LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: ***4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS***

TÍTULO: 04. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas

CAPÍTULO: 003. Densidades Relativas y Absorción de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas

A. CONTENIDO

Este Manual describe los procedimientos de prueba para determinar las densidades relativas de los materiales pétreos que se utilicen en mezclas asfálticas, en sus estados seco, saturado y superficialmente seco, así como su densidad relativa aparente y su absorción a que se refiere la Norma N·CMT·4·04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, en muestras tomadas conforme al Manual M·MMP·4·04·001, *Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*.

B. OBJETIVO DE LAS PRUEBAS

Estas pruebas permiten determinar las densidades relativas de los materiales pétreos, es decir, sus relaciones masa-volumen respecto a la relación masa-volumen del agua, así como la absorción de los materiales pétreos, propiedades que se utilizan para calcular los volúmenes ocupados por los materiales en la mezcla asfáltica; las densidades relativas se determinan mediante dos pruebas, una para la fracción del material pétreo retenida en la malla N°4 (4,75 mm) y otra para la que pasa dicha malla.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con la Norma N·CMT·4·04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas* y el Manual M·MMP·4·04·001, *Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*.

D. DEFINICIONES

La determinación de las densidades relativas, así como de la absorción, se hace considerando que, si se representa esquemáticamente una partícula gruesa de material pétreo, parcialmente saturada, formada 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 pétreo seco, d_{pd}, es un número abstracto que representa la relación entre la masa volumétrica del material pétreo seco, γ_{pd} y la masa volumétrica del agua destilada, γ_w, ambas a la temperatura y la presión barométrica del lugar, pero en la práctica se emplea el valor de la masa volumétrica del agua, γ_o, es decir 1 g/cm³ (1 000 kg/m³) a 4°C y una presión de 1 atmósfera, por ser aproximadamente iguales:

$$d_{pd} = \frac{\gamma_{pd}}{\gamma_o} = \frac{W_s}{(V_p)\gamma_o} = \frac{W_s}{(V_s + V_v)\gamma_o}$$

Donde:

d_{pd} = Densidad relativa del material pétreo seco, (adimensional)

γ_{pd} = Masa volumétrica del material pétreo seco, (kg/m^3)

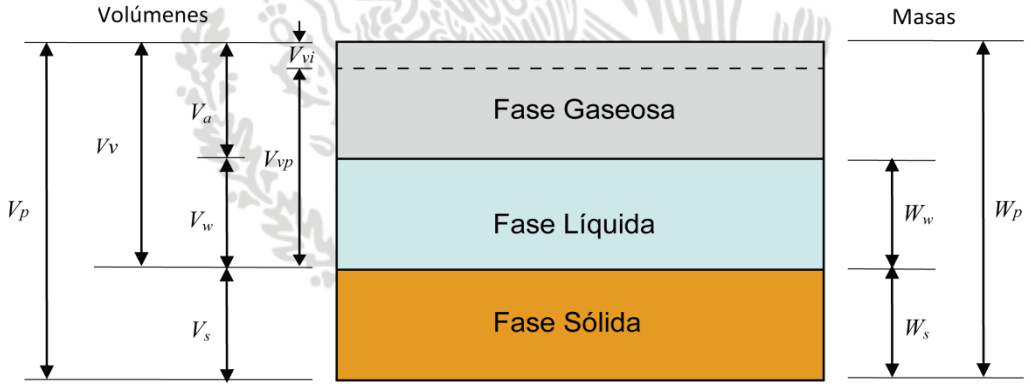
γ_o = Masa volumétrica del agua destilada a 4°C y a una presión de 1 atmósfera, (kg/m^3)

W_s = Masa de sólidos del material pétreo, (kg)

V_p = Volumen total del material pétreo, (m^3)

V_s = Volumen de sólidos, (m^3)

V_v = Volumen de vacíos permeables, (m^3)



Donde:

Vp = Volumen total del material pétreo
Vs = Volumen de la fase sólida o volumen de sólidos
Vv = Volumen de vacíos
Vw = Volumen de la fase líquida o volumen del agua
Va = Volumen de la fase gaseosa o volumen del aire
Vvi = Volumen de vacíos impermeables
Vvp = Volumen de vacíos permeables

Wp = Masa total del material pétreo
Ws = Masa de la fase sólida o masa de sólidos
Ww = Masa de la fase líquida o masa del agua

FIGURA 1.- Esquema de una partícula gruesa de material pétreo

D.2. Densidad relativa del material pétreo saturado y superficialmente seco, d_{psat}, es un número abstracto que representa la relación entre la masa volumétrica del material pétreo saturado, γ_{psat}, y la masa volumétrica del agua destilada a 4°C, γ_o, ambas a la temperatura del lugar y a la presión barométrica del lugar, pero en la práctica se emplea el valor de la masa volumétrica del agua, γ_o, es decir 1 g/cm^3 (1 000 kg/m^3) a 4°C y una presión de 1 atmósfera, por ser aproximadamente iguales:

$$d_{psat} = \frac{\gamma_{psat}}{\gamma_o} = \frac{W_s + W_w}{(V_p)\gamma_o} = \frac{W_s + W_w}{(V_s + V_{vp})\gamma_o} \quad \text{(en condición saturada)}$$

Donde:

d_{psat} = Densidad relativa del material pétreo saturado y superficialmente seco, (adimensional)

γ_{psat} = Masa volumétrica del material pétreo saturado y superficialmente seco, (kg/m^3)

γ_o = Masa volumétrica del agua destilada a 4°C y a una presión de 1 atmósfera, (kg/m^3)

W_s = Masa de sólidos del material pétreo, (kg)

W_w = Masa del agua en condiciones de saturación, es decir, del agua que ocupa todos los vacíos, (kg)

V_p = Volumen total del material pétreo, (m^3)

V_s = Volumen de sólidos, (m^3)

V_{vp} = Volumen de vacíos permeables, (m^3)

D.3. Densidad relativa aparente del material pétreo, d_{pap}, es un número abstracto que representa la relación entre la masa volumétrica de la fase sólida del material pétreo incluyendo los vacíos impermeables, γ_{pap}, y la masa volumétrica del agua destilada a 4°C, γ_o, ambas a la temperatura del lugar y a la presión barométrica del lugar, pero en la práctica se emplea el valor de la masa volumétrica del agua, γ_o, es decir 1 g/cm^3 (1 000 kg/m^3) a 4°C y una presión de 1 atmósfera, por ser aproximadamente iguales:

$$d_{pap} = \frac{\gamma_{pap}}{\gamma_o} = \frac{W_s}{(V_s + V_{vi})\gamma_o}$$

Donde:

d_{pap} = Densidad relativa aparente del material pétreo, (adimensional)

γ_{pap} = Masa volumétrica de la fase sólida del material pétreo, (kg/m^3)

γ_o = Masa volumétrica del agua destilada a 4°C y a una presión de 1 atmósfera, (kg/m^3)

W_s = Masa de sólidos del material pétreo, (kg)

V_s = Volumen de sólidos del material pétreo, (m^3)

V_{vi} = Volumen de vacíos impermeables, (m^3)

D.4. Absorción del material pétreo, W_{ab}, es la masa del agua o líquido que penetra en los vacíos permeables de las partículas, 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. BALANZAS

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

E.2. CANASTILLA

Recipiente 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 o recipiente metálico o de plástico de 4 a 7 L de capacidad, para material pétreo de tamaño máximo hasta de 37,5 mm (1½ in). Para tamaño máximo mayor del material pétreo la canastilla puede ser más grande.

E.3. TANQUE DE AGUA

Con capacidad suficiente para contener la canastilla con la porción de prueba mientras está suspendida debajo de la balanza.

E.4. RECIPIENTE

Adecuado para 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.

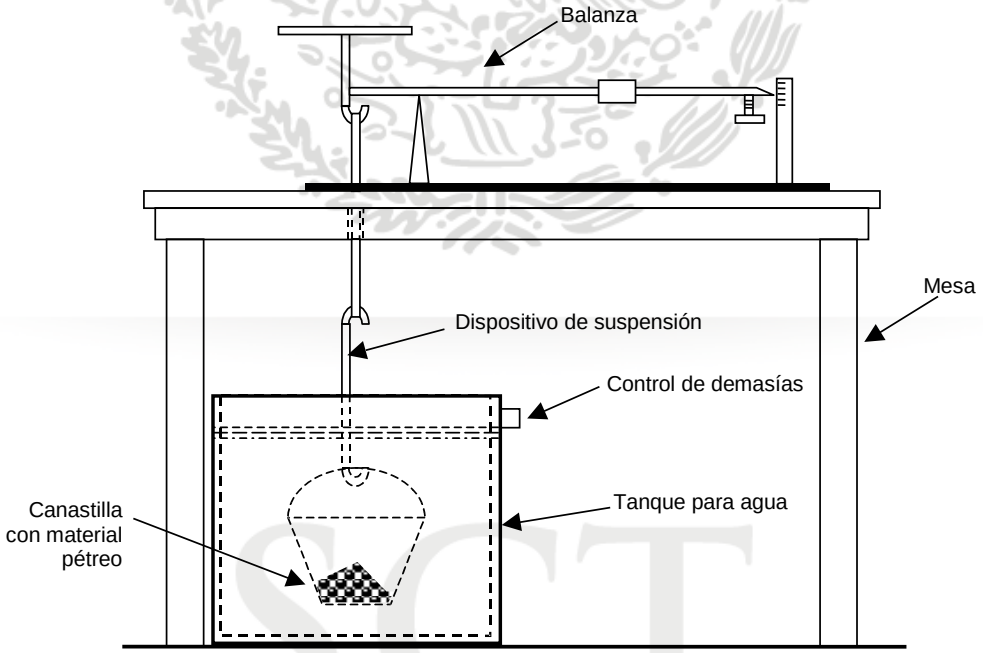


FIGURA 2.- Disposición del equipo para la determinación de la masa sumergida

E.6. HORNO

Con capacidad suficiente para contener la porción de prueba de la muestra, ventilado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5°C.

E.7. MATRACES

E.7.1. Aforado, de cuello largo y fondo plano, de 500 cm^3 de capacidad u otro frasco o recipiente con volumen mayor al 50% del espacio requerido al agregar en él la porción de prueba del material que pasó la malla N°4 (4,75 mm), cuando se realice el procedimiento gravimétrico al que se refiere la Fracción H.2. de este Manual.

E.7.2. Del tipo Le Chatelier con capacidad para una muestra de material que pase la malla N°4 (4,75 mm), de aproximadamente 55 g, cuando se realice el procedimiento volumétrico al que se refiere la Fracción H.3. de este Manual.

E.8. FUENTE DE CALOR

Parrilla eléctrica u otra fuente de calor.

E.9. MALLA DEL N°4

Con abertura de 4,75 mm, fabricada con 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.10. LIENZO

De material absorbente, de 60 x 60 cm.

E.11. TERMÓMETRO

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

E.12. TRAMPA DE VACÍO O DISPOSITIVO NEUMÁTICO DE SUCCIÓN

Capaz de producir un vacío máximo correspondiente a 100 mm de Hg, (0,136 kg/cm^2).

E.13. AGITADOR

De vidrio, de forma cilíndrica.

E.14. EMBUDO

De vidrio o de plástico.

E.15. CUCHARÓN

De lámina, de 300 cm^3 de capacidad.

E.16. CHAROLAS

De lámina galvanizada, con forma rectangular de aproximadamente 70 × 40 × 20 cm.

E.17. MOLDE DE LATÓN O ACERO INOXIDABLE

En forma de cono truncado de 40 ± 3 mm de diámetro en la base superior, 90 ± 3 mm de diámetro en la inferior y 75 ± 3 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 el material pétreo.

E.20. CUENTAGOTAS O PIPETA

De vidrio o metal.

E.21. DESECADOR DE VIDRIO

Con capacidad suficiente para contener las muestras de prueba.

E.22. AGUA

Destilada.

E.23. ALCOHOL

De uso etílico de grado industrial**.**

E.24. ÉTER SULFÚRICO

Para lavar el matraz, grado reactivo.

E.25. BICROMATO DE POTASIO

Para preparar una mezcla crómica para el lavado del matraz, grado analítico.

E.26. ÁCIDO SULFÚRICO

De uso comercial, grado reactivo.

E.27. ALCOHOL ISOPROPÍLICO

De uso comercial, grado industrial.

F. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La preparación de la muestra de materiales pétreos, obtenida según se establece en el Manual M·MMP·4·04·001, *Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, se hace de la siguiente manera:

F.1. PREPARACIÓN

La muestra del material recibida en el laboratorio se trata y separa 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 PRUEBA

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

De la fracción de material que se retiene en la malla N°4 (4,75 mm) a que se refiere la Fracción anterior, se separa por cuarteo una porción de material pétreo. El tamaño mínimo de la porción de prueba, de acuerdo con el tamaño nominal del material pétreo, será el indicado en la Tabla 1 de esta Norma.

F.2.2. Material que pasa la malla N°4

De la fracción de material que pasa por la malla N°4, a que se refiere la Fracción F.1. de este Manual, se separa por cuarteo una porción de prueba de aproximadamente 1 kg.

TABLA 1.- Tamaño de la porción de prueba del material que se retiene en la malla N°4

Tamaño nominal del material pétreo mm (in)	Tamaño mínimo de la porción prueba de la muestra kg
37,5 (1½)	5
25 (1)	4
19 (¾)	3
12,5 (½)	2
9,5 (⅜)	2

G. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA PARA MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N°4

G.1. DENSIDADES RELATIVAS DEL MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N°4

G.1.1. Inmediatamente después de obtener la porción de prueba del material que se retuvo en la malla N°4, conforme a lo indicado en el Inciso F.2.1. de este Manual, se lava con el fin de eliminar cualquier residuo de polvo o material contaminante que contenga.

G.1.2. Se seca la porción lavada hasta masa constante a una temperatura de 110 ± 5°C y se deja enfriar a temperatura ambiente durante 1 a 3 h.

G.1.3. Enseguida se sumerge la porción de prueba de la muestra en un recipiente con agua limpia a una temperatura entre 15 y 25°C y se mantiene en estas condiciones durante 24 ± 4 h.

G.1.4. Se obtiene la masa de la canastilla vacía y sumergida en el agua y se registra como W_c, en g.

G.1.5. Se extrae del agua la porción de prueba y se coloca sobre el lienzo absorbente; el lienzo se envuelve en forma de rodillo hasta que no haya agua visible en la superficie del material; las partículas más grandes se secan en forma individual. La condición de saturado y superficialmente seco se logra cuando las partículas se noten húmedas y hayan perdido la película brillante visible de agua. Esta operación se llevará a cabo en forma rápida para evitar cualquier pérdida de agua por evaporación.

G.1.6. Se obtiene la masa del material saturado y superficialmente seco y se registra como W_{sat}, en g.

G.1.7. Inmediatamente después se coloca el material dentro de la canastilla, se sumergen ambos en el tanque con el agua limpia a 23 ± 2°C y se cuelga en el centro del platillo de la balanza por medio del dispositivo de suspensión previsto para tal fin. La canastilla se sumerge 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 sumergida del material con la canastilla y se registra como W_1, en g.

G.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 110 ± 5°C, para su secado hasta masa constante.

G.1.9. Después de secado el material, se deja enfriar dentro del desecador hasta que alcance la temperatura ambiente de 1 a 3 h y a continuación se determina y registra su masa como W_s, en g.

G.1.10. Se determina la masa del material sumergido en el agua restando a la masa W_1, la masa W_c, de la canastilla sumergida y se registra como W_2, en g.

G.2. CÁLCULOS Y RESULTADOS

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

G.2.1. La densidad relativa del material pétreo seco retenido en la malla N°4, se determina empleando la siguiente expresión:

$$d_{Gd} = \frac{W_s}{W_{sat} - W_2}$$

Donde:

d_{Gd} = Densidad relativa del material pétreo seco retenido en la malla N°4, (adimensional)

W_s = Masa de la porción de prueba secada al horno, (g)

W_{sat} = Masa de la porción de prueba saturada y superficialmente seca, (g)

W_2 = Masa de la porción de prueba saturada y sumergida en el agua, (g), calculada como:

$$W_2 = W_1 - W_c$$

W_1 = Masa de la canastilla conteniendo la porción de prueba, sumergidas en el agua, (g)

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

G.2.2. La densidad relativa del material saturado y superficialmente seco, retenido en la malla N°4, se determina empleando la siguiente expresión:

$$d_{Gsat} = \frac{W_{sat}}{W_{sat} - W_2}$$

Donde:

d_{Gsat} = Densidad relativa del material pétreo saturado y superficialmente seco, retenido en la malla N°4, (adimensional)

W_{sat} = Masa de la porción de prueba saturada y superficialmente seca, (g)

W_2 = Masa de la porción de prueba saturada y sumergida en el agua, (g), calculada como:

$$W_2 = W_1 - W_c$$

W_1 = Masa de la canastilla conteniendo la porción de prueba saturada y sumergidas en el agua, (g)

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

G.2.3. La densidad relativa aparente del material pétreo retenido en la malla N°4, se determina empleando la siguiente expresión:

$$d_{Gap} = \frac{W_S}{W_S - W_2}$$

Donde:

d_{Gap} = Densidad relativa aparente del material pétreo retenido en la malla N°4, (adimensional)

W_s = Masa de la porción de prueba secada al horno, (g)

W_2 = Masa de la porción de prueba saturada y sumergida en el agua, (g), calculada como:

$$W_2 = W_1 - W_c$$

W_1 = Masa de la canastilla conteniendo la porción de prueba, sumergidas en el agua, (g)

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

G.2.4. Cuando el material que se retiene en la malla N°. 4 se pruebe por porciones separadas, el valor promedio de la densidad relativa del material pétreo seco, de la densidad del material pétreo saturado y superficialmente seco y la densidad relativa aparente, se calcula con la siguiente fórmula:

$$d_{Gdp}, d_{Gsatp} \; o \; d_{Gap} = \frac{1}{\frac{P_1}{100 d_1} + \frac{P_2}{100 d_2} + \ldots \frac{P_n}{100 d_n}}$$

Donde:

d_{Gdp}, d_{Gsatp} o d_{Gap} = Promedio de la densidad relativa del material pétreo seco, saturado y superficialmente seco o densidad relativa aparente, respectivamente, (adimensional)

d_1, d_2, ... d_n = Densidad relativa de cada porción dependiendo del tipo de densidad relativa del material pétreo que se desea promediar, seca, saturada y superficialmente seca o aparente, (adimensional)

P_1, P_2, ... P_n ,= Porcentaje de cada porción con respecto a la masa total del material pétreo, (%)

H. PROCEDIMIENTOS DE LAS PRUEBAS PARA EL MATERIAL QUE PASA LA MALLA N°4

Las densidades del material que pasa la malla N°4 se pueden obtener mediante el procedimiento gravimétrico o el procedimiento volumétrico como se indica a continuación:

H.1. SATURACIÓN DE PORCIÓN DE PRUEBA

La porción de prueba obtenida como se indica en el Inciso F.2.2. de este Manual se satura hasta la condición de saturada parcialmente seca de la siguiente manera:

H.1.1. Aplicando presión en forma manual se disgregan los grumos de la porción de prueba hasta obtener un material homogéneo, teniendo el cuidado necesario para no romper las partículas durante esta operación.

H.1.2. Se procede a secar la porción de prueba en el horno a 110 ± 5°C hasta masa constante, que representa la masa seca del material y se registra como W_S, en g. Se deja enfriar a temperatura ambiente hasta que se pueda manipular.

H.1.3. Se sumerge el material en un recipiente con agua limpia a una temperatura de 15 a 25°C y se mantiene en estas condiciones durante 24 ± 4 h.

H.1.4. Se decanta el agua evitando la pérdida de finos, 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 hasta que no haya agua visible

en la superficie del material y las partículas se noten húmedas sin película brillante visible de agua.

H.1.5. Se coloca el molde cónico sobre una superficie plana apoyándolo en su base de mayor diámetro y se llena con el material parcialmente seco a que se refiere el Inciso anterior, se le aplican 25 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 existe 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 Inciso.

H.2. PROCEDIMIENTO GRAVIMÉTRICO

H.2.1. Calibración del matraz de cuello largo y fondo plano

Previamente al inicio de la prueba, se calibra el matraz de cuello largo y fondo plano por emplear para el material que pasa la malla N°4, como sigue:

H.2.1.1. 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 cm^3 de agua destilada, a la cual se le adicionan en frío 450 cm^3 de ácido sulfúrico comercial.

H.2.1.2. 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.

H.2.1.3. 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.

H.2.1.4. Se determina la masa del matraz seco y limpio, y se registra como W_f, en g.

H.2.1.5. Con agua destilada, que se encuentre a la temperatura ambiente, se llena el matraz hasta aproximadamente 0,5 cm abajo de la marca de aforo, dejándola reposar durante unos minutos.

H.2.1.6. 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°, 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.

H.2.1.7. Utilizando el cuentagotas o pipeta, se agrega agua destilada hasta que la parte inferior del menisco del líquido coincida con la marca de aforo.

H.2.1.8. 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.

H.2.1.9. Siguiendo las indicaciones de los Párrafos H.2.1.6. a H.2.1.8. 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.

H.2.1.10. 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 3 de este Manual.

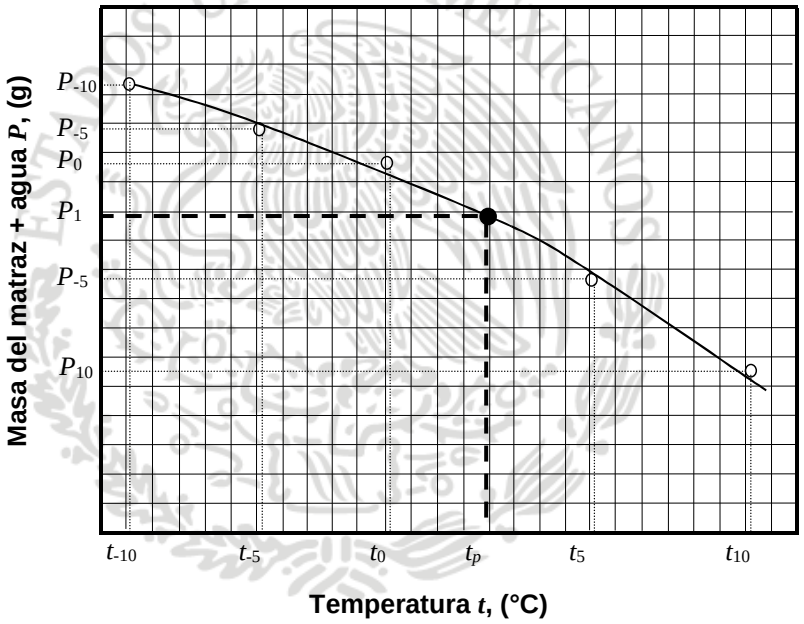


FIGURA 3.- Curva de calibración del matraz

H.2.2. Densidades del material que pasa la malla N°4

H.2.2.1. Una vez que la porción de prueba alcanza el estado de saturada y superficialmente seca como se indica en el Inciso H.1.4., se toma una fracción de 500 ± 10 g, que se registra como W_{sat} y utilizando el embudo, se introduce en el matraz de cuello largo y fondo plano, previamente calibrado como se señala en el Inciso H.2.1. de este Manual.

H.2.2.2. Posteriormente se llena el matraz con agua destilada hasta aproximadamente la mitad de su capacidad.

H.2.2.3. Empleando el dispositivo neumático de succión, se aplica vacío al matraz durante 15°min, con objeto de extraer el aire atrapado en el material. 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 excederá 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.

H.2.2.4. 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 el material, 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.

H.2.2.5. Se seca cuidadosamente la superficie exterior del matraz y con un lienzo absorbente enrollado se seca el interior del cuello del mismo evitando tocar el menisco.

H.2.2.6. Se obtiene la masa del matraz con el material y el agua, registrándola como, W_{fsw}, en g.

H.2.2.7. 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.

H.2.2.8. Hecho lo anterior, se vierte toda la suspensión a una cápsula de porcelana, empleando el agua necesaria para arrastrar todas las partículas del material y se deja reposar durante 24 h; el período de reposo podrá suspenderse cuando se observe limpio el tirante de agua. Se elimina el agua sobrante mediante una cuidadosa decantación y se lleva el material al horno para su secado total a una temperatura de 110 ± 5°C hasta masa constante; se determina y se registra la masa seca del material, W_s, en g.

H.2.2.9. Finalmente, utilizando la curva de calibración mostrada en la Figura 3 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}.

H.2.3. Cálculos y resultados

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

H.2.3.1. La densidad relativa del material pétreo seco que pasa la malla N°4, determinada mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

d_{Sd} = Densidad relativa del material pétreo seco que pasa la malla N°4, (adimensional)

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

W_{fw} = Masa del matraz lleno de agua a la temperatura de prueba tp, determinada gráficamente de la curva de calibración del matraz mostrada en la Figura 3 de este Manual, (g)

W_{sat} = Masa del material pétreo saturado y superficialmente seco, (g)

W_{fsw} = Masa del matraz conteniendo el material pétreo saturado y superficialmente seco y agua hasta la marca de aforo, a la temperatura de prueba t_p, (g)

H.2.3.2. La densidad relativa del material pétreo saturado y superficialmente seco determinada mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

d_{Ssat} = Densidad relativa del material pétreo saturado y superficialmente seco que pasa la malla N°4, (adimensional)

W_{sat} = Masa del material pétreo 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) que se muestra Figura 3 de este Manual

W_{fsw} = Masa del matraz conteniendo el material pétreo saturado y superficialmente seco y agua hasta la marca de aforo, a la temperatura de prueba t_p, (g)

H.2.3.3. La densidad relativa aparente del material pétreo determinada con la siguiente expresión:

$$d_{Sap} = \frac{W_S}{W_{fw} + W_S - W_{fsw}}$$

Donde:

d_{Sap} = Densidad relativa aparente del material pétreo que pasa la malla N°4, (adimensional)

W_s = Masa del material pétreo 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 mostrada en la Figura 3 de este Manual, (g).

W_{fsw} = Masa del matraz conteniendo el material pétreo saturado y superficialmente seco y agua hasta la marca de aforo, a la temperatura de prueba t_p, (g)

H.3. PROCEDIMIENTO VOLUMÉTRICO

H.3.1. Densidades del material que pasa la malla N°4

H.3.1.1. Se llena el matraz Le Chatelier inicialmente con agua destilada a una temperatura de 23 ± 2 °C, hasta la marca del cuello del matraz que corresponda a 0,5 ml, se registra esta lectura inicial del nivel de agua contenida en el matraz como $R_{1,}$ en ml.

H.3.1.2. Una vez que la porción de prueba alcanza el estado de saturada y superficialmente seca como se indica en el Inciso H.1.4. y utilizando el embudo se introducen en el matraz 55 ± 5 g de material que se registran como W_{sat} .

H.3.1.3. Después que todo el material pétreo ha sido introducido en el matraz se coloca el tapón en el frasco y se agita dando vueltas en una posición inclinada o se mueve suavemente en un círculo horizontal, de tal forma que libere el aire atrapado, continuando así hasta que ya no suban más burbujas a la superficie. Se utiliza una pequeña cantidad de alcohol isopropílico, que no exceda de 1 ml, para eliminar la espuma que aparece en la superficie del agua. Se toma una lectura final del nivel del agua contenida en el matraz a la temperatura inicial ±1 °C, restándole el volumen de alcohol isopropílico y se registra como R_2 en ml.

H.3.1.4. Hecho lo anterior, se vierte toda la suspensión a una cápsula de porcelana, empleando el agua necesaria para arrastrar todas las partículas del material y se deja reposar durante 24 h; el período de reposo podrá suspenderse cuando se observe limpio el tirante de agua. Se elimina el agua sobrante mediante una cuidadosa decantación y se lleva el material al horno para su secado total a una temperatura de 110 ± 5°C hasta masa constante; se determina y se registra la masa seca del material, W_s, en g.

H.3.2. Cálculos y resultados

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

H.3.2.1. La densidad relativa del material pétreo seco que pasa la malla N°4, determinada mediante la siguiente expresión:

$$d_{Sd} = \frac{W_s}{(R_2 - R_1)}$$

Donde:

d_{Sd} = Densidad relativa del material pétreo seco que pasa la malla N°4, (adimensional)

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

R_1 = Lectura inicial del nivel de agua en el matraz, ml

R_2 = Lectura final del nivel de agua en el matraz, ml

H.3.2.2. La densidad relativa del material pétreo saturado y superficialmente seco que pasa la malla N°4, determinada con la siguiente expresión:

$$d_{Ssat} = \frac{W_{sat}}{(R_2 - R_1)}$$

Donde:

d_{Ssat} = Densidad relativa del material pétreo saturado y superficialmente seco que pasa la malla N°4, (adimensional)

W_{sat} = Masa del material pétreo saturado y superficialmente seco, (g)

R_1 = Lectura inicial del nivel de agua en el matraz, ml

R_2 = Lectura final del nivel de agua en el matraz, ml

H.3.2.3. La densidad relativa aparente del material pétreo que pasa la malla N°4, determinada con la siguiente expresión:

$$d_{Sap} = \frac{W_s}{(R_2 - R_1) - (W_{sat} - W_s)}$$

Donde:

d_{Sap} = Densidad relativa de sólidos del material pétreo que pasa la malla N°4, (adimensional)

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

W_{sat} = Masa del material pétreo saturado y superficialmente seco, (g)

R_1 = Lectura inicial del nivel de agua en el matraz, ml

R_2 = Lectura final del nivel de agua en el matraz, ml

I. DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DEL MATERIAL PÉTREO

I.1. La absorción del material pétreo se determina empleando la siguiente expresión:

$$W_{Gab} \quad ó \quad W_{Sab} = \frac{W_{sat} - W_s}{W_s} \times 100$$

Donde:

W_{Gab} = Absorción del material retenido en la malla N°4, (%)

W_{Sab} = Absorción del material que pasa la malla N°4, (%)

W_{sat} = Masa del material saturado y superficialmente seco correspondiente al material retenido en la malla N°4 o que pasa dicha malla, según sea el caso, (g)

W_s = Masa del material secado al horno correspondiente al material retenido en la malla N°4 o que pasa dicha malla, según sea el caso, (g)

I.2. Cuando el material retenido en la malla N°4 se pruebe en porciones separadas, el valor de absorción promedio se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$W_{Gabp} = \left(\frac{P_1 W_{Gab1}}{100}\right) + \left(\frac{P_2 W_{Gab2}}{100}\right) + \ldots \left(\frac{P_n W_{Gabn}}{100}\right)$$

Donde:

W_{Gabp} = Absorción promedio del material pétreo retenido en la malla N°4, (%)

W_{Gab1}, W_{Gab2}, … W_{Gabn} = Absorción para cada porción del material pétreo, (%)

P_1, P_2, … P_n = Porcentaje de cada porción con respecto a la masa total del material pétreo, (%)

J. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

J.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.

J.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.

J.3. Que las balanzas se encuentren debidamente calibradas.

J.4. Que no quede aire atrapado en el material dentro del matraz, debido a una deficiente succión o a una ebullición escasa.

J.5. Que al comenzar la prueba, el material pétreo grueso se encuentre en la condición de saturado y superficialmente seco.

J.6. Que el matraz se encuentre debidamente nivelado y lleno hasta su marca de aforo cuando se trate del matraz de cuello largo y fondo plano, o hasta la marca de 0,5 ml del matraz Le Chatelier, y que al depositar el material en su interior no se salpique agua fuera del matraz.

SCT
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

SCT
SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

IMT
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA
Dirección General de Servicios Técnicos
Av. Coyoacán 1895
Col. Acacias
Ciudad de México, 03240
www.gob.mx/sct

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
Nueva York 115, 4o Piso
Col. Nápoles
Ciudad de México, 03810
www.imt.mx
normas@imt.mx