

LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: 1. SUELOS Y MATERIALES PARA TERRACERÍAS

TÍTULO: 05. Densidades Relativas y Absorción

A. CONTENIDO

Este Manual describe los procedimientos para determinar las densidades relativas del material seco, del material saturado y superficialmente seco y de sólidos, así como la absorción de los materiales para terracerías 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 relaciones masa-volumen de los materiales respecto a la relación masa-volumen del agua, así como la absorción de los materiales y se utilizan para calcular los volúmenes ocupados por el material o mezcla de materiales en sus diferentes condiciones de contenidos de agua y el cambio de masa del material debido a la entrada de agua en sus poros, con respecto a su condición en estado seco; las pruebas se realizan de distinta manera en la fracción del material retenida en la malla N°4 (4,75 mm) y en la porción que pasa dicha malla.

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

D. DEFINICIONES

La determinación de las densidades relativas, así como de la absorción, se hace considerando que, si se representa esquemáticamente una muestra de suelo o una partícula gruesa de material pétreo, parcialmente saturadas, formadas por sus fases sólida, líquida y gaseosa, como se indica en la Figura 1 de este Manual, se establecen las siguientes definiciones:

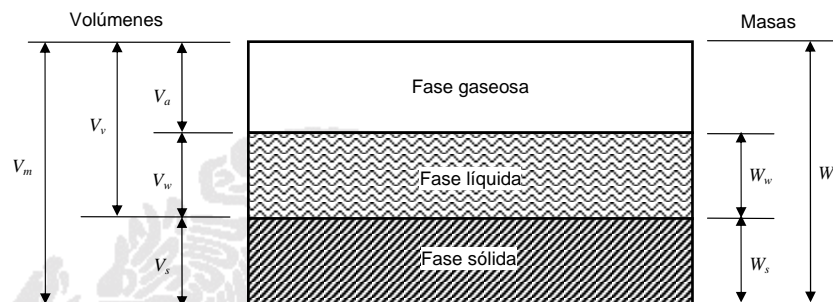
- D.1.** Densidad relativa del material seco, S_d , es un número abstracto que representa la relación entre la masa volumétrica del material seco a la temperatura del lugar, γ_d y la masa volumétrica del agua destilada a 4°C, γ_o , ambas a la presión barométrica del lugar:

$$S_d = \frac{\gamma_d}{\gamma_o} = \frac{W_s}{(V_m)\gamma_o} = \frac{W_s}{(V_s + V_v)\gamma_o}$$

Donde:

- S_d = Densidad relativa del material seco, (adimensional)
 γ_d = Masa volumétrica del material seco, (kg/m³)
 γ_o = Masa volumétrica del agua destilada a 4°C, (kg/m³)
 W_s = Masa de sólidos, (kg)
 V_m = Volumen total de la muestra, (m³)
 V_s = Volumen de sólidos, (m³)
 V_v = Volumen de vacíos, (m³)

En la práctica, en lugar de γ_o , que es de 1 g/cm³ (1 000 kg/m³), se emplea la masa volumétrica del agua en las mismas condiciones de temperatura y presión barométrica de la muestra, γ_w , para determinar la densidad relativa del material húmedo, por ser aproximadamente iguales, así como para determinar todas las densidades relativas a que se refieren las Fracciones D.2. y D.3. de este Manual.



Donde:

- V_m = Volumen total del material
 V_s = Volumen de la fase sólida o volumen de sólidos
 V_v = Volumen de vacíos
 V_w = Volumen de la fase líquida o volumen del agua
 V_a = Volumen de la fase gaseosa o volumen del aire
 W_m = Masa total del material
 W_s = Masa de la fase sólida o masa de sólidos
 W_w = Masa de la fase líquida o masa del agua

FIGURA 1.- Esquema de una muestra de suelo o de una partícula gruesa de material pétreo

D.2. Densidad relativa del material saturado y superficialmente seco, S_{sat} , es un número abstracto que representa la relación entre la masa volumétrica del material saturado a la temperatura del lugar, γ_{sat} , y la masa volumétrica del agua destilada a 4°C, γ_o , ambas a la presión barométrica del lugar:

$$S_{sat} = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_o} = \frac{W_s + W_w}{(V_m)\gamma_o} = \frac{W_s + W_w}{(V_s + V_v)\gamma_o} \quad (\text{en condición saturada})$$

Donde:

- S_{sat} = Densidad relativa del material saturado y superficialmente seco, (adimensional)
 γ_{sat} = Masa volumétrica del material saturado y superficialmente seco, (kg/m³)
 γ_o = Masa volumétrica del agua destilada a 4°C, (kg/m³)
 W_s = Masa de sólidos, (kg)
 W_w = Masa del agua en condiciones de saturación, es decir, del agua que ocupa todos los vacíos, (kg)
 V_m = Volumen total del material, (m³)

V_s = Volumen de sólidos, (m³)

V_v = Volumen de vacíos, (m³)

- D.3.** Densidad relativa de sólidos, es decir, de la fase sólida del material, S_s , es un número abstracto que representa la relación entre la masa volumétrica de la fase sólida del material a la temperatura del lugar, γ_{sol} , y la masa volumétrica del agua destilada a 4°C, γ_o , ambas a la presión barométrica del lugar:

$$S_s = \frac{\gamma_{sol}}{\gamma_o} = \frac{W_s}{(V_s)\gamma_o}$$

Donde:

S_s = Densidad relativa de sólidos, es decir, de la fase sólida del material, (adimensional)

γ_{sol} = Masa volumétrica de la fase sólida del material, (kg/m³)

γ_o = Masa volumétrica del agua destilada a 4°C, (kg/m³)

W_s = Masa de sólidos, (kg)

V_s = Volumen de sólidos, (m³)

- D.4.** Absorción del material es la masa del agua o líquido que penetra en los espacios entre las partículas de un suelo y en las oquedades de las partículas gruesas, cuando se le deja sumergido en agua a una temperatura de 15 a 25°C, durante 24 h; se expresa en por ciento con relación a la masa de sólidos del material.

E. 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 alta calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad.

E.1. MALLA N°4

Con abertura de 4,75 mm, de alambre de bronce o de acero inoxidable, tejido en forma de cuadrícula. El tejido estará sostenido mediante un bastidor circular metálico, de lámina de bronce o latón, de 206 ± 2 mm de diámetro interior y 68 ± 2 mm de altura, sujetando la malla rígida y firmemente mediante un sistema de engargolado de metales, a una distancia de 50 mm del borde superior del bastidor.

E.2. BALANZAS

Una con capacidad de 5 kg y aproximación de 0,5 g; otra con capacidad de 1 kg y aproximación de 0,01 g.

E.3. CANASTILLA

De malla metálica con abertura de 3,35 mm (N°6) ó 2,36 mm (N°8), de aproximadamente 20 cm de diámetro y 20 cm de altura.

E.4. RECIPIENTE

Adecuado para sumergir las canastillas en agua y saturar el material.

E.5. DISPOSITIVO DE SUSPENSIÓN

De alambre u otro material adecuado para suspender la canastilla del centro del platillo de la balanza, como el mostrado en la Figura 2 de este Manual. El alambre o material utilizado en este dispositivo será del diámetro más pequeño posible para reducir al mínimo los efectos de la longitud sumergida del mismo.

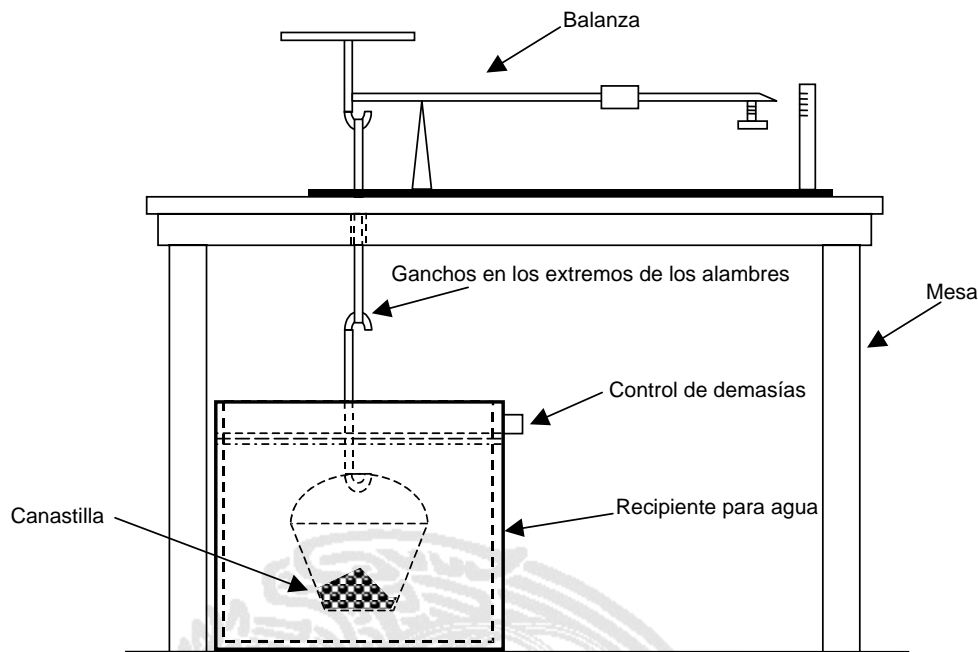


FIGURA 2.- Disposición del equipo para la determinación de la masa sumergida

E.6. HORNO

Con capacidad suficiente para contener la porción de la muestra que será probada, ventilado, provisto de termostato capaz de mantener una temperatura de 105°C y aproximación de $\pm 5^\circ\text{C}$.

E.7. PICNÓMETRO TIPO SIFÓN

Formado por un cilindro metálico de 163 mm de diámetro y 370 mm de altura, con un sifón colocado a 250 mm de su base, como el mostrado en la Figura 3 de este Manual.

E.8. DESECADOR

De cristal, de tamaño adecuado para contener los recipientes con la porción de muestra que será probada y con cloruro de calcio anhidro como elemento desecador.

E.9. LIENZO

De material absorbente, de 60 x 60 cm.

E.10. MATRAZ

Tipo *Pyrex*, aforado, de cuello largo y fondo plano, de 500 cm³ de capacidad.

E.11. PROBETA GRADUADA

De 1 000 cm³ de capacidad y aproximación de 10 cm³.

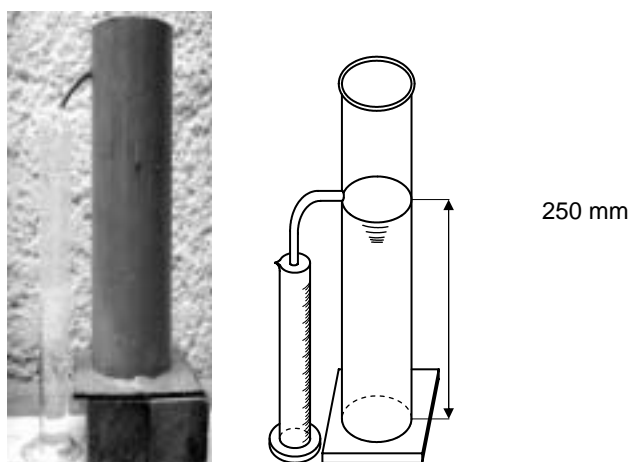


FIGURA 3.- Pícnómetro tipo sifón y probeta graduada

E.12. TERMÓMETRO

Calibrado, con un rango de 0 a 50°C y aproximación de 0,1°C.

E.13. FUENTE DE CALOR

Parrilla eléctrica u otra fuente de calor.

E.14. TRAMPA DE VACÍO O DISPOSITIVO NEUMÁTICO DE SUCCIÓN

Capaz de producir un vacío máximo correspondiente a 100 mm de Hg, (0,136 kg/cm²).

E.15. BATIDORA

Como la mostrada en la Figura 4 de este Manual.

E.16. CUENTA GOTAS O PIPETA

De vidrio o metal.

E.17. MOLDE DE LATÓN O ACERO INOXIDABLE

En forma de cono truncado de 38 mm de diámetro en la base superior, 89 mm de diámetro en la inferior y 74 mm de altura. El espesor de la lámina será de 0,9 mm como mínimo.

E.18. PISÓN METÁLICO

Con masa de 340 ± 15 g, con los extremos planos y de un diámetro de 25 ± 3 mm.

E.19. ESPÁTULA

Con las dimensiones adecuadas para mezclar la muestra en la cápsula.

E.20. CÁPSULA DE PORCELANA

De 1 L de capacidad.



FIGURA 4.- Batidora para la preparación de la muestra de suelos arcillosos o cohesivos

E.21. EMBUDO

De vidrio o de plástico.

E.22. AGUA

Destilada.

E.23. ALCOHOL

De uso comercial.

E.24. ÉTER SULFÚRICO

Para lavar el matraz.

E.25. BICROMATO DE POTASIO

Para preparar una mezcla crómica para el lavado del matraz.

E.26. ÁCIDO SULFÚRICO

De uso comercial.

F. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La preparación de la muestra de materiales para terracerías, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-1-01, *Muestreo de Materiales para Terracerías*, se hace de la siguiente manera:

F.1. PREPARACIÓN

De la muestra del material recibida en el laboratorio, se toman aproximadamente 5 kg, los que se secan, disgregan y criban como se indica en el Manual M-MMP-1-03, *Secado, Disgregado y Cuarteo de Muestras*, para separarlos mediante cribado en dos fracciones: el material que se

retiene en la malla N°4 (4,75 mm) y el que pasa por dicha malla, colocando las fracciones en charolas distintas.

F.2. OBTENCIÓN DE LAS PORCIONES DE LA MUESTRA QUE SERÁN PROBADAS

F.2.1. Material que se retiene en la malla N°4

De la fracción de material retenida en la malla N°4, se separa por cuarteo una porción entre 100 y 500 g, de la cual se obtiene su masa y se registra como W_m , en g.

F.2.2. Suelos arcillosos o cohesivos

F.2.2.1. De la fracción de material que pasa la malla N°4, se separa por cuarteo una porción entre 100 y 500 g.

F.2.2.2. Se deposita este material en una cápsula, se adiciona agua destilada y se mezcla con la espátula hasta obtener una pasta suave.

F.2.2.3. Se coloca la pasta en el vaso de la batidora, se agrega agua destilada hasta completar aproximadamente 250 cm^3 y se hace funcionar el aparato durante un lapso de 15 min, aproximadamente, para formar una suspensión uniforme.

F.2.2.4. Finalmente se toma una porción no menor de 100 g, de la cual se obtiene su masa y se registra como W_{sat} , en g.

F.2.3. Suelos arenosos o no cohesivos

F.2.3.1. De la fracción de material que pasa la malla N°4, se separa por cuarteo una porción entre 100 y 500 g.

F.2.3.2. Se seca el material hasta masa constante, a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ y se deja enfriar a la temperatura ambiente.

F.2.3.3. Se sumerge el material en un vaso con agua limpia a una temperatura de 15 a 25°C y se mantiene en estas condiciones durante 24 h.

F.2.3.4. Se decanta el agua, se extiende el material sobre una superficie plana no absorbente y se aplica una corriente de aire a la vez que se mueve en forma continua para asegurar un secado uniforme.

F.2.3.5. Se coloca el molde cónico sobre una superficie plana apoyándolo en su base de mayor diámetro y se llena con material parcialmente seco, se le aplican veinticinco golpes suaves con el pisón y se levanta verticalmente el molde. Si el material contiene agua superficial mantendrá la forma cónica; en este caso, se continúa la operación de secado, repitiendo frecuentemente el procedimiento del cono antes descrito, hasta que al levantar éste, el material no mantenga la forma cónica, lo que indicará que no contiene agua superficial. Si al efectuar la prueba por primera vez, el material no mantiene la forma cónica, se le agrega un poco de agua, se mezcla perfectamente y se deja en reposo en un recipiente cubierto, durante un tiempo mínimo de 30 min, para después repetir la operación de secado que se indica en este Párrafo.

F.2.3.6. Finalmente se toma una porción no menor de 100 g, de la cual se obtiene su masa y se registra como W_{sat} , en g.

G. CALIBRACIÓN DEL MATRAZ

Previamente al inicio de la prueba, se verificará que el equipo por emplear para el material que pasa la malla N°4 se encuentre calibrado, considerando lo siguiente:

- G.1.** Se lava el matraz con la mezcla crómica para eliminar la grasa adherida en su interior. La mezcla crómica para lavado se obtiene disolviendo en caliente 60 g de bicromato de potasio en 300 cm³ de agua destilada, a la cual se le adicionan en frío 450 cm³ de ácido sulfúrico comercial.
- G.2.** Se enjuaga el matraz con agua destilada y se escurre perfectamente, bañando a continuación su pared interior con alcohol para eliminar los residuos de agua.
- G.3.** Para finalizar el lavado se enjuaga nuevamente el matraz con éter sulfúrico y con objeto de facilitar su eliminación, se coloca el matraz en un soporte con la boca libre hacia abajo, durante 10 min.
- G.4.** Se determina la masa del matraz seco y limpio, y se registra como W_f , en g.
- G.5.** Con agua destilada a la temperatura ambiente, se llena el matraz hasta aproximadamente 0,5 cm abajo de la marca de aforo, dejándola reposar durante unos minutos.
- G.6.** Se verifica que la temperatura del agua dentro del matraz sea uniforme, para lo cual se toman lecturas con el termómetro a diferentes profundidades. Si la temperatura no es uniforme y la diferencia es menor de 0,2°C, se agita suavemente el agua con el termómetro, pero si la diferencia de temperaturas es mayor de 0,2°C, se tapa el matraz con la palma de la mano y se voltea lentamente procurando evitar la formación de burbujas; finalmente se mide la temperatura del agua colocando el bulbo del termómetro en el centro del matraz y se registra dicha temperatura como t_0 , en °C.
- G.7.** Utilizando el cuentagotas o pipeta, se agrega agua destilada hasta que la parte inferior del menisco del líquido coincida con la marca de aforo.
- G.8.** Posteriormente, sin tocar o alterar dicho menisco se seca cuidadosamente el interior del cuello del matraz con el lienzo absorbente enrollado y se determina la masa del matraz lleno de agua, registrándola como P_0 , en g.
- G.9.** Siguiendo las indicaciones de las Fracciones G.6. a G.8. de este Manual, se efectúan otras cuatro determinaciones de la masa P del matraz lleno de agua, a las temperaturas de 5 y 10°C por abajo y 5 y 10°C por arriba, aproximadamente, de la temperatura inicial del agua (t_0), registrando 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.
- G.10.** Finalmente, sobre un sistema de ejes coordenados, se dibuja una curva de calibración para el matraz de prueba, marcando las temperaturas en las abscisas y las masas en las ordenadas, y se traza una curva suave y continua como se ilustra en la Figura 5 de este Manual.

H. MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N°4

H.1. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

- H.1.1.** Se lava la porción del material retenida en la malla N°4, con el fin de eliminar cualquier residuo de polvo o material contaminante que contenga.
- H.1.2.** Se seca la porción lavada hasta masa constante a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ y se deja enfriar a temperatura ambiente durante 1 a 3 h.
- H.1.3.** La porción lavada se sumerge en agua limpia a una temperatura entre 15 y 25°C y se mantiene en estas condiciones durante 24 h.
- H.1.4.** Transcurrido este tiempo, se extrae del agua el material y se desliza sobre el lienzo absorbente ligeramente humedecido para secarla superficialmente; las partículas más grandes se secan en forma individual. La condición de saturado y superficialmente seco se

logra cuando las partículas, no obstante que se noten húmedas, han perdido la película brillante visible de agua. Esta operación se llevará a cabo en forma rápida para evitar cualquier pérdida de agua por evaporación.

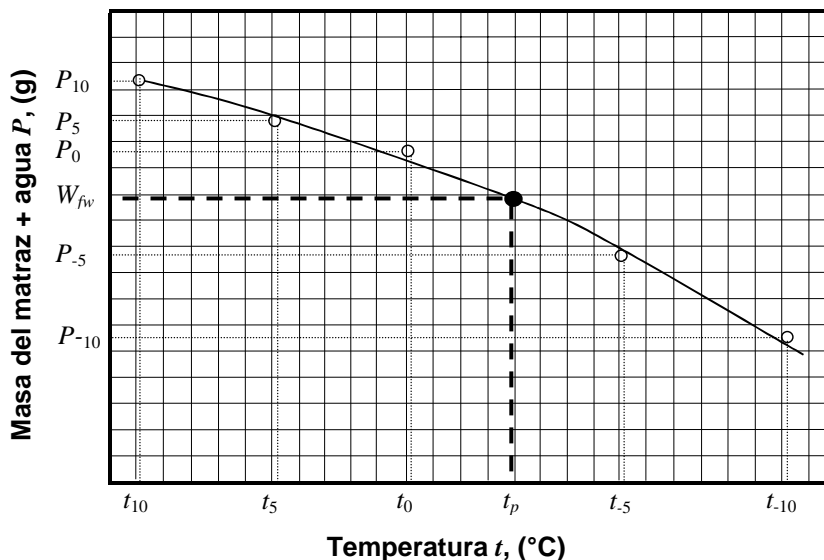


FIGURA 5.- Curva de calibración del matraz

- H.1.5. Se obtiene la masa de la canastilla vacía y sumergida en el agua y se registra como W_c , en g.
- H.1.6. Se obtiene la masa del material saturado y superficialmente seco y se registra como W_1 , en g.
- H.1.7. Inmediatamente después se coloca el material dentro de la canastilla de alambre, se sumergen ambos en agua limpia a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y se suspenden en el centro del platillo de la balanza, por medio del dispositivo previsto para tal fin. La canastilla se sumergirá a una profundidad adecuada para que ésta y el material queden completamente cubiertos por el agua. Cuando se aprecie que no salen burbujas de la canastilla y material sumergidos, se determina la masa del material con la canastilla y se registra como W_2 , en g.
- H.1.8. Se saca del agua la canastilla con el material, se vierte el material en una charola y se coloca dentro del horno a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$, para su secado hasta masa constante.
- H.1.9. Después de secado el material, se deja enfriar dentro del desecador hasta que alcance la temperatura ambiente y a continuación, se determina y registra su masa como W_3 , en g.
- H.1.10. Se determina la masa del material sumergido en el agua restando a la masa W_2 , la masa W_c , de la canastilla sumergida y se registra como W_3 , en g.

H.2. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Las densidades relativas y la absorción del material retenido en la malla N°4 se calculan como se indica a continuación:

- H.2.1. La densidad relativa del material seco, se determina empleando la siguiente expresión:

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

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), calculada como:

$$W_3 = W_2 - W_c$$

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

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

H.2.2. La densidad relativa del material saturado y superficialmente seco, se determina empleando la siguiente expresión:

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

Donde:

S_{sat} = 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), calculada como:

$$W_3 = W_2 - W_c$$

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

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

H.2.3. La densidad relativa de sólidos del material, se determina empleando la siguiente expresión:

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

Donde:

S_s = 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), calculada como:

$$W_3 = W_2 - W_c$$

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

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

H.2.4. La absorción del material, se determina empleando la siguiente expresión:

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

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)

I. PROCEDIMIENTO ALTERNATIVO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA DE SÓLIDOS DEL MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N°4

Cuando no se requiere mucha precisión en la determinación de la densidad relativa de sólidos, a que se refiere el Inciso H.2.3. de este Manual, el volumen del material, se podrá determinar como se indica a continuación.

I.1. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

- I.1.1.** Se coloca el picnómetro sobre una superficie horizontal libre de vibraciones y se llena con agua destilada hasta el nivel de derrame, dejando abierto el grifo de salida. Bajo el grifo, en su extremo, se coloca una probeta graduada vacía.
- I.1.2.** Del material saturado y superficialmente seco, como se indica en los Incisos H.1.1. a H.1.4. de este Manual, se obtiene su masa y se registra como W_1 , en g, se sumerge el material en el picnómetro y se recolecta en la probeta graduada el agua desalojada. Al concluir la inmersión del material, se mide sobre la escala de la probeta graduada el volumen correspondiente y se registra como V_1 , en cm^3 .
- I.1.3.** Se extrae el material del picnómetro y se coloca en una charola para secarlo en el horno a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 20 h o hasta masa constante. Transcurrido este tiempo, el material se saca del horno y se deja enfriar hasta temperatura ambiente.
- I.1.4.** Una vez enfriado, se determina la masa del material seco y se registra como W_s , en g.

I.2. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se reporta como resultado de la prueba, densidad relativa de sólidos, utilizando la siguiente expresión:

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

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, (m^3)

J. MATERIAL QUE PASA LA MALLA N°4

J.1. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA PARA MATERIALES ARCILLOSOS O COHESIVOS

- J.1.1.** Inmediatamente después de preparar la fracción de la muestra que pasó la malla N°4, conforme a lo indicado en los Incisos F.2.2. ó F.2.3. de este Manual, según sea el caso, utilizando el embudo, se introduce el material en el matraz previamente calibrado. Posteriormente se llena el matraz con agua destilada hasta aproximadamente la mitad de su capacidad.

- J.1.2.** Empleando el dispositivo de succión, se aplica vacío al matraz durante 15 min, con objeto de extraer el aire atrapado en la muestra. Para facilitar este proceso se agita cuidadosamente la suspensión con un movimiento giratorio del matraz alrededor de su eje. La succión máxima que se aplique no deberá exceder de 100 mm de Hg (0,136 kg/cm²). En caso de no contar con el dispositivo de succión, utilizando la parrilla eléctrica o fuente de calor, se pone en ebullición el agua del matraz durante 10 min aproximadamente, moviendo al mismo tiempo el material con el agitador mientras hierve, hasta expulsar el aire atrapado.
- J.1.3.** Se deja enfriar el matraz hasta alcanzar la temperatura ambiente y se adiciona el volumen de agua destilada necesario para alcanzar la marca de aforo y, en su caso, se vuelve a aplicar el vacío para asegurar que no haya quedado aire atrapado en la muestra, lo cual ocurrirá cuando ya no se observe ninguna variación en el nivel del menisco; si es necesario, se quitará o agregará agua destilada utilizando el cuentagotas, de tal forma que el nivel inferior del menisco coincida con la marca de aforo.
- J.1.4.** Se secan cuidadosamente la superficie exterior del matraz y el interior del cuello del mismo. Para esta última operación se emplea un lienzo absorbente enrollado, evitando tocar el menisco.
- J.1.5.** Se obtiene la masa del matraz con el material y el agua, registrándola como, W_{fsw} , en g.
- J.1.6.** Se tapa el matraz y se invierte varias veces en forma cuidadosa con el fin de uniformar la temperatura de la suspensión, a continuación se coloca el bulbo del termómetro en el centro del matraz y se registra la temperatura, misma que es considerada como la temperatura de la prueba t_p .
- J.1.7.** Hecho lo anterior, se vierte toda la suspensión a una cápsula de porcelana, empleando el agua necesaria para arrastrar todas las partículas de suelo y se deja reposar durante 24 h. Se elimina el agua sobrante mediante una cuidadosa decantación y se lleva la muestra al horno para su secado total a masa constante, a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$; se determina y se anota la masa seca de la muestra, W_s , en g.
- J.1.8.** En el caso de suelos arenosos o no cohesivos, el período de reposo podrá reducirse hasta que se observe limpio el tirante de agua, continuando la prueba en la forma descrita en el Inciso anterior.
- J.1.9.** Finalmente, utilizando la curva de calibración del matraz como la mostrada en la Figura 5 de este Manual, se obtiene la masa del matraz con el agua, en g, correspondiente a la temperatura de prueba t_p y se registra como W_{fw} .

J.2. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se calculan y se reporta como resultado de la prueba lo siguiente:

- J.2.1.** La densidad relativa del material seco se determina mediante la siguiente expresión:

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

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 prueba t_p , determinada gráficamente de 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 al suelo y agua hasta la marca de aforo, a la temperatura de prueba t_p , (g)

- J.2.2.** La densidad relativa del material saturado y superficialmente seco, se determina con la siguiente expresión:

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

Donde:

S_{sat} = Densidad relativa del material saturado y superficialmente seco, (adimensional)

W_{sat} = Masa del suelo no cohesivo, saturado y superficialmente seco, (g)

W_{fw} = Masa del matraz lleno de agua a la temperatura de prueba t_p , determinada gráficamente de la curva de calibración del matraz, (g)

W_{fsw} = Masa del matraz conteniendo al suelo y agua hasta la marca de aforo, a la temperatura de prueba t_p , (g)

- J.2.3.** La densidad relativa de sólidos del material, se determina con la siguiente expresión:

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

Donde:

S_s = Densidad relativa de sólidos del material, (adimensional)

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

W_{fw} = Masa del matraz lleno de agua a la temperatura de prueba t_p , determinada gráficamente de la curva de calibración del matraz, (g)

W_{fsw} = Masa del matraz conteniendo al suelo y agua hasta la marca de aforo, a la temperatura de prueba t_p , (g)

- J.2.4.** La absorción del material se determina con la siguiente expresión:

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

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)

K. PRECAUCIONES

Para evitar errores durante la ejecución de las pruebas, se observan las siguientes precauciones:

- K.1.** Que las pruebas se realicen en un lugar cerrado, bien ventilado, limpio y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que provoquen la contaminación de las muestras de material.

- K.2.** Que todo el equipo esté perfectamente limpio, para que al hacer la prueba los materiales no se mezclen con agentes extraños que alteren el resultado.
- K.3.** Que las balanzas se encuentren debidamente calibradas.
- K.4.** Que no quede aire atrapado en el material, debido a una deficiente succión o a una ebullición escasa.
- K.5.** Que, en su caso, durante la etapa de ebullición sólo se aplique el suficiente calor para mantener la suspensión hirviendo y que el matraz sea agitado tanto como sea necesario para prevenir que el suelo se pegue o seque sobre el vidrio arriba de la superficie de la suspensión.
- K.6.** Que al comenzar la prueba, el material se encuentre en la condición de saturado y superficialmente seco.
- K.7.** Que el picnómetro se encuentre debidamente nivelado y lleno hasta el nivel de derrame, y que al depositar el material en su interior no se salpique agua fuera del recipiente.

