

**LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES**

**PARTE: 1. SUELOS Y MATERIALES PARA TERRACERÍAS**

**TÍTULO: 08. Masas Volumétricas y Coeficientes de Variación Volumétrica**

**A. CONTENIDO**

Este Manual describe los procedimientos de prueba para determinar las masas volumétricas, así como los coeficientes de variación volumétrica al pasar de un estado a otro, de los materiales a que se refieren las Normas N-CMT-1-01, *Materiales para Terraplén*, N-CMT-1-02, *Materiales para Subyacente* y N-CMT-1-03, *Materiales para Subrasante*.

**B. OBJETIVO DE LAS PRUEBAS**

Estas pruebas permiten determinar las masas volumétricas de los materiales para terracerías, es decir, las relaciones masa-volumen en diferentes estados o condiciones de acomodo, ya sean naturales o artificiales, así como los coeficientes de variación volumétrica al pasar de un estado a otro.

**C. REFERENCIAS**

Este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Materiales para Terraplén .....	N-CMT-1-01
Materiales para Subyacente .....	N-CMT-1-02
Materiales para Subrasante .....	N-CMT-1-03
Muestreo de Materiales para Terracerías .....	M-MMP-1-01
Secado, Disgregado y Cuarteo de Muestras .....	M-MMP-1-03
Contenido de Agua .....	M-MMP-1-04
Densidades Relativas y Absorción .....	M-MMP-1-05
Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías .....	M-MMP-1-06
Compactación AASHTO .....	M-MMP-1-09

**D. DEFINICIONES**

Para efectos de este Manual se tendrán las siguientes definiciones:

- D.1.** Masa volumétrica del material húmedo,  $\gamma_m$ , en  $\text{kg/m}^3$ , es la relación entre la masa total del material y el volumen total del mismo.

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

Donde:

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

$W_m$  = Masa total del material, (kg)

$V_m$  = Volumen total del material, ( $\text{m}^3$ )

- D.2.** Masa volumétrica del material húmedo en estado natural,  $\gamma_m$  (natural), es la relación entre la masa total del material y el volumen total del mismo, en  $\text{kg}/\text{m}^3$ , tal y como se encuentra en la naturaleza.
- D.3.** Masa volumétrica del material húmedo en estado suelto,  $\gamma_m$  (suelto), es la relación entre la masa total del material y el volumen total de la misma, en  $\text{kg}/\text{m}^3$ , cuando ha sido colocado a modo de obtener la masa volumétrica mínima.
- D.4.** Masa volumétrica del material húmedo compacto,  $\gamma_m$  (compacto), es la relación entre la masa total del material y el volumen total del mismo, en  $\text{kg}/\text{m}^3$ , cuando ha sido compactado por algún proceso en el campo o en el laboratorio.
- D.5.** Masa volumétrica máxima del material húmedo,  $\gamma_{m\text{áx}}$ , en  $\text{kg}/\text{m}^3$ , es la relación más alta entre la masa total del material y el volumen total del mismo, cuando ha sido sujeto a un proceso de compactación específico en el laboratorio.
- D.6.** Masa volumétrica seca del material,  $\gamma_d$ , en  $\text{kg}/\text{m}^3$ , es la relación entre la masa de los sólidos del material y el volumen total del mismo.

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

Donde:

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

$W_s$  = Masa de sólidos, (kg)

$V_m$  = Volumen total del material, ( $\text{m}^3$ )

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

$\omega$  = Contenido de agua del material determinado de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-1-04, *Contenido de Agua*, (%)

## E. DETERMINACIÓN DE LA MASA VOLUMÉTRICA DEL MATERIAL HÚMEDO EN ESTADO SUELTO

La determinación de la masa volumétrica del material húmedo en estado suelto,  $\gamma_m$  (suelto), a que se refiere la Fracción D.3. de este Manual, tiene como función calcular los volúmenes que éste ocupará en ciertas condiciones durante su manejo en el campo. Esta masa volumétrica es variable para un mismo material de acuerdo con el acomodo que adopten sus partículas sólidas, dependiendo de diversos factores, tales como el sistema de carga, el medio de transporte, tipo y altura de almacenamiento, entre otros. Para que la masa volumétrica de un material húmedo en estado suelto determinada sea representativa del caso que se estudia, deberá colocarse en las condiciones reales de trabajo o de almacenamiento en que se encuentre.

- E.1.** Cuando la prueba se efectúe en el laboratorio, se sigue el procedimiento indicado en la Cláusula F. de este Manual, excepto que la muestra no se seca al prepararse y no es necesario determinar su contenido de agua.
- E.2.** Durante la determinación de la masa volumétrica del material húmedo en estado suelto en el campo, deberá tratarse de reproducir las condiciones reales de trabajo, por lo que el procedimiento que se aplique para medir la masa y el volumen del material en estudio, dependerá del tipo de recipiente y de la forma de llenarlo; así por ejemplo, para efectos de acarreo, será necesario medir la masa del material depositándolo en la caja del camión, con el equipo de carga que se vaya a utilizar en la obra, determinando su masa total en una báscula para vehículos y calculando el volumen de la caja por medición directa; si no se dispone de la báscula, se calcula obteniendo la masa del material de una muestra tomada en las condiciones del camión y el volumen de la caja.

## F. DETERMINACIÓN DE LA MASA VOLUMÉTRICA SECA DEL MATERIAL EN ESTADO SUELTO

La determinación de la masa volumétrica seca del material en estado suelto,  $\gamma_{ds}$ , consiste en obtener la relación entre la masa de los sólidos del material y el volumen total del mismo, una vez que la masa de la muestra ha sido corregida considerando el contenido de agua.

### F.1. EQUIPO

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes.

#### F.1.1. Recipiente

De lámina galvanizada N°14, de forma cilíndrica, con capacidad de 10 L, con diámetro interior de 25 cm y de masa conocida ( $W_r$ ).

#### F.1.2. Balanza

Con capacidad mínima de 20 kg y aproximación de 5 g.

#### F.1.3. Cucharón

De 20 cm de largo, 11 cm de ancho y 10 cm de altura, formando un paralelepípedo rectangular con sólo cuatro caras, cuya cara menor lleva acoplado un mango metálico de sección circular de 13 cm de largo.

#### F.1.4. Escantillón

De 20 cm de longitud.

#### F.1.5. Regla

Metálica, de 30 cm de longitud.

### F.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De la muestra del material, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-1-01, *Muestreo de Materiales para Terracerías*, se seca, disgrega y separa la cantidad necesaria para llenar el recipiente de 10 L, de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-1-03, *Secado, Disgregado y Cuarteo de Muestras*.

### F.3. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

**F.3.1.** Se homogeneiza el material mediante mezclado, para después, empleando el cucharón de lámina y utilizando como referencia el escantillón, llenar el recipiente de lámina como se muestra en la Figura 1 de este Manual, para lo cual se deja caer el material desde una altura de 20 cm, evitando su reacomodo por movimientos indebidos. Posteriormente se enrasa el material utilizando la regla de 30 cm.

**F.3.2.** Se obtiene la masa del recipiente con el material, como se indica en la Figura 2 de este Manual y se registra como  $W_{rm}$ , en g, con aproximación de 5 g.

**F.3.3.** Finalmente, se determina el contenido de agua del material de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-1-04, *Contenido de Agua*, el cual se registra como  $\omega$ .



FIGURA 1.- Llenado del recipiente

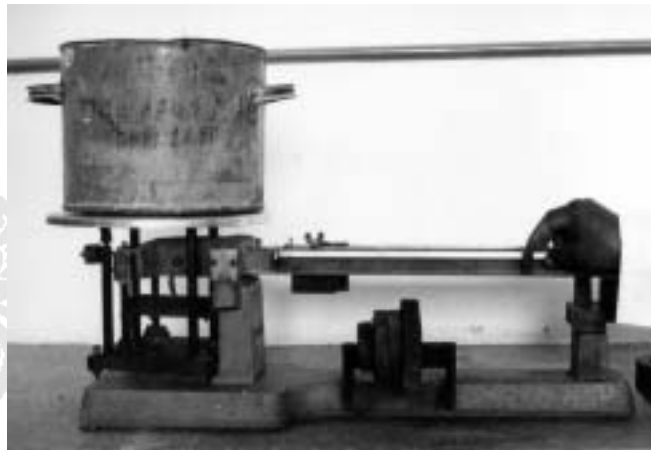


FIGURA 2.- Obtención de la masa del recipiente con el material suelto

#### F.4. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se calcula y reporta como resultado de la prueba, la masa volumétrica seca del material en estado suelto, mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_{ds} = \frac{100 W_m}{V (100 + \omega)} = \frac{\gamma_m}{100 + \omega} (100)$$

Donde:

$\gamma_{ds}$  = Masa volumétrica seca del material en estado suelto, (kg/m<sup>3</sup>)

$W_m$  = Masa del material contenido en el recipiente, (kg), determinada como:

$$W_m = W_{rm} - W_r$$

$W_{rm}$  = Masa del recipiente con el material, (kg)

$W_r$  = Masa del recipiente, (kg)

$V$  = Volumen del recipiente, (m<sup>3</sup>)

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

$\gamma_m$  = Masa volumétrica del material húmedo en estado suelto, (kg/m<sup>3</sup>)

## F.5. PRECAUCIONES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observarán las siguientes precauciones:

- F.5.1. Que se realice la prueba en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que provoquen la contaminación del material.
- F.5.2. Que todo el equipo esté perfectamente limpio y funcional. Especialmente el recipiente estará libre de residuos.
- F.5.3. Que el llenado del recipiente se realice desde la altura especificada y sin vibraciones que provoquen el acomodo indebido del material.
- F.5.4. Que la balanza esté limpia en todas sus partes y bien calibrada, colocada en una superficie horizontal, sin vibraciones que alteren las lecturas.

## G. DETERMINACIÓN DE LA MASA VOLUMÉTRICA SECA DEL MATERIAL EN ESTADO NATURAL, POR EL MÉTODO DE LA PARAFINA, EN MUESTRAS INALTERADAS

Este método sirve para determinar la masa volumétrica seca del material en estado natural,  $\gamma_d$  (natural). Esta masa volumétrica es la que corresponde a la condición que tienen los materiales y en general, es la que se refiere al terreno natural sin haber sido removido. La prueba se realiza en muestras inalteradas extraídas de materiales cohesivos suaves, que pueden labrarse sin que se disgreguen y cuyas partículas tengan un tamaño máximo inferior a la malla N°4 (4,75 mm).

### G.1. EQUIPO Y MATERIALES

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de calidad.

#### G.1.1. Balanza

De 1 000 g de capacidad, de triple escala y con aproximación de 0,01 g.

#### G.1.2. Fuente de calor

Parrilla eléctrica, lámpara de gasolina o cualquier otra fuente de calor de flama abierta.

#### G.1.3. Termómetro

Calibrado, con un rango de 0 a 100 °C y aproximación de 1,0 °C.

#### G.1.4. Vaso de aluminio

De 500 cm<sup>3</sup> de capacidad.

#### G.1.5. Vaso de precipitado

De vidrio, con capacidad de 400 cm<sup>3</sup>.

#### G.1.6. Segueta

Para labrar las muestras.

**G.1.7. Marro**

De aproximadamente 1 kg de masa.

**G.1.8. Cuchillo**

Para cortar la parafina.

**G.1.9. Hilo de nylon**

Delgado y resistente.

**G.1.10. Parafina blanca o mezcla de parafina blanca y petrolato**

En el caso de hacer la mezcla, ésta se hará en partes iguales.

**G.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

De la muestra inalterada en estado natural, obtenida de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-1-01, *Muestreo de Materiales para Terracerías*, se labra un espécimen de forma sensiblemente regular que tenga un volumen de aproximadamente 100 cm<sup>3</sup>, de tal forma que pueda ser introducido libremente en los recipientes indicados en los Incisos G.1.4. y G.1.5. de este Manual.

**G.3. PREPARACIÓN DEL EQUIPO**

Previo al inicio de la prueba, se efectúan las siguientes actividades:

- G.3.1.** Se nivela y ajusta a cero la balanza con el hilo de prueba, lo que permitirá desprestigiar la masa de dicho hilo evitando alteraciones en el momento de obtener la masa del espécimen.
- G.3.2.** Por otro lado, se coloca la parafina o mezcla de parafina y petrolato en el vaso de aluminio y se le aplica calor únicamente hasta fluidificarla.

**G.4. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA**

- G.4.1.** Se sujeta con el hilo el espécimen labrado, dejando libre uno de los extremos del hilo para asirlo y suspender el espécimen posteriormente.
- G.4.2.** Se coloca el espécimen con el hilo sobre la balanza, se determina su masa y se registra como  $W_m$ , en g.
- G.4.3.** Se toma el espécimen por el extremo libre del hilo y se sumerge brevemente en el vaso con la parafina fluidificada cuantas veces sea necesario para que la parafina forme una capa delgada uniforme que cubra totalmente el espécimen.
- G.4.4.** El espécimen cubierto con parafina se coloca sobre la balanza y nuevamente se determina su masa, registrándola como  $W_{mp}$ , en g.
- G.4.5.** Sobre el soporte giratorio de la balanza se coloca centrado el vaso de precipitado que contiene agua limpia a una temperatura comprendida entre 15 y 25 °C. Se nivela y ajusta a cero la balanza. Mediante el hilo se suspende el espécimen en la balanza de tal forma que cuelgue libremente y sin tocar el fondo ni las paredes del vaso, quedando sumergido totalmente dentro del agua, tal como se muestra en la Figura 3 de este Manual.

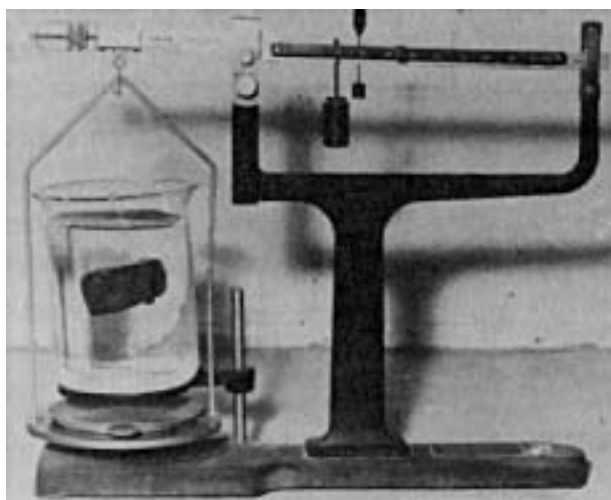


FIGURA 3.- Determinación de la masa sumergida de una muestra inalterada

- G.4.6.** Se determina la masa sumergida en el agua del espécimen cubierto con parafina y se registra como  $W'_{mp}$ , en g.
- G.4.7.** Se saca el espécimen del agua, se descuelga de la balanza y se elimina totalmente la parafina que lo cubre, utilizando el cuchillo.
- G.4.8.** Se determina el contenido de agua del espécimen de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-1-04, *Contenido de Agua*, el cual se registra como  $\omega$ .
- G.4.9.** Empleando otro espécimen distinto obtenido de la misma muestra inalterada, se repiten los procedimientos descritos en los Incisos G.4.1. a G.4.8. de este Manual, a fin de obtener el resultado de al menos dos determinaciones diferentes.

### G.5. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- G.5.1.** Se calcula el volumen de la parafina que cubre cada uno de los especímenes, empleando la siguiente expresión:

$$V_p = \frac{W_{mp} - W_m}{\gamma_p}$$

Donde:

- $V_p$  = Volumen de la parafina que cubre el espécimen, (cm<sup>3</sup>)
- $W_{mp}$  = Masa del espécimen cubierto con parafina, (g)
- $W_m$  = Masa del espécimen sin parafina, (g)
- $\gamma_p$  = Masa volumétrica de la parafina o de la mezcla de parafina y petrolato, (g/cm<sup>3</sup>), considerada como 0,97 g/cm<sup>3</sup>

- G.5.2.** Se calcula el volumen de cada uno de los especímenes sin parafina, empleando la siguiente expresión:

$$V_m = V_{mp} - V_p$$

Donde:

- $V_m$  = Volumen del espécimen, (cm<sup>3</sup>)
- $V_p$  = Volumen de la parafina que cubre el espécimen, obtenido como se indica en el Inciso G.5.1. de este Manual, (cm<sup>3</sup>)
- $V_{mp}$  = Volumen del espécimen con parafina, (cm<sup>3</sup>), determinado como:

$$V_{mp} = \frac{W_{mp} - W'_{mp}}{\gamma_o}$$

$W_{mp}$  = Masa del espécimen cubierto con parafina, (g)

$W'_{mp}$  = Masa sumergida del espécimen cubierto con parafina, (g)

$\gamma_o$  = Masa volumétrica del agua, (g/cm<sup>3</sup>), considerada como 1 g/cm<sup>3</sup>

- G.5.3.** Se calcula la masa volumétrica del material húmedo en estado natural de cada uno de los especímenes, empleando la siguiente expresión:

$$\gamma_m = \left( \frac{W_m}{V_m} \right) \times 1\,000$$

Donde:

$\gamma_m$  = Masa volumétrica del material húmedo en estado natural en el espécimen, (kg/m<sup>3</sup>)

$W_m$  = Masa del espécimen sin parafina, (g)

$V_m$  = Volumen del espécimen, (cm<sup>3</sup>)

- G.5.4.** Se calcula la masa volumétrica seca del material en estado natural de cada uno de los especímenes, empleando la siguiente expresión:

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

Donde:

$\gamma_{dn}$  = Masa volumétrica seca del material en estado natural en el espécimen, (kg/m<sup>3</sup>)

$\omega$  = Contenido de agua del espécimen, (%)

$\gamma_m$  = Masa volumétrica del material húmedo en el espécimen, obtenida como se indica en el Inciso G.5.3. de este Manual, (kg/m<sup>3</sup>)

- G.5.5.** Finalmente se calculan y reportan como resultado de la prueba, el promedio de las masas volumétricas del material húmedo en estado natural de ambos especímenes, el promedio de sus masas volumétricas secas y el promedio de sus contenidos de agua.

## G.6. PRECAUCIONES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observarán las siguientes precauciones:

- G.6.1.** Que la prueba se realice en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que provoquen la contaminación del material.
- G.6.2.** Que todo el equipo esté perfectamente limpio y funcional.
- G.6.3.** Que no se originen pérdidas en el contenido de agua del espécimen por no protegerlo adecuadamente antes de cubrirlo con la parafina.
- G.6.4.** Que al cubrir el espécimen la parafina no esté demasiado caliente, para no provocar pérdida en el contenido de agua en el mismo o formación de burbujas en la parafina.
- G.6.5.** Que al determinar la masa sumergida del espécimen cubierto con parafina, éste se introduzca completamente en el agua y que no quede en contacto con el vaso.



**G.6.6.** Que se elimine completamente del espécimen la capa de parafina antes de la determinación de su contenido de agua.

## **H. DETERMINACIÓN DE LA MASA VOLUMÉTRICA SECA DEL MATERIAL EN ESTADO NATURAL, POR EL MÉTODO DE ESPECÍMENES LABRADOS EN MUESTRAS INALTERADAS**

Este método sirve para determinar la masa volumétrica seca del material en estado natural o en estado compacto,  $\gamma_d$  (natural). La prueba se realiza en muestras inalteradas, ya sea en estado natural o artificial, extraídas de materiales cohesivos suaves, que pueden labrarse sin que se disgreguen y cuyas partículas tengan un tamaño máximo inferior a la malla N°4 (4,75 mm). Los especímenes utilizados en esta prueba en general se pueden aprovechar posteriormente en otras pruebas.

### **H.1. EQUIPO**

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes.

#### **H.1.1. Torno para labrar probetas**

Como el mostrado en la Figura 4 de este Manual.

#### **H.1.2. Arco de joyero**

Con alambre acerado.

#### **H.1.3. Balanza**

De 300 g de capacidad, con aproximación de 0,01 g.

#### **H.1.4. Calibrador con vernier**

Con aproximación de 0,01 cm.

### **H.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

De la muestra inalterada en estado natural o de un suelo compactado, obtenida de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-1-01, *Muestreo de Materiales para Terracerías*, se labra un prisma rectangular de bases sensiblemente paralelas y del tamaño adecuado para obtener un espécimen cilíndrico de aproximadamente 3,6 cm de diámetro y 9 cm de altura.

### **H.3. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA**

**H.3.1.** Se coloca el prisma labrado centrado en el torno, que se gira constantemente mientras se labra un espécimen cilíndrico, como el mostrado en la Figura 4 de este Manual, con el arco de joyero, deslizándolo apoyado sobre dos de los soportes verticales del torno.

**H.3.2.** Posteriormente se saca el espécimen del torno y con el calibrador se mide su altura y sus diámetros superior, central e inferior, por lo menos en 3 ocasiones, con aproximación de 0,01 cm, registrando respectivamente el promedio de estos valores como  $h$ ,  $d_s$ ,  $d_c$  y  $d_i$ .

**H.3.3.** Se determina la masa del espécimen con aproximación de 0,01 g, y se registra como  $W_m$ .

**H.3.4.** Finalmente se determina el contenido de agua del espécimen de acuerdo con el procedimiento que se describe en el Manual M-MMP-1-04, *Contenido de Agua*, el cual se registra como  $\omega$ .

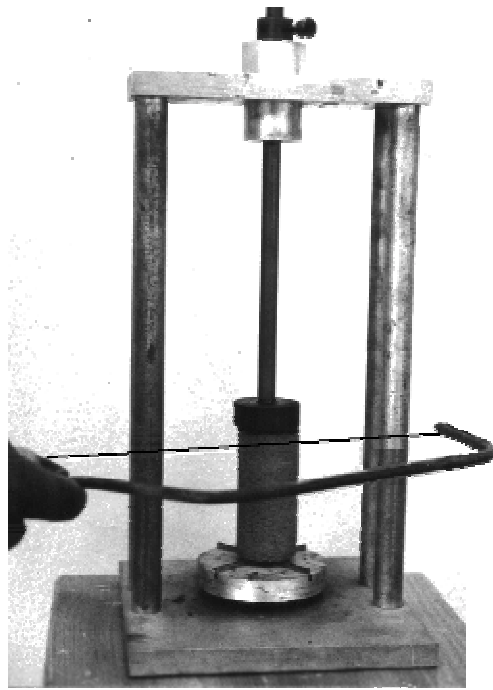


FIGURA 4.- Labrado del espécimen cilíndrico en el torno

#### H.4. CÁLCULOS Y RESULTADOS

**H.4.1.** Se calcula el área promedio de la sección del espécimen, empleando la siguiente expresión:

$$A_p = \frac{A_s + 4A_c + A_i}{6}$$

Donde:

$A_p$  = Área promedio de la sección del espécimen, (cm<sup>2</sup>)

$A_s$  = Área de la sección superior del espécimen, (cm<sup>2</sup>), determinada como:

$$A_s = 0,7854 d_s^2$$

$d_s$  = Diámetro promedio de la sección superior del espécimen, (cm)

$A_c$  = Área de la sección central del espécimen, (cm<sup>2</sup>), determinada como:

$$A_c = 0,7854 d_c^2$$

$d_c$  = Diámetro promedio de la sección central del espécimen, (cm)

$A_i$  = Área de la sección inferior del espécimen, (cm<sup>2</sup>), determinada como:

$$A_i = 0,7854 d_i^2$$

$d_i$  = Diámetro promedio de la sección inferior del espécimen, (cm)

**H.4.2.** Se calcula y reporta el volumen del espécimen, empleando la siguiente expresión:

$$V_e = A_p \times h$$

Donde:

$V_e$  = Volumen del espécimen, (cm<sup>3</sup>)

$h$  = Altura promedio del espécimen, (cm)

$A_p$  = Área promedio de la sección del espécimen, (cm<sup>2</sup>)

- H.4.3.** Se calcula y reporta la masa volumétrica del material húmedo en estado natural, empleando la siguiente expresión:

$$\gamma_m = \left( \frac{W_m}{V_m} \right) \times 1\,000$$

Donde:

$\gamma_m$  = Masa volumétrica del material húmedo en estado natural, (kg/m<sup>3</sup>)

$W_m$  = Masa del espécimen húmedo, (g)

$V_e$  = Volumen del espécimen, (cm<sup>3</sup>)

- H.4.4.** Se calcula y reporta la masa volumétrica seca del material en estado natural, empleando la siguiente expresión:

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

Donde:

$\gamma_{dn}$  = Masa volumétrica seca del material en estado natural en el espécimen, que se considera igual a  $\gamma_{dc}$  para el caso de suelos en estado compacto, (kg/m<sup>3</sup>)

$\omega$  = Contenido de agua del espécimen, (%)

$\gamma_m$  = Masa volumétrica del material húmedo en el espécimen, obtenida como se indica en el Inciso H.4.3. de este Manual, (kg/m<sup>3</sup>)

## H.5. PRECAUCIONES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observarán las siguientes precauciones:

- H.5.1.** Que la prueba se realice en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que provoquen la contaminación del material.
- H.5.2.** Que todo el equipo esté perfectamente limpio y funcional.
- H.5.3.** Que el prisma rectangular de material esté sobrado en sus dimensiones laterales para que de éste se pueda labrar el espécimen cilíndrico, a fin de evitar que alguna de sus secciones tenga un diámetro menor que el especificado, considerando que los especímenes que presenten oquedades o salientes en su superficie, deberán desecharse o determinar su masa volumétrica por otro procedimiento.
- H.5.4.** Que al colocar el prisma de material en la base del torno no se le aplique presión excesiva con el tornillo de sujeción, para evitar que se deforme o dañe.
- H.5.5.** Que durante el procedimiento de labrado se emplee un tiempo relativamente corto, a fin de evitar pérdidas en el contenido de agua del material.
- H.5.6.** Que la masa del espécimen y las mediciones de los diámetros y altura, se determinen inmediatamente después del labrado a fin de evitar errores por pérdida de agua.

## I. DETERMINACIÓN DE LA MASA VOLUMÉTRICA SECA DEL MATERIAL EN ESTADO NATURAL, POR EL MÉTODO DEL AGUA

Este método se aplica a materiales de los que no se puedan extraer muestras inalteradas o con partículas de tamaño mayor que la malla N°4 (4,75 mm), incluso con fragmentos de roca, cuando éstos están formando capas o estratos de más de 0,4 m de espesor, ya sea en estado natural, cuando el acomodo que tienen sus partículas es consecuencia de un proceso de la naturaleza o bien en estado compacto, cuando las partículas sólidas que lo constituyen han adquirido un cierto

acomodo por algún procedimiento de compactación. Este método se utiliza en la determinación de los coeficientes de variación volumétrica.

## **I.1. EQUIPO**

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes.

### **I.1.1. Herramientas**

Picos, palas, barretas, cincel, mazo, cuchillo, cuchara de albañil y cucharón de acero galvanizado de 20 cm de largo, 11 cm de ancho y 10 cm de altura, formando un paralelepípedo rectangular con sólo cuatro caras, cuya cara menor lleva acoplado un mango metálico de sección circular de 13 cm de largo.

### **I.1.2. Nivel de burbuja**

De 50 cm de longitud.

### **I.1.3. Charolas metálicas**

De lámina galvanizada, de forma rectangular de 40 × 70 × 10 cm.

### **I.1.4. Lonas ahuladas**

De forma cuadrada, con dimensiones mínimas de 3 m por lado.

### **I.1.5. Membrana delgada**

De plástico resistente o de látex, sin roturas ni perforaciones, sensiblemente cuadrada, de de tamaño suficiente para cubrir el fondo y las paredes de la cala que se ejecute, así como por lo menos 30 cm de su periferia.

### **I.1.6. Paño**

De material absorbente.

### **I.1.7. Recipientes aforados**

De 5, 10 y 20 L, respectivamente.

### **I.1.8. Probeta de plástico**

Con capacidad de 1 000 mL y graduaciones a cada 10 mL.

### **I.1.9. Balanza o báscula**

Balanza con capacidad mínima de 20 kg y aproximación de 5 g, cuando el material esté exento de fragmentos o, de lo contrario, báscula de 120 kg y aproximación de 10 g.

## **I.2. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA**

**I.2.1.** Una vez seleccionado el sitio en donde se realizará la prueba, en un material en estado natural o en estado compacto, se limpia y prepara la superficie de tal manera que se tenga una zona sensiblemente cuadrada, plana y horizontal, lo que se comprueba con el nivel de burbuja, de aproximadamente 0,5 m por lado cuando el material este exento de fragmentos de roca o, de lo contrario, 1 m por lado.

**I.2.2.** Se efectúa en el sitio de prueba una cala de sección sensiblemente cuadrada o circular, cuyo volumen aproximado será de al menos 15 dm<sup>3</sup> cuando el material este exento de

fragmentos de roca o, de lo contrario, de 100-dm<sup>3</sup>, evitando alterar el acomodo del material en sus paredes y fondo.

- I.2.3. El material que se va extrayendo de la cala se coloca en una charola o sobre la lona si contiene fragmentos, sin que se produzcan pérdidas del mismo y se cubre con el paño mojado para evitar en lo posible la pérdida de agua; inmediatamente después de concluida la excavación se determina la masa total del material extraído, registrándola como  $W_m$ , en kg.
- I.2.4. El material extraído se mezcla hasta homogeneizarlo y se toma una porción de material representativa que sirve para determinar su contenido de agua de acuerdo con el procedimiento que se describe en el Manual M-MMP-1-04, *Contenido de Agua*, el cual se registra como  $\omega$ . El tamaño de la porción del material está en función del tamaño máximo de las partículas del material y se determina de acuerdo con lo indicado en la Tabla 1 de este Manual, considerando que no será menor de 3 kg si el material contiene fragmentos de roca.
- I.2.5. Cuando la excavación se dificulta haciendo lenta la extracción del material, la cala se efectúa en dos o más partes y al finalizar en cada una de ellas se determina lo siguiente:

La masa parcial del material correspondiente y se registra como  $W_{mpi}$ , en kg, donde  $i$  indica el número de la parte de la cala.

El contenido de agua, de acuerdo con lo que se indica en el Inciso anterior, registrándolo como  $\omega_{pi}$ , en por ciento, donde  $i$  denota el número de la parte de la cala.

**TABLA 1.- Tamaño de la porción de material para la determinación del contenido de agua**

Tamaño máximo del material (pasa la malla)		Muestra mínima para determinar el contenido de agua del material <b>g</b>
Designación	Abertura mm	
Nº4	4,75	100
½"	12,5	250
1"	25	500
2"	50	1 000
3"	75	1 000

- I.2.6. Una vez terminada la cala, se coloca la membrana de plástico cubriendo sus paredes y fondo, sujetando las orillas de la misma en la parte exterior para evitar fugas de agua, como se muestra en la Figura 5 de este Manual.

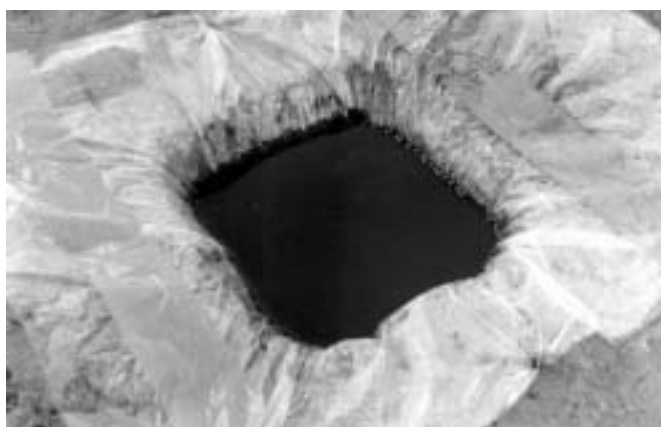


FIGURA 5.- Membrana de plástico colocada para medir el volumen de la cala

- I.2.7.** Utilizando primero los recipientes aforados y después la probeta se vierte agua dentro de la cala hasta llenarla, registrando el volumen  $V_m$  de agua utilizada para tal fin, en  $\text{cm}^3$  con aproximación de  $10 \text{ cm}^3$ .

### I.3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- I.3.1.** Cuando la cala se hace en partes, se calcula y reporta el contenido de agua medio del material extraído, empleando la siguiente expresión:

$$\omega = \frac{\sum (W_{mpi} \times \omega_{mpi})}{W_m}$$

Donde:

$\omega$  = Humedad media del material extraído de la cala, (%)

$W_{mpi}$  = Masa parcial del material húmedo extraído de la parte  $i$  de la cala, (kg)

$\omega_{pi}$  = Contenido de agua parcial correspondiente a la parte  $i$  de la cala, (%)

$W_m$  = Masa de todo el material húmedo extraído de la cala, (kg), determinada como:

$$W_m = \sum W_{mpi}$$

$i$  = Número de cada una de las partes parciales de la cala, efectuadas durante la prueba

- I.3.2.** Se calcula y reporta la masa volumétrica del material húmedo en la cala, empleando la siguiente expresión:

$$\gamma_m = \left( \frac{W_m}{V_m} \right) \times 1\,000$$

Donde:

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

$W_m$  = Masa total del material húmedo extraído de la cala, (kg)

$V_m$  = Volumen del agua requerida para el llenado de la cala, ( $\text{cm}^3$ )

- I.3.3.** Se calcula y reporta la masa volumétrica seca del material en estado natural, empleando la siguiente expresión:

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

Donde:

$\gamma_{dn}$  = Masa volumétrica seca del material en estado natural en la cala, que se considera igual a  $\gamma_{dc}$  para el caso de suelos en estado compacto, ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

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

$\gamma_m$  = Masa volumétrica del material húmedo, obtenida como se indica en el Inciso I.3.2. de este Manual, ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

### I.4. PRECAUCIONES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observarán las siguientes precauciones:

- I.4.1.** Que todo el equipo esté perfectamente limpio y funcional.

- I.4.2. Que se verifique que las paredes y el fondo de la cala no presenten huecos o irregularidades que dificulten el acomodo de la membrana plástica o bien que se haya quedado material suelto en la cala que impidan la evaluación correcta de su volumen.
- I.4.3. Que la membrana de plástico se adapte correctamente a las paredes de la cala, evitando la formación de bolsas de aire.
- I.4.4. Que la membrana de plástico no permita fugas de agua.

## **J. DETERMINACIÓN DE LA MASA VOLUMÉTRICA SECA DEL MATERIAL EN ESTADO NATURAL, POR EL MÉTODO DE LA TROMPA Y ARENA**

Este método se aplica a materiales que contengan partículas de tamaño mayor que la malla  $\frac{3}{4}$ " (19,0 mm), incluso con fragmentos de roca, o de los que no se puedan extraer muestras inalteradas, ya sea en estado natural, cuando el acomodo que tienen sus partículas es consecuencia de un proceso de la naturaleza o bien en estado compacto, cuando las partículas sólidas que lo constituyen han adquirido un cierto acomodo por algún procedimiento de compactación. Este método se utiliza en la determinación de los coeficientes de variación volumétrica y del grado de compactación.

### **J.1. EQUIPO Y MATERIALES**

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de calidad.

#### **J.1.1. Herramientas**

Picos, palas, barretas, cincel, mazo, cuchillo, cuchara de albañil y cucharón de acero galvanizado de 20 cm de largo, 11 cm de ancho y 10 cm de altura, formando un paralelepípedo rectangular con sólo cuatro caras, cuya cara menor lleva acoplado un mango metálico de sección circular de 13 cm de largo.

#### **J.1.2. Dispositivo para colocar la arena en la cala**

Que consiste esencialmente en un recipiente de forma cilíndrica con fondo cónico, y una extensión de tubo metálico flexible, como el mostrado en la Figura 6 de este Manual.

#### **J.1.3. Recipiente de calibración**

Metálico e impermeable, de forma cilíndrica con diámetro interior y altura de aproximadamente 15 cm, como el mostrado en la Figura 6.

#### **J.1.4. Balanzas**

Una con capacidad de 20 kg y 5 g de aproximación y otra con capacidad de 2 kg y 0,1 g de aproximación.

#### **J.1.5. Bolsas de plástico u otros recipientes**

Impermeables para muestras representativas.

#### **J.1.6. Charolas metálicas**

De lámina galvanizada, de forma rectangular de 40 x 70 x 10 cm.

#### **J.1.7. Regla de madera**

De 30 cm de largo.

**J.1.8. Placa de vidrio**

De forma rectangular de aproximadamente 20 x 20 cm.

**J.1.9. Aceite****J.1.10. Arena**

Limpia y seca, con partículas densas y redondeadas, cuyos tamaños estén comprendidos entre las mallas N°20 y N°30 (0,850 y 0,600 mm).

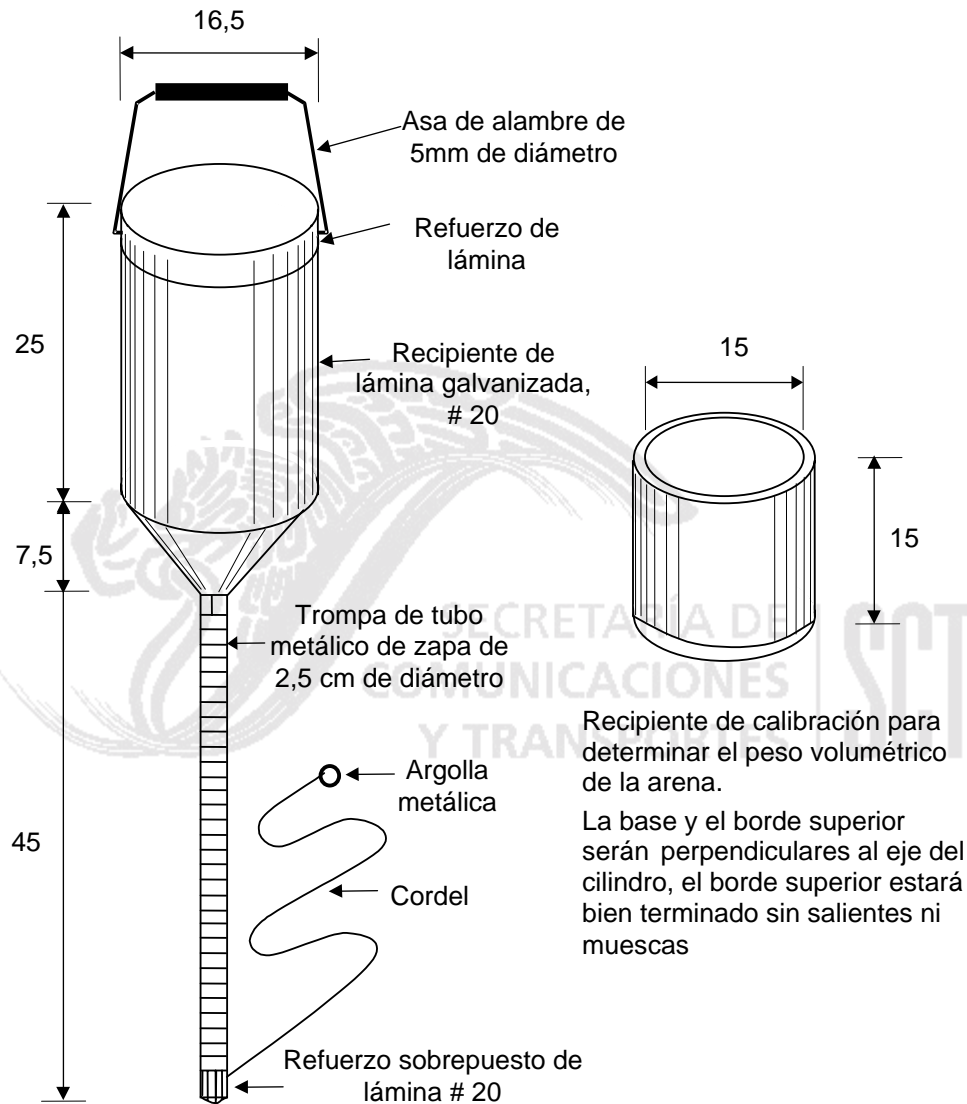


FIGURA 6.- Dispositivo para colocar la arena en la cala y recipiente de calibración

**J.2. TRABAJOS PREVIOS**

Previo al inicio de la prueba se determina la masa volumétrica de la arena  $\gamma_{sd}$ , en la forma siguiente:

**J.2.1.** Se determina el volumen  $V_r$ , del recipiente de calibración, para lo cual:



- J.2.1.1.** Éste se pesa vacío, registrando su masa con aproximación de 5 g.
- J.2.1.2.** A continuación se coloca sobre una superficie plana de manera que su borde superior quede en posición horizontal.
- J.2.1.3.** Se vierte agua en su interior, evitando la formación de burbujas de aire, hasta llenarlo, lo cual se verifica colocándole sobre su borde una placa de vidrio tratada con una película de aceite delgado que elimine el excedente.
- J.2.1.4.** Se seca el agua que se haya derramado en la superficie exterior del molde y se pesa con la aproximación mencionada anteriormente. La diferencia de masas entre el recipiente lleno de agua y vacío, en g, se considera para estos fines numéricamente igual al volumen del recipiente en  $\text{cm}^3$ .
- J.2.1.5.** Se repite este procedimiento hasta que en 3 determinaciones no exista una discrepancia mayor de  $3 \text{ cm}^3$ ; el promedio de estos 3 valores será el volumen  $V_r$  del recipiente, en  $\text{cm}^3$ .
- J.2.1.6.** Finalmente se retira el agua del recipiente de calibración, dejándolo limpio y seco.
- J.2.2.** Por otro lado, se coloca el dispositivo de prueba en posición de trabajo, se recoge la trompa con el cordel, manteniéndola en esta posición mientras se llena con la arena de prueba el depósito, como se muestra en la Figura 7 de este Manual.



FIGURA 7.- Colocación de la arena en el dispositivo

- J.2.3.** El recipiente de calibración se coloca en una superficie sensiblemente horizontal y firme, en posición para ser llenado; enseguida se vacía arena dentro de éste, para lo cual:
- J.2.3.1.** Se introduce en su interior la trompa del dispositivo con su extremo levantado hasta tocar el fondo.
- J.2.3.2.** Logrado lo anterior, simultáneamente y en forma gradual se levanta el dispositivo y se suelta el cordel que sujeta la trompa hasta que ésta quede en posición vertical y deje salir la arena con una altura mínima de caída, permitiéndole que se distribuya en toda la sección del recipiente; para ello, se desplaza el dispositivo sin que la trompa pierda su posición vertical y se sube lo conveniente a fin de conservar la altura mínima de caída.

- J.2.3.3.** Esta operación se continúa hasta llenar el recipiente, el que se enrasa con una regla de madera empleando el menor número de pasadas.
- J.2.4.** Se determina la masa de la arena contenida en el recipiente y se registra, en g.
- J.2.5.** Se vacía el recipiente y se repite por lo menos 3 veces el procedimiento descrito en los Incisos J.2.2. a J.2.4. de este Manual a fin de obtener el promedio de la masa de la arena utilizada para llenar el recipiente mencionado, descartando aquel valor que discrepe en más de 1% y repitiendo dichas determinaciones en caso de ser incongruentes. El promedio de los resultados obtenidos es la masa de la arena seca  $W_{sd}$ , en g.
- J.2.6.** Finalmente se determina la masa específica o volumétrica de la arena, para lo cual se emplea la siguiente expresión:

$$\gamma_{sd} = \frac{W_{sd}}{V_r} \times 1\,000$$

Donde:

- $\gamma_{sd}$  = Masa volumétrica de la arena limpia y seca empleada en la prueba, (kg/m<sup>3</sup>)
- $W_{sd}$  = Masa de la arena seca empleada para llenar el recipiente, (g)
- $V_r$  = Volumen del recipiente, (cm<sup>3</sup>)

### J.3. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

- J.3.1.** Una vez seleccionado el sitio en donde se realizará la prueba, ya sea en un material en estado natural o en un material compactado, se limpia y prepara la superficie de tal manera que se tenga una zona sensiblemente cuadrada de 1 m por lado como mínimo, prácticamente plana y horizontal.
- J.3.2.** Se efectúa en el sitio de prueba una cala de sección sensiblemente cuadrada, excavando cuidadosamente para evitar alteraciones en sus paredes y fondo, cuyo volumen se determina conforme a lo establecido en la Tabla 2 y varía de acuerdo con el tamaño máximo del material.

**TABLA 2.- Volumen mínimo de la cala de prueba y tamaño de la muestra para la determinación del contenido de agua**

Tamaño máximo del material (pasa la malla) [1]	Volumen mínimo aproximado de la cala cm <sup>3</sup>	Muestra mínima para determinar el contenido de agua del material g
Nº4 (4,75 mm)	3 000	100
½" (12,5 mm)	3 000	250
1" (25,0 mm)	3 500	500
2" (50,0 mm)	3 500	1 000
3" (75,0 mm)	4 000	1 000

[1] Que se determinará mediante el procedimiento de granulometría simplificada indicado en el Manual M-MMP-1-06, *Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías*.

- J.3.3.** Todo el suelo que se va extrayendo de la cala se coloca en una charola, tomando las precauciones necesarias para evitar pérdidas de material y de su contenido de agua; inmediatamente después de concluida la excavación se determina la masa del material extraído y se registra como  $W_m$ , en kg.
- J.3.4.** El material extraído se mezcla hasta homogeneizarlo y de éste se toma una muestra representativa que sirve para determinar su contenido de agua de acuerdo con el

procedimiento que se describe en el Manual M-MMP-1-04, *Contenido de Agua*, el cual se registra como  $\omega$ , en %. El tamaño de la muestra está en función del tamaño máximo de las partículas del material y se determina de acuerdo con lo indicado en la Tabla 2 de este Manual.

- J.3.5.** Se determina la masa de una cantidad de arena limpia y seca que sea estimativamente superior en 25% a la requerida para llenar el volumen de la cala, registrándola como  $W_{si}$ ; con ella se alimenta el dispositivo de prueba manteniendo el tubo flexible recogido mediante el cordel para evitar la salida de la arena.
- J.3.6.** Se introduce la trompa del dispositivo dentro de la cala y se vacía la arena siguiendo el procedimiento indicado en el Párrafo J.2.3.2. de este Manual, hasta llenarla completamente, como se muestra en la Figura 8 de este Manual.



FIGURA 8.- Operación de llenado con arena de la cala de prueba

- J.3.7.** Se determina la masa de la arena que sobró en el dispositivo de prueba, y se registra como  $W_{sf}$ , en g.
- J.3.8.** Finalmente por diferencia de masas se obtiene la arena empleada en total para llenar la cala, registrándola como  $W_s$ .

#### J.4. CÁLCULOS Y RESULTADOS

En esta prueba se calcula y reporta:

- J.4.1.** El volumen de la cala de prueba, que se determina empleando la siguiente expresión:

$$V_m = \frac{W_s}{\gamma_{sd}} \times 1000$$

Donde:

$V_m$  = Volumen de la cala de prueba, (cm<sup>3</sup>)

$\gamma_{sd}$  = Masa volumétrica de la arena limpia y seca empleada en la prueba, determinada como se indica en el Inciso J.2.6. de este Manual, (kg/m<sup>3</sup>)

$W_s$  = Masa de la arena empleada para llenar la cala, (g), determinada con la siguiente expresión:

$$W_s = W_{si} - W_{sf}$$

$W_{si}$  = Masa inicial de la arena preparada con que se alimentó el dispositivo de prueba, (g)

$W_{sf}$  = Masa final de la arena sobrante en el dispositivo de prueba, (g)

- J.4.2.** La masa volumétrica del material húmedo en la cala, que se determina empleando la siguiente expresión:

$$\gamma_m = \left( \frac{W_m}{V_m} \right) \times 1\,000$$

Donde:

- $\gamma_m$  = Masa volumétrica del material húmedo en estado natural, (kg/m<sup>3</sup>)  
 $W_m$  = Masa del material extraído de la cala, (g)  
 $V_m$  = Volumen de la cala de prueba, (cm<sup>3</sup>)

- J.4.3.** La masa volumétrica seca del material en estado natural, que se determina empleando la siguiente expresión:

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

Donde:

- $\gamma_{dn}$  = Masa volumétrica seca del material en estado natural en la cala, que se considera igual a  $\gamma_{dc}$  para el caso de suelos en estado compacto, (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\omega$  = Contenido de agua del material, (%)  
 $\gamma_m$  = Masa volumétrica del material húmedo, obtenida como se indica en el Inciso J.4.2. de este Manual, (kg/m<sup>3</sup>)

## J.5. PRECAUCIONES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observarán las siguientes precauciones:

- J.5.1.** Que todo el equipo esté perfectamente limpio y funcional.  
**J.5.2.** Que las paredes y fondo de la cala no presenten huecos por donde se fugue la arena.  
**J.5.3.** Que la determinación de la masa específica o volumétrica de la arena empleada se verifique con la frecuencia requerida.  
**J.5.4.** Que la arena empleada esté seca y limpia, verificando esto frecuentemente.

## K. DETERMINACIÓN DE LA MASA VOLUMÉTRICA SECA DEL MATERIAL EN ESTADO NATURAL, POR EL MÉTODO DEL CONO Y ARENA

Este método se aplica a materiales en estado natural, cuando el acomodo que tienen sus partículas es consecuencia de un proceso de la naturaleza o bien en estado compacto, cuando las partículas sólidas que lo constituyen han adquirido un cierto acomodo por algún procedimiento de compactación, pero que no contengan fragmentos de roca. Este método se utiliza en la determinación de los coeficientes de variación volumétrica y del grado de compactación.

### K.1. EQUIPO Y MATERIALES

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de calidad.

**K.1.1. Herramientas**

Picos, palas, barretas, cincel, mazo, cuchillo, cuchara de albañil y cucharón de acero galvanizado de 20 cm de largo, 11 cm de ancho y 10 cm de altura, formando un paralelepípedo rectangular con sólo cuatro caras, cuya cara menor lleva acoplado un mango metálico de sección circular de 13 cm de largo.

**K.1.2. Cono y frasco para la arena**

Que consiste en una sección desmontable constituida por 2 conos metálicos truncados de distintos tamaños, unidos entre sí por sus partes de menor diámetro mediante una válvula cilíndrica con un orificio de 13 mm de diámetro. La parte de mayor diámetro del cono de menor tamaño esta provisto de rosca para poder acoplarlo a la boca de un frasco de aproximadamente 4 L de capacidad (que es el que contiene la arena), mientras que el cono de mayor tamaño tiene libre su extremo de mayor diámetro, lo que le permite ser acoplado en una base metálica de forma cuadrada o sobre una lona con perforación en el centro provista de un anillo metálico de acoplamiento. La forma y dimensiones del cono de arena deberán ajustarse a las indicadas en la Figura 9 de este Manual.

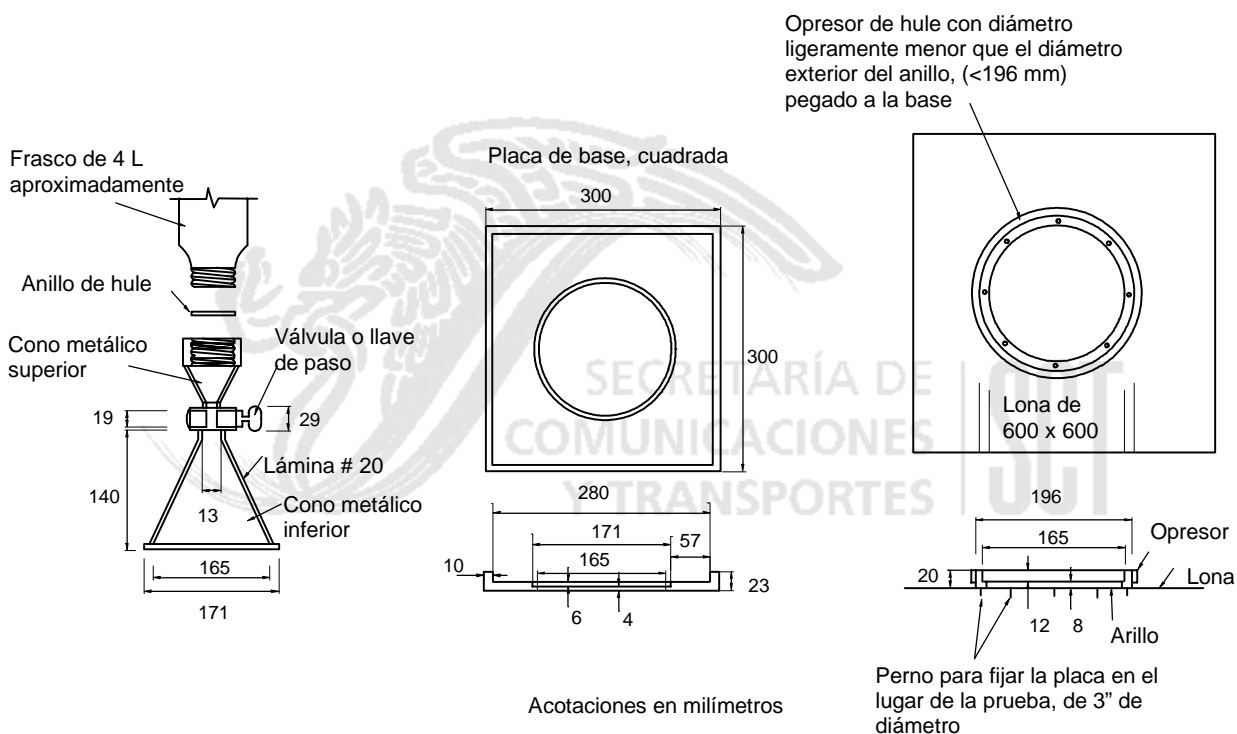


FIGURA 9.- Cono para la arena y sus aditamentos

**K.1.3. Recipiente de calibración**

Metálico e impermeable, de forma cilíndrica con diámetro interior de 18 cm y altura de 10 cm.

**K.1.4. Balanzas**

Una con capacidad de 20 kg y 5 g de aproximación y otra con capacidad de 2 kg y 0,1 g de aproximación.

**K.1.5. Bolsas de plástico u otros recipientes**

Impermeables para muestras representativas.

**K.1.6. Charolas metálicas**

De lámina galvanizada, de forma rectangular de 40 × 70 × 10 cm.

**K.1.7. Placa de vidrio**

De forma rectangular de aproximadamente 20 × 20 cm.

**K.1.8. Aceite****K.1.9. Arena**

Limpia y seca, con partículas densas y redondeadas, cuyos tamaños estén comprendidos entre las mallas N°20 y N°30 (0,850 y 0,600 mm).

**K.2. TRABAJOS PREVIOS**

Previo al inicio de la prueba se efectuarán las siguientes actividades:

**K.2.1. Determinación de la masa necesaria para llenar el cono de arena**

Se determina la masa de la arena necesaria para llenar el cono de mayor tamaño del cono de arena, siguiendo el procedimiento que se indica a continuación:

- K.2.1.1.** Se vierte arena limpia y seca en el frasco del dispositivo, en una cantidad que se estime suficiente para llenar el cono de arena, el que se acopla en la boca del frasco y se cierra la válvula. Determinando la masa del dispositivo conteniendo la arena que se registra como  $W_{fs1}$ , en g.
- K.2.1.2.** Se invierte e instala el dispositivo de prueba sobre la base metálica o sobre el anillo metálico de acoplamiento de la lona, según sea el caso, previamente colocada(o) sobre una superficie limpia, horizontal y sensiblemente plana.
- K.2.1.3.** Se abre la válvula y se mantiene en estas condiciones hasta que se detenga el flujo de arena, es decir, hasta que se haya llenado el cono de mayor tamaño. En ese instante se cierra la válvula, se retira el dispositivo de prueba y se determina la masa del dispositivo con la arena remanente que se registra como  $W_{fsr1}$ , en g.
- K.2.1.4.** Finalmente se determina la masa de la arena necesaria para llenar el cono de mayor tamaño, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

$W_{sc}$  = Masa de la arena necesaria para llenar el cono de mayor tamaño, (g)

$W_{fs1}$  = Masa inicial del dispositivo conteniendo arena, (g)

$W_{fsr1}$  = Masa del dispositivo con la arena remanente, (g)

**K.2.2. Determinación de la masa volumétrica de la arena de prueba**

La masa volumétrica de la arena se determina siguiendo el procedimiento que se indica a continuación:

- K.2.2.1.** Se llena el frasco del dispositivo con arena limpia y seca, se acopla el cono de arena en la boca del frasco y se cierra la válvula.
- K.2.2.2.** Se determina la masa del dispositivo de prueba conteniendo la arena y se registra como  $W_{fs2}$ , en g.
- K.2.2.3.** Se determina el volumen  $V_r$ , del recipiente de calibración, para lo cual se sigue el procedimiento descrito en el Inciso J.2.1. de este Manual.
- K.2.2.4.** Se coloca el recipiente de calibración sobre una superficie sensiblemente horizontal y firme, en posición para ser llenado.
- K.2.2.5.** Se instala sobre el recipiente de calibración la base metálica del aparato sujetándola adecuadamente para evitar fugas de arena, y se monta en ésta el dispositivo de prueba conteniendo la arena.
- K.2.2.6.** Se abre la válvula y se mantiene en estas condiciones hasta que se detenga el flujo de arena, quedando en esta forma llenos tanto el recipiente de calibración como el cono de arena. En ese instante se cierra perfectamente la válvula y se retira el dispositivo de prueba.
- K.2.2.7.** Se determina la masa del dispositivo de prueba con la arena remanente, registrándola como  $W_{fsr2}$ , en g.
- K.2.2.8.** Finalmente se determina la masa volumétrica de la arena  $\gamma_{sd}$ , para lo cual se emplea la siguiente expresión:

$$\gamma_{sd} = \frac{W_{sd}}{V_r} \times 1\,000$$

Donde:

$\gamma_{sd}$  = Masa volumétrica de la arena seca, (kg/m<sup>3</sup>)

$V_r$  = Volumen del recipiente de calibración, (cm<sup>3</sup>)

$W_{sd}$  = Masa de la arena seca empleada para llenar el recipiente de calibración, (g), determinada con la siguiente expresión:

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

$W_{fs2}$  = Masa del dispositivo de prueba con el frasco lleno de arena, (g)

$W_{fsr2}$  = Masa del dispositivo de prueba con la arena remanente, (g)

$W_{sc}$  = Masa de la arena necesaria para llenar el cono de mayor tamaño, determinada como se indica en el Inciso K.2.1. de este Manual, (g)

### K.3. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

- K.3.1.** Una vez seleccionado el sitio en donde se realizará la prueba, ya sea en un material en estado natural o en un material compactado, se limpia y prepara la superficie del terreno de tal manera que se tenga una zona plana de aproximadamente 50 x 50 cm, libre de partículas sueltas.
- K.3.2.** Se coloca en el terreno la base metálica o la lona con el anillo metálico de acoplamiento del dispositivo, marcando sobre el terreno el borde del orificio interior de dicha base o anillo, que sirve para delimitar el área que tendrá la cala de prueba, misma que se ejecutará excavando cuidadosamente para evitar alteraciones en sus paredes y fondo, verificando que el volumen máximo de la cala no supere los 3 000 cm<sup>3</sup>.

- K.3.3.** El material extraído de la cala se recolecta y trata conforme a lo establecido en los Incisos J.3.3. y J.3.4. de este Manual, con el fin de determinar su masa  $W_m$ , en kg y su contenido de agua  $\omega$ , en %.
- K.3.4.** Se llena con arena limpia y seca el frasco del dispositivo de prueba, se acopla el cono de arena en la boca del frasco y se cierra la válvula.
- K.3.5.** Se determina la masa del dispositivo de prueba conteniendo la arena y se registra como  $W_{fs3}$ , en g.
- K.3.6.** Se invierte e instala el dispositivo de prueba sobre la base previamente colocada en la cala o sobre el anillo metálico de acoplamiento, según sea el caso, como se muestra en las Figuras 10 y 11 respectivamente.
- K.3.7.** Se abre la válvula y se mantiene en estas condiciones hasta que el flujo de arena se suspenda por haberse llenado tanto la cala como el cono de mayor tamaño. En ese instante se cierra la válvula y se retira el dispositivo de prueba.
- K.3.8.** Finalmente se determina la masa del dispositivo de prueba con la arena remanente, registrándola como  $W_{fsr3}$ , en g.



FIGURA 10.- Instalación del aparato en la placa de base

#### K.4. CÁLCULOS Y RESULTADOS

En esta prueba se calcula y reporta:

- K.4.1.** El volumen de la cala de prueba, que se determina empleando 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 de prueba con el frasco lleno de arena, (g)

$W_{fsr3}$  = Masa del dispositivo de prueba con la arena remanente, (g)

$W_{sc}$  = Masa de la arena necesaria para llenar el cono de mayor tamaño, determinada como se indica en el Inciso K.2.1. de este Manual, (g)

$\gamma_{sd}$  = Masa volumétrica de la arena limpia y seca empleada en la prueba, determinada como se indica en el Inciso K.2.2. de este Manual, (kg/m<sup>3</sup>)



**K.4.2.** La masa volumétrica del material húmedo en la cala, que se determina empleando la siguiente expresión:

$$\gamma_m = \left( \frac{W_m}{V_m} \right) \times 1\,000$$

Donde:

$\gamma_m$  = Masa volumétrica del material húmedo en estado natural, (kg/m<sup>3</sup>)

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

$V_m$  = Volumen de la cala de prueba, (cm<sup>3</sup>)

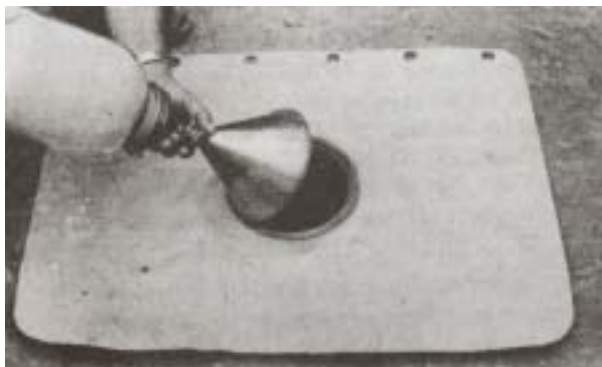


FIGURA 11.- Instalación del aparato en el anillo metálico de acoplamiento

**K.4.3.** La masa volumétrica seca del material en estado natural, que se determina empleando la siguiente expresión:

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

Donde:

$\gamma_{dn}$  = Masa volumétrica seca del material en estado natural en la cala, que se considera igual a  $\gamma_{dc}$  para el caso de suelos en estado compacto, (kg/m<sup>3</sup>)

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

$\gamma_m$  = Masa volumétrica del material húmedo, obtenida como se indica en el Inciso K.4.2. de este Manual, (kg/m<sup>3</sup>)

## K.5. PRECAUCIONES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, además de observar las precauciones indicadas en la Fracción J.5. de este Manual, se cuidará que la base metálica o el anillo de acoplamiento de la lona, donde se apoye en cono de arena, esté completamente asentado en el sitio de prueba, para evitar fugas de la arena.

## L. 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 diferentes condiciones de estructura y acomodo, previo a su determinación se deberá contar, como datos, con dichas masas volumétricas, calculadas de acuerdo con lo señalado en alguno o algunos de los procedimientos indicados en las Cláusulas anteriores de este Manual.

**L.1. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN VOLUMÉTRICA DEL MATERIAL DE ESTADO NATURAL A ESTADO SUELTO**

Su valor se obtiene mediante la relación entre la masa volumétrica seca del material en estado natural y la masa volumétrica seca del mismo material en estado suelto, aplicando la siguiente expresión:

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

Donde:

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

$\gamma_{dn}$  = Masa volumétrica seca del material en estado natural, (kg/m<sup>3</sup>)

$\gamma_{ds}$  = Masa volumétrica seca del material en estado suelto, (kg/m<sup>3</sup>)

**L.2. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN VOLUMÉTRICA DEL MATERIAL DE ESTADO NATURAL A ESTADO COMPACTO**

Su valor se obtiene mediante la relación entre la masa volumétrica seca del material en estado natural y la masa volumétrica seca del mismo material compactado en el lugar, aplicando la siguiente expresión:

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

Donde:

$C_{nc}$  = Coeficiente de variación volumétrica, de estado natural a estado compacto, (adimensional)

$\gamma_{dc}$  = Masa volumétrica seca del material en estado compacto, (kg/m<sup>3</sup>)

$\gamma_{dn}$  = Masa volumétrica seca del material en estado natural, (kg/m<sup>3</sup>)

**L.3. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN VOLUMÉTRICA DEL MATERIAL DE ESTADO SUELTO A ESTADO COMPACTO**

Su valor se obtiene mediante la relación entre la masa volumétrica seca del material en estado suelto y la masa volumétrica seca del mismo material compactado en el lugar, aplicando la siguiente expresión:

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

Donde:

$C_{sc}$  = Coeficiente de variación volumétrica del material, de estado suelto a estado compacto, (adimensional)

$\gamma_{dc}$  = Masa volumétrica seca del material en estado compacto, (kg/m<sup>3</sup>)

$\gamma_{ds}$  = Masa volumétrica seca del material en estado suelto, (kg/m<sup>3</sup>)

**L.4. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN VOLUMÉTRICA DEL MATERIAL DE ESTADO SUELTO A COMPACTADO EN EL LABORATORIO**

Su valor se obtiene mediante la relación entre la masa volumétrica seca del material en estado suelto y la masa volumétrica seca del mismo material compactado en el laboratorio por alguno de los procedimientos indicados en el Manual M-MMP-1-09, *Compactación AASHTO*, aplicando el siguiente procedimiento:

**L.4.1. Consideraciones previas**

Además de las masas volumétricas indicadas en esta Cláusula, se determinan:

**L.4.1.1.** La masa volumétrica seca máxima del material compactado en el laboratorio,  $\gamma_{dm\acute{a}x}$ , mediante alguno de los procedimientos indicados en el Manual M-MMP-1-09, *Compactación AASHTO* u otro procedimiento de compactación dinámica indicado por la Secretaría, determinándose previamente en la muestra original que se utiliza para la prueba de compactación considerada, el porcentaje de material retenido en la malla  $\frac{3}{4}$ " (19 mm de abertura), registrándolo como  $y$ , así como el porcentaje de material que pasa a través de dicha malla, registrándolo como  $x$ .

**L.4.1.2.** La densidad relativa aparente de la fase sólida de la fracción de material retenida en la malla  $\frac{3}{4}$ ", conforme a lo citado en el Párrafo anterior, que se determina de acuerdo con lo establecido en el Manual M-MMP-1-05, *Densidades Relativas y Absorción*, registrándola como  $S_{ap}$ .

**L.4.2. Cálculo del coeficiente de variación volumétrica de estado suelto a estado compactado en el laboratorio**

Se calcula y reporta el coeficiente de variación volumétrica de estado suelto a estado compacto en el laboratorio, mediante la siguiente expresión:

$$C_{sl} = \frac{\gamma_{ds}}{\gamma'_{d\acute{m}\acute{a}x}}$$

Donde:

$C_{sl}$  = Coeficiente de variación volumétrica, de estado suelto a estado compacto en el laboratorio, (adimensional)

$\gamma_{ds}$  = Masa volumétrica seca del material en estado suelto, (kg/m<sup>3</sup>)

$\gamma'_{d\acute{m}\acute{a}x}$  = Masa volumétrica seca máxima corregida del material compactado en el laboratorio, (kg/m<sup>3</sup>), calculada como:

$$\gamma'_{d\acute{m}\acute{a}x} = \frac{100}{\frac{x}{\gamma_{dm\acute{a}x}} + \frac{y}{R S_{ap} \gamma_o}}$$

$x$  = Masa del material que pasa la malla  $\frac{3}{4}$ ", (% respecto a la muestra original)

$y$  = Masa del material retenido en la malla  $\frac{3}{4}$ ", (% respecto a la muestra original)

$\gamma_{dm\acute{a}x}$  = Masa volumétrica seca máxima de la fracción que pasa la malla  $\frac{3}{4}$ ", obtenido mediante el procedimiento AASHTO u otro procedimiento de compactación dinámica indicado por la Secretaría, (kg/m<sup>3</sup>)

$S_{ap}$  = Densidad relativa aparente de la fase sólida de la fracción de material retenida en la malla de  $\frac{3}{4}$ ", (adimensional)

$\gamma_o$  = Masa volumétrica del agua, considerada como 1 000 kg/m<sup>3</sup>

$R$  = Coeficiente cuyo valor está dado en función del parámetro  $y$ , de acuerdo con lo indicado en la Tabla 3 de este Manual.

**TABLA 3.- Coeficiente R con respecto a los valores de y**

$y$	$R$
20 ó 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