altura

Designación

3"

2"

1"

3/8"

No. 4

- Brocha
- Lona ahulada de 150 cm. de lado mínimo
- Regla para manipular el material
- Equipo cuarteador de muestras

### Procedimiento de prueba

#### *Procedimiento para realizar el secado*

- 1) En caso de secar al sol, extender la muestra sobre una superficie horizontal y totalmente lisa o en charolas.
- 2) En caso de secar con horno, colocar la muestra en charolas y colocarlas dentro del horno a una temperatura constante de 60° C aprox.
- 3) Revolver periódicamente el material con la ayuda de un cucharón.
- 4) Retirar el material cuando se considere que se ha reducido considerablemente su contenido de agua.

#### *Procedimiento para realizar el disgregado*

- 1) Después del secado, determinar la masa de la muestra y registrarla.
- 2) Cribar el material por la malla del No. 4 y apartar el material que pasa por la malla.
- 3) Cribar el material retenido en la malla No. 4 por la malla 3".
- 4) Colocar el material retenido en la malla 3" en una charola.
- 5) Disgregar el material de la charola con el mazo de madera, con golpes de una altura de 20 cm., hasta que las partículas ya no puedan ser disgregadas.
- 6) Cribar el material de la charola en la malla 3".
- 7) Registrar la masa del material retenido en la malla 3" y obtener el porcentaje con respecto a la masa total de la muestra.
- 8) Agregar el material que inicialmente pasa la malla 3" con el que la pasa después de ser disgregado.
- 9) Cribar el material en la malla 2" y repetir el mismo proceso de cribado y disgregado y los cálculos del porcentaje retenido con respecto a la masa total.
- 10) Repetir el mismo procedimiento con las mallas 1", 3/8" y No. 4.
- 11) Reintegrar todas las porciones obtenidas.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



### *Procedimiento para realizar el cuarteo manualmente*

- 1) Después del disgregado, extender el material sobre una superficie lisa y horizontal, es preferente que la superficie esté cubierta con una lona ahulada
- 2) Mezclar el material traspaleándolo 4 veces mínimo, hasta obtener un aspecto homogéneo en la mezcla.
- 3) Con ayuda de la pala formar un cono con el material de la muestra.
- 4) Insertar la pala en el vértice del cono y hacerla girar hasta reducir la altura del cono a unos 15 a 20 cm., quedando así un cono truncado.
- 5) Con una regla dividir el cono en 4 cuadrantes de dimensiones similares.
- 6) En una charola, juntar el material de los cuadrantes opuestos.

### *Procedimiento para realizar el cuarteo con el equipo de cuarteador de muestras*

- 1) Extender la muestra en una charola y mezclar hasta que esta sea totalmente homogénea.
- 2) Verter la muestra dentro del cuarteador, de manera que pasen cantidades similares por cada uno de los ductos.

### *Procedimiento para realizar el cuarteo de muestras pequeñas*

- 1) Agregar agua al material disgregado
- 2) Mezclar la muestra hasta obtener una apariencia totalmente homogénea.
- 3) Con la ayuda del cucharón formar un cono con el material de la muestra.
- 4) Insertar el cucharón en el vértice del cono y hacerlo girar hasta obtener un espesor y diámetro uniforme.
- 5) Con una regla dividir el cono en 4 cuadrantes de dimensiones similares.
- 6) En una charola, juntar el material de los cuadrantes opuestos.

### *Acciones preventivas*

- a) La prueba debe ser realizada en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire que pudieran provocar pérdidas de partículas de las muestras.
- b) Verificar que el equipo este perfectamente limpio y funcional y que las mallas no tengan indicios de falla.
- c) Que las mallas estén perfectamente secas al momento de efectuar su cribado.
- d) Verificar que la balanza este bien calibrada y limpia, colocada en una superficie horizontal, sin vibraciones.
- e) Evitar a toda costa la pérdida de partículas al momento de ser manipuladas las cribas y los materiales. Sobre todo evitar las partículas atoradas en la trama de las mallas.
- f) Mantener la temperatura del horno en la temperatura indicada para evitar ciertas características del material.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- g) El material que es extendido sobre cualquier superficie debe ser recuperado en su totalidad con la ayuda de brochas.

### Referencias con normas y manuales

Materiales para terraplén .....	N-CTM-1-01
Materiales para subyacente .....	N-CTM-1-02
Materiales para subrasante .....	N-CTM-1-03
Secado, disgregado y cuarteo de muestras .....	M-MMP-1-03-03

## DENSIDADES RELATIVAS Y ABSORCIÓN

### Objetivo

Determinar la relación masa-volumen respecto a la relación masa-volumen del agua, así como la absorción de los materiales.

### Definiciones

Densidad relativa del material seco – representa la relación entre la masa volumétrica del material seco a la temperatura del lugar y la masa volumétrica del agua destilada a 4° C.

Densidad relativa del material saturado y superficialmente seco – representa la relación entre la masa volumétrica del material saturado a la temperatura del lugar y la masa volumétrica del agua destilada a 4° C.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	





Densidad relativa de sólidos – relación entre la masa volumétrica de la fase sólida del material a temperatura del lugar y la masa volumétrica del agua destilada a 4° C.

Absorción del material – es la masa de líquido que penetra en los espacios entre las partículas de un suelo, cuando se les deja sumergidos por 24 horas a una temperatura de 15 a 20° C.

### Equipo y materiales

- Horno  $105 \pm 5^\circ \text{C}$
- Balanza de 5 kg. con aproximación de 0.5 g.
- Balanza de 1 kg. con aproximación de 0.01 g.
- Malla del No. 4 con bastidor circular de  $206\text{mm} \pm 2\text{mm}$  de diámetro y  $68\text{mm} \pm 2\text{mm}$  de altura.
- Canastilla de malla metálica de 20 cm. de diámetro y altura
- Recipiente para sumergir la canastilla
- Dispositivo de suspensión adecuado para la canastilla y la balanza
- Picnómetro tipo sifón
- Desecador
- Lienzo de material absorbente de 60 x 60 cm.
- Matraz de  $500 \text{ cm}^3$
- Probeta graduada de  $1000 \text{ cm}^3$
- Termómetro de 0 a  $50^\circ \text{C}$
- Parrilla eléctrica
- Dispositivo neumático de succión de no mas de 100 mm. de Hg
- Batidora
- Cuentagotas
- Pisón metálico de 25 mm. de diámetro
- Espátula
- Capsula de porcelana de 1 L
- Embudo
- Agua destilada
- Alcohol comercial
- Éter sulfúrico
- Bicromato de potasio
- Acido sulfúrico
- Molde de acero con forma de cono truncado de 89 mm. de diámetro superior, 88 mm. de diámetro inferior y 74 mm. de altura.
- Vaso

### Procedimiento de prueba

#### *Trabajos previos*

1. Apartar del material recibido una fracción de 5 kg. aproximadamente.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



2. Separar el material en dos secciones, en el material retenido en la malla No. 4 y el material que la pasa, según lo establecido en el procedimiento de “Secado, disgregado y cuarteo de muestras”.
3. Obtener las porciones de material que serán probadas, separando por el método del cuarteo de la muestra entre 100 y 500 g. aproximadamente.
4. Obtener la masa y registrarla como  $W_m$ .
5. En caso de ser suelos arcillosos o cohesivos:
  - 1) Depositar el material en una capsula y adicionarle agua destilada.
  - 2) Mezclar con la espátula hasta obtener una pasta suave.
  - 3) Colocar en el vaso de la batidora y agregar agua destilada hasta completar 250 cm<sup>3</sup>.
  - 4) Hacer funcionar la batidora durante 15 minutos hasta alcanzar una suspensión uniforme.
  - 5) Tomar una porción mayor a los 100 g, obtener su masa y registrarla como  $W_{sat}$  en g.
5. En caso de ser suelos arenosos o no cohesivos:
  - 1) Depositar el material en una capsula y colocarla en el horno a una temperatura uniforme de 105° C, hasta obtener una masa constante.
  - 2) Dejar enfriar la muestra a la temperatura ambiente.
  - 3) Colocar el material en un vaso.
  - 4) Sumergir el vaso en un recipiente con agua limpia a una temperatura de 15 a 20° C durante 24 horas.
  - 5) Decantar el agua.
  - 6) Extender el material sobre una superficie plana no absorbente, de manera que se asegure un secado uniforme.
  - 7) Colocar el molde con forma cónica con el lado del diámetro mayor sobre la superficie.
  - 8) Llenar el cono con material parcialmente seco.
  - 9) Levantar el cono, si se mantiene la forma cónica del molde se debe repetir el proceso de secado, en caso contrario tomar una porción mayor a los 100 g, obtener su masa y registrarla como  $W_{sat}$  en g.
6. Calibración del matraz
  - 1) Realizar la mezcla crómica disolviendo en caliente 60 g de bicromato de potasio en 300 cm<sup>3</sup> de agua destilada y adicionar en frío 450 cm<sup>3</sup> de ácido sulfúrico.
  - 2) Lavar perfectamente el matraz con la mezcla crómica.
  - 3) Enjuagar el matraz con agua destilada y dejar escurrir.
  - 4) Bañar la pared del matraz con alcohol para eliminar cualquier residuo de agua.
  - 5) Enjuagar el matraz con éter sulfúrico y dejar escurrir.
  - 6) Determinar la masa del matraz limpio y seco, registrarla como  $W_f$ , en g.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- 7) Llenar el matraz con agua destilada, hasta 0.5 cm. por debajo de la marca de aforo y dejar reposar.
- 8) Verificar con el termómetro que la temperatura del agua dentro del matraz sea uniforme.
- 9) Registrar la temperatura del agua y registrarla como  $t_0$ , en °C.
- 10) Con el cuentagotas adicionar agua destilada al matraz hasta que la parte inferior del menisco del agua coincida la marca de aforo.
- 11) Secar cuidadosamente el interior del cuello del matraz.
- 12) Determinar y registrar la masa del matraz lleno de agua como  $P_0$ , en g.
- 13) Determinar nuevamente la masa del matraz lleno de agua, siguiendo los mismos pasos descritos anteriormente. Se repetirá este paso para temperaturas del agua 5 y 10° C por arriba y 5 y 10° C por abajo de la temperatura inicial.
- 14) Registrar las masas como  $P_{-5}$ ,  $P_{-10}$ ,  $P_5$  y  $P_{10}$  y las temperaturas como  $t_{-5}$ ,  $t_{-10}$ ,  $t_5$  y  $t_{10}$  respectivamente.
- 15) Dibujar una curva de calibración en un sistema de ejes coordenados, marcar en el eje de las abscisas las temperaturas y en el eje de las ordenadas las masas.

*Procedimiento de prueba para el material retenido en la malla No. 4*

- 1) Lavar el material para eliminar cualquier material contaminante.
- 2) Secar la muestra en el horno a una temperatura constante de 105 ° C.
- 3) Enfriar la muestra hasta temperatura ambiente.
- 4) Sumergir en agua limpia la porción lavada, a una temperatura de entre 15 y 20° C durante 24 horas.
- 5) Extraer el agua del material y deslizarlo sobre el lienzo absorbente. Las partículas más grandes deben ser secadas de forma individual. Este proceso debe realizarse de manera inmediata para evitar la pérdida de agua por evaporación. Al material resultante de los pasos anteriores se le considera saturado y superficialmente seco.
- 6) Obtener la masa de la canastilla vacía y sumergida en el agua, registrar el dato como  $W_c$ , en g.
- 7) Obtener la masa del material saturado y superficialmente seco, registrar el dato como  $W_1$ , en g.
- 8) Colocar el material dentro de la canastilla.
- 9) Sumergir la canastilla dentro del recipiente con agua limpia, a una temperatura de  $23 \pm 2^\circ$  C. Cuando se aprecie que no salen burbujas del material se obtiene la masa de la canastilla y el material y se registra como  $W_2$ , en g.
- 10) Sacar la canastilla con el material del agua.
- 11) Depositar el material en una charola y colocarlo dentro del horno a una temperatura constante de 105° C hasta que secarlo a una masa constante.
- 12) Colocar el material dentro del desecador y dejarlo enfriar hasta temperatura ambiente.
- 13) Obtener la masa del material y registrarlo como  $W_s$ , en g.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- 14) Determinar la masa del material sumergido restando  $W_2$  y  $W_c$ , registrarla como  $W_3$  en g.

### Cálculos y resultados

Para el material retenido en la malla No. 4, la densidad relativa y la absorción se calcula de la siguiente manera:

*Determinación de la densidad relativa del material seco:*

$$S_d = \frac{W_s}{W_1 - W_3}$$

Donde:

- $S_d$  = Densidad relativa del material seco (adimensional)  
 $W_s$  = Masa del material secado al horno (g)  
 $W_1$  = Masa del material saturado y superficialmente seco (g)  
 $W_3$  = Masa del material saturado y sumergido en el agua (g):

$$W_3 = W_2 - W_c$$

- $W_2$  = Masa de la canastilla conteniendo el material saturado, sumergida en el agua (g)  
 $W_c$  = Masa de la canastilla vacía y sumergida en el agua (g)

*Determinación de la densidad relativa del material saturado y superficialmente seco:*

$$S_{sat} = \frac{W_1}{W_1 - W_3}$$

Donde:

- $S_d$  = Densidad relativa del material saturado y superficialmente seco (adimensional)  
 $W_1$  = Masa del material saturado y superficialmente seco (g)  
 $W_3$  = Masa del material saturado y sumergido en el agua (g):

$$W_3 = W_2 - W_c$$

- $W_2$  = Masa de la canastilla conteniendo el material saturado, sumergida en el agua (g)

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



$W_c$  = Masa de la canastilla vacía y sumergida en el agua (g)

*Determinación de la densidad relativa de sólidos del material:*

$$S_s = \frac{W_s}{W_s - W_3}$$

Donde:

$S_d$  = Densidad relativa de sólidos del material (adimensional)

$W_s$  = Masa del material secado al horno (g)

$W_3$  = Masa del material saturado y sumergido en el agua (g):

$$W_3 = W_2 - W_c$$

$W_2$  = Masa de la canastilla conteniendo el material saturado, sumergida en el agua (g)

$W_c$  = Masa de la canastilla vacía y sumergida en el agua (g)

*Determinación de la absorción del material:*

$$W_{ab} = \frac{W_1 - W_s}{W_s} \times 100$$

Donde:

$W_{ab}$  = Absorción del material (%)

$W_1$  = Masa del material saturado y superficialmente seco (g)

$W_s$  = Masa del material secado al horno (g)

*Procedimiento de prueba alternativo para la determinación de la densidad relativa de sólidos del material retenido en la malla No. 4*

- 1) Colocar el picnómetro sobre una superficie horizontal y libre de vibraciones.
- 2) Llenar el picnómetro con agua destilada hasta el nivel de derrame, dejando abierto el grifo de salida.
- 3) Bajo del grifo colocar una probeta graduada vacía.
- 4) Realizar el proceso para obtener el material saturado y superficialmente seco.
- 5) Obtener su masa y registrarla como  $W_1$ , en g.
- 6) Sumergir el material en el picnómetro y recolectar en la probeta graduada el agua desalojada.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- 7) Medir el volumen correspondiente al agua desalojada y registrarlo como  $V_1$ , en  $\text{cm}^3$ .
- 8) Extraer el material del picnómetro y colocarlo en una charola.
- 9) Colocar la charola dentro del horno a una temperatura de  $105^\circ\text{C}$ .
- 10) Enfriar la muestra hasta temperatura ambiente.
- 11) Determinar la masa del material seco y registrarlo como  $W_s$ , en g.

### Cálculos y resultados

Para el material retenido en la malla No. 4, la densidad relativa de sólidos se calcula de la siguiente manera:

*Determinación de la densidad relativa de sólidos:*

$$S_s = \frac{W_s}{V_m - (W_1 - W_s)}$$

Donde:

- $S_s$  = Densidad relativa de sólidos del material (adimensional)
- $W_s$  = Masa del material secado al horno (g)
- $W_1$  = Masa del material saturado y superficialmente seco (g)
- $V_m$  = Volumen total del material ( $\text{m}^3$ )

*Procedimiento de prueba para el material que pasa la malla No. 4*

- 1) Inmediatamente después de la preparación del material, introducir el material en el matraz previamente calibrado con la ayuda de un embudo.
- 2) Llenar el matraz de agua destilada hasta aproximadamente la mitad.
- 3) Accionar el dispositivo de succión durante 15 minutos, realizando movimientos giratorios alrededor del eje del matraz.
- 4) Adicionar el volumen de agua destilada necesaria para llenar el matraz hasta la marca de aforo.
- 5) Volver a aplicar el dispositivo de succión durante 15 min.
- 6) Secar cuidadosamente el exterior del matraz y el interior del cuello del mismo, evitando tocar el menisco.
- 7) Obtener la masa del matraz con el material y lleno de agua y registrarla como  $W_{fsw}$  en g.
- 8) Tapar el matraz e invertirlo varias veces para uniformar su temperatura.
- 9) Tomar la temperatura del centro del matraz y registrarla como  $t_p$ , en  $^\circ\text{C}$ .

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



- 10) Vaciar la suspensión en una capsula de porcelana, arrastrando todas las partículas de material, utilizando mas agua en caso de requerirse.
- 11) Dejar reposar la muestra durante 24 horas y eliminar el exceso de agua por medio de la decantación.
- 12) Introducir la capsula dentro del horno a una temperatura constante de 105° C, hasta que el material este totalmente seco.
- 13) Determinar la masa del material seco y registrarlo como  $W_s$ , en g.
- 14) Por medio de la curva de calibración del matraz, obtener la masa del matraz con el agua, correspondiente a la  $t_p$  y registrarla como  $W_{fw}$ .

### Cálculos y resultados

*Determinación de la densidad relativa del material seco:*

$$S_d = \frac{W_s}{W_{fw} + W_{sat} - W_{fsw}}$$

Donde:

- $S_d$  = Densidad relativa del material seco (adimensional)
- $W_s$  = Masa del material secado al horno (g)
- $W_{fw}$  = Masa del matraz lleno de agua a la temperatura de la prueba  $t_p$ , determinada mediante la curva de calibración del matraz (g)
- $W_{sat}$  = Masa del suelo no cohesivo, saturado y superficialmente seco (g)
- $W_{fsw}$  = Masa del matraz conteniendo suelo y agua hasta la marca de aforo a la temperatura de la prueba  $t_p$  (g)

*Determinación de la densidad relativa del material saturado y superficialmente seco:*

$$S_{sat} = \frac{W_{sat}}{W_{fw} + W_{sat} - W_{fsw}}$$

Donde:

- $S_{sat}$  = Densidad relativa del material saturado y superficialmente seco (adimensional)
- $W_{fw}$  = Masa del matraz lleno de agua a la temperatura de la prueba  $t_p$ , determinada mediante la curva de calibración del matraz (g)
- $W_{sat}$  = Masa del suelo no cohesivo, saturado y superficialmente seco (g)
- $W_{fsw}$  = Masa del matraz conteniendo suelo y agua hasta la marca de aforo a la temperatura de la prueba  $t_p$  (g)

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	



*Determinación de la densidad relativa sólidos del material:*

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

Donde:

- $S_s$  = Densidad relativa del material saturado y superficialmente seco (adimensional)
- $W_s$  = Masa del material secado al horno (g)
- $W_{fw}$  = Masa del matraz lleno de agua a la temperatura de la prueba  $t_p$ , determinada mediante la curva de calibración del matraz (g)
- $W_{fsw}$  = Masa del matraz conteniendo suelo y agua hasta la marca de aforo a la temperatura de la prueba  $t_p$  (g)

*Determinación de la absorción del material:*

$$W_{ab} = \frac{W_{sat} - W_s}{W_s} \times 100$$

Donde:

- $W_{ab}$  = Absorción del material (%)
- $W_{sat}$  = Masa del suelo no cohesivo, saturado y superficialmente seco (g)
- $W_s$  = Masa del material secado al horno (g)

*Acciones preventivas*

- La prueba debe ser realizada en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire que pudieran provocar pérdidas de partículas de las muestras.
- Verificar que el equipo este perfectamente limpio y funcional y que las mallas no tengan indicios de falla.
- Que las mallas estén perfectamente secas al momento de efectuar su cribado.
- Verificar que la balanza este bien calibrada y limpia, colocada en una superficie horizontal, sin vibraciones.
- Evitar a toda costa la pérdida de partículas al momento de ser manipuladas las cribas y los materiales. Sobre todo evitar las partículas atoradas en la trama de las mallas.
- Mantener la temperatura del horno en la temperatura indicada para evitar ciertas características del material.
- Verificar que no quede aire atrapado en el material.
- Al momento de usar el picnómetro que no se salpique agua fuera de él.

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	





### Referencias con normas y manuales

Materiales para terraplén .....	N-CTM-1-01
Materiales para subyacente .....	N-CTM-1-02
Materiales para subrasante .....	N-CTM-1-03
Secado, disgregado y cuarteo de muestras .....	M-MMP-1-03
Densidades relativas y absorción .....	M-MMP-1-05
Muestreo de materiales para terracerías .....	M-MMP-1-01

ELABORÓ	APROBÓ	FECHA DE APROBACIÓN
Huascar A. Ordoñez Cramer	Dr. Benito Corona Vázquez	