

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

PARTE: **2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS**

TÍTULO: 02. Materiales para Concreto Hidráulico

CAPÍTULO: 023. Masa Volumétrica de los Agregados Pétreos

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar las masas volumétricas de los agregados pétreos a que se refiere la Norma N·CMT·2·02·002, *Calidad de Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico*, en muestras tomadas conforme al Manual M·MMP·2·02·019, *Muestreo de Agregados Pétreos*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite determinar las masas volumétricas de los agregados pétreos finos y gruesos que se empleen en la elaboración de concreto hidráulico, cuyo tamaño máximo de las partículas no exceda de 101 mm (4 in) o de la mezcla de ambos materiales.

C. REFERENCIAS

Son referencias de este Manual la Norma N·CMT·2·02·002, *Calidad de Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico* y el Manual M·MMP·2·02·019, *Muestreo de Agregados Pétreos*.

D. EQUIPO Y MATERIALES

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, verificado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de alta calidad, considerando siempre su fecha de caducidad.

D.1. HORNO

Equipado con regulador de temperatura, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y capacidad suficiente para contener el material pétreo.

D.2. BALANZA

Con capacidad mínima de 50 kg y aproximación de 1,0 g.

D.3. RECIPIENTE

De forma cilíndrica, de metal no corrosible, estanco y suficientemente rígido para conservar su forma y volumen bajo uso rudo. De una altura aproximadamente igual a su diámetro, conservando una relación entre el diámetro y la altura interior de 0,8 a 1,2. Maquinado de forma tal, que conserve medidas precisas en su parte interior y de preferencia provisto de dos manijas. El borde superior del recipiente será plano, con una tolerancia de 0,25 mm; se considera plano al no poder insertar un calibrador de 0,25 mm entre el borde y una placa de vidrio de por lo menos 6 mm de espesor, colocada encima de dicho borde. Los espesores del recipiente de acuerdo con su capacidad se indican en la Tabla 1 de este Manual. Los recipientes de 14 L y 28 L de capacidad

tendrán reforzados sus bordes superiores con una cinta de acero de al menos de 5 mm de espesor y 38 mm de ancho.

TABLA 1.- Espesores de fondo y pared de los recipientes para la prueba

Capacidad del recipiente ^[1] L	Espesor mínimo del metal mm	
	Fondo	Pared
5	5,0	2,5
10	5,0	2,5
14	5,0	3,0
28	5,0	3,0

[1] La capacidad calibrada del recipiente puede tener una tolerancia de $\pm 10\%$ respecto de la capacidad indicada en esta Tabla.

D.4. PLACA DE VIDRIO

De 6 mm de espesor y de forma cuadrada de al menos 25 mm mayor con respecto al diámetro del recipiente empleado, con cantos pulidos y aristas redondeadas.

D.5. TERMÓMETRO

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

D.6. VARILLA DE COMPACTACIÓN

De acero, recta y lisa, de 60 ± 3 cm de longitud, de sección circular con un diámetro de $16 \pm 1,5$ mm y que al menos uno de los extremos sea de forma semiesférica del mismo diámetro de la varilla.

D.7. REGLA

Metálica, lisa y rígida, de al menos 3 mm de espesor, 5 cm de ancho y de una longitud de al menos 10 cm mayor al diámetro del recipiente empleado.

D.8. CUCHARÓN

De acero, de 20 cm de largo, 11 cm de ancho y 10 cm de altura, con mango metálico.

D.9. CHAROLA

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

D.10. AGUA

Potable.

E. SELECCIÓN DEL RECIPIENTE PARA PRUEBA

La capacidad del recipiente para prueba se selecciona considerando el tamaño máximo del agregado pétreo como se indica en la Tabla 2 de este Manual.

TABLA 2.- Capacidad del recipiente de prueba

Capacidad del recipiente L	Tamaño máximo del agregado mm (in)
5	12,5 (½)
10	25 (1)
14	37,5 (1½)
28	101 (4)

F. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La preparación de la muestra de agregado pétreo, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-2-02-019, *Muestreo de Agregados Pétreos*, se hace de la siguiente manera:

F.1. La muestra obtenida se separa por cuarteos y se reduce hasta un volumen de aproximadamente 1,5 veces la capacidad del recipiente por emplear, de la siguiente manera:

F.1.1. Sobre una charola y utilizando el cucharón, se coloca el material formando un cono trunco, el cual se extiende hasta lograr una capa circular de espesor uniforme.

F.1.2. Se divide el material en cuatro partes iguales; con el material de dos cuadrantes opuestos se obtiene la muestra de prueba.

F.1.3. En caso de que el tamaño de la muestra sea excesivo, se continúa separándolo siguiendo el procedimiento señalado en los Incisos F.1.1. y F.1.2. de este Manual las veces necesarias para reducirla hasta que se obtenga la cantidad de material deseada para la porción de prueba. Se tendrá cuidado de distribuir y de no perder el material en cada operación de cuarteo.

F.2. Hecho lo anterior, la porción de prueba se mezcla hasta que quede perfectamente homogénea, para posteriormente secarla en el horno a $110 \pm 5^{\circ}$ C hasta masa constante. Se considera seca, cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas es igual a 0,1% de la masa del material o menor.

G. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

G.1. CALIBRACIÓN DEL RECIPIENTE

G.1.1. Se colocan en la balanza el recipiente a usar y la placa de vidrio para determinar su masa, y se registra dicha masa como W_0 , en kg con aproximación de 1,0 g.

G.1.2. Se llena el recipiente con agua a la temperatura ambiente y se cubre con la placa de vidrio, colocándola de tal modo que se eliminen el exceso de agua y las burbujas de aire. Se seca el exterior del recipiente y del vidrio y posteriormente se pesa el conjunto, registrando la lectura como W_1 , en kg, con aproximación de 1,0 g. Si aparecen burbujas de aire, se repite el procedimiento hasta eliminarlas por completo.

G.1.3. Se determina la masa del agua utilizando la siguiente expresión:

$$W_w = W_1 - W_0$$

Donde:

W_w = Masa del agua, (kg)

W_1 = Masa del recipiente con agua y con la placa de vidrio, (kg)

W_0 = Masa del recipiente vacío y con la placa de vidrio, (kg)

- G.1.4.** Con el termómetro se mide la temperatura del agua y en función de ésta, se obtiene su masa volumétrica de la Tabla 3 de este Manual.

TABLA 3.- Masa volumétrica del agua a diversas temperaturas

Temperatura °C	Masa volumétrica (γ_w) kg/m ³
0 - 12	1 000,00
15	999,10
18	998,58
21	997,95
23	997,50
24	997,30
27	996,52
29	995,97
30	995,75

- G.1.5.** Finalmente se calcula el factor del recipiente en uso, F_{RU} , utilizando la siguiente expresión:

$$F_{RU} = \frac{\gamma_w}{W_w}$$

Donde:

F_{RU} = Factor del recipiente en uso, (m⁻³)

γ_w = Masa volumétrica del agua para la temperatura de prueba, (kg/m³)

W_w = Masa del agua, (kg)

G.2. DETERMINACIÓN DE LA MASA VOLUMÉTRICA COMPACTADA

La compactación para la determinación de la masa volumétrica compactada se puede realizar por alguno de los dos procedimientos siguientes:

G.2.1. Compactación con varilla

Este procedimiento de compactación se aplica para agregados con tamaño máximo hasta de 37,5 mm (1½ in).

G.2.1.1. Se coloca en la balanza el recipiente vacío y se registra su masa como W_v , en kg.

G.2.1.2. Se coloca dentro del recipiente una cantidad de la muestra, hasta que se llene aproximadamente una tercera parte del volumen del recipiente y empleando una de las manos se enrasa la superficie del material con los dedos.

G.2.1.3. Empleando la punta semiesférica de la varilla se compacta la capa del material, aplicando 25 penetraciones distribuidas uniformemente sobre la superficie del material, con una fuerza tal que no triture las partículas del agregado.

- G.2.1.4.** Se coloca una segunda capa de material hasta las dos terceras partes del volumen del recipiente, se enrasa y compacta aplicando 25 penetraciones distribuidas uniformemente sobre la superficie, con una fuerza tal que no triture las partículas del agregado y sólo sea la suficiente para penetrar esta capa.
- G.2.1.5.** Se coloca una tercera capa de material llenando la totalidad del recipiente hasta que el material sobrepase el borde superior en tal cantidad que después de compactado se pueda enrasar; se compacta aplicando 25 penetraciones distribuidas uniformemente sobre la superficie, con una fuerza tal que no triture las partículas del agregado y sólo sea la suficiente para penetrar esta capa; finalmente con la regla se enrasa el material al borde superior y se retira el material sobrante.
- G.2.1.6.** El recipiente conteniendo el material compactado se coloca en la balanza y se registra su masa como W_l , en kg.
- G.2.1.7.** Se determina la masa del agregado pétreo mediante la diferencia de lecturas, utilizando la siguiente expresión:

$$W_a = W_l - W_v$$

Donde:

- W_a = Masa del agregado pétreo, (kg)
 W_l = Masa del recipiente lleno con el agregado, (kg)
 W_v = Masa del recipiente vacío, (kg)

G.2.2. Compactación por impactos

Este procedimiento de compactación se aplica para agregados con tamaño máximo desde 37,5 mm (1½ in) y hasta 100 mm (4 in).

- G.2.2.1.** Se coloca en la balanza el recipiente vacío y se registra su masa como W_v , en kg.
- G.2.2.2.** Se coloca dentro del recipiente una cantidad de la muestra, hasta que se llene aproximadamente una tercera parte del volumen del recipiente.
- G.2.2.3.** Se coloca el recipiente sobre una base firme, plana y horizontal, y se levanta el recipiente a una altura de 5 cm sobre la base y se deja caer libremente procurando que un lado del fondo del recipiente se golpee firmemente; se repite este procedimiento 50 veces alternando el punto de impacto en dos lados diametralmente opuestos de la base del recipiente.
- G.2.2.4.** Se coloca una segunda capa de material hasta las dos terceras partes del volumen del recipiente, se levanta el recipiente a una altura de 5 cm sobre la base y se deja caer libremente procurando que un lado del fondo del recipiente se golpee firmemente; se repite este procedimiento 50 veces alternando el punto de impacto en dos lados diametralmente opuestos de la base del recipiente.
- G.2.2.5.** Se coloca una tercera capa de material llenando la totalidad del recipiente hasta que el material sobrepase el borde superior en tal cantidad que después de compactado se pueda enrasar; se levanta el recipiente a una altura de 5 cm sobre la base y se deja caer libremente procurando que un lado del fondo del recipiente se golpee firmemente; se repite este procedimiento 50 veces alternando el punto de impacto en dos lados diametralmente opuestos de la base del recipiente.
- G.2.2.6.** Se retira el material sobrante enrasando el borde superior con los dedos de una mano, de tal manera que las aristas de las partículas mayores del agregado grueso que

sobresalgan del nivel de la parte superior del recipiente, compensen las depresiones situadas por debajo de él.

G.2.2.7. El recipiente conteniendo el material compactado se coloca en la balanza y se registra su masa como W_i , en kg.

G.2.2.8. Se determina la masa del agregado mediante la diferencia de lecturas, utilizando la siguiente expresión:

$$W_a = W_i - W_v$$

Donde:

W_a = Masa del agregado, (kg)

W_i = Masa del recipiente lleno con el agregado, (kg)

W_v = Masa del recipiente vacío, (kg)

G.3. DETERMINACIÓN DE LA MASA VOLUMÉTRICA SUELTA

Este procedimiento se aplica para los agregados con tamaño máximo hasta de 101 mm (4 in) o menor.

G.3.1. Se coloca en la balanza el recipiente vacío y se registra su masa como W_v , en kg.

G.3.2. Empleando el cucharón y desde una altura aproximadamente de 5 cm del borde superior del recipiente, se deja caer el material distribuyéndolo uniformemente dentro del recipiente, hasta que éste se llene sobrepasando su borde superior sin que el material se derrame.

G.3.3. Se retira el material sobrante enrasando el borde superior con los dedos de una mano, de tal manera que las aristas de las partículas mayores del agregado grueso que sobresalgan del nivel de la parte superior del recipiente, compensen las depresiones situadas por debajo de él.

G.3.4. El recipiente conteniendo el material se coloca en la balanza y se registra su masa como W_i , en kg.

G.3.5. Se determina la masa del agregado mediante la diferencia de lecturas, utilizando la siguiente expresión:

$$W_a = W_i - W_v$$

Donde:

W_a = Masa del agregado, (kg)

W_i = Masa del recipiente lleno con el agregado, (kg)

W_v = Masa del recipiente vacío, (kg)

H. CÁLCULOS Y RESULTADOS

H.1. Como resultado de esta prueba se calcula y reporta la masa volumétrica del agregado, utilizando la siguiente expresión:

$$\gamma_a = W_a \times F_{RU}$$

Donde:

- γ_a = Masa volumétrica del agregado, (kg/m³), con aproximación a la unidad
 W_a = Masa del agregado, determinada en cualquiera de las tres formas descritas en la Cláusula G. de este Manual según el tamaño máximo de las partículas, (kg)
 F_{RU} = Factor del recipiente en uso, (m⁻³)

H.2. El informe de los resultados incluirá, como mínimo, los siguientes datos:

- Masa volumétrica compactada por varillado en kg/m³ con aproximación a la unidad, o
- Masa volumétrica compactada por impactos en kg/m³ con aproximación a la unidad, y
- Masa volumétrica suelta en kg/m³ con aproximación a la unidad.

I. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- I.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.
- I.2.** Que todo el equipo esté perfectamente limpio y funcionando. Especialmente los recipientes estarán libres de residuos.
- I.3.** Que la balanza esté limpia en todas sus partes y bien calibrada, colocada en una superficie horizontal, sin vibraciones que alteren las lecturas.

SCT

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



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