

DENSIDAD BULK (PESO UNITARIO) Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE LOS AGREGADOS EN ESTADO SUELTO Y COMPACTO

INV E – 217 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar la densidad bulk (peso unitario) de agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos, en condición suelta o compacta, y para calcular los vacíos con base en la misma determinación. El método es aplicable a materiales que tengan tamaño máximo nominal menor o igual a 125 mm (5").

Nota 1: Peso unitario es la terminología tradicional empleada para describir la propiedad determinada por este método de ensayo, el cual corresponde a un peso por unidad de volumen (más correctamente, masa por unidad de volumen o densidad)

- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-217-07.

2 TERMINOLOGÍA

- 2.1** *Definiciones generales:*

2.1.1 *Densidad bulk de un agregado* – Masa de un volumen unitario de un agregado total, el cual incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de los vacíos entre ellas. Se expresa en kg/m³ (lb/pie³).

2.1.2 *Peso unitario* – Peso (masa) por unidad de volumen. (Este término tiene poca acogida; es preferible utilizar el término densidad bulk).

2.1.2.1 *Discusión* – El peso es igual a la masa del cuerpo multiplicada por la aceleración debida a la gravedad. El peso se puede expresar en unidades absolutas [Newtons (N), poundales (pdl)] o en unidades gravitacionales (kgf, lbf); por ejemplo: en la superficie de la tierra, un cuerpo con una masa de 1 kg tiene un peso de 1 kgf (aproximadamente 9.81 N), o un cuerpo con una masa de una libra tiene un peso de 1 lbf (aproximadamente 4.45 N o 32.2 poundales). Puesto que el peso es igual a la masa multiplicada por la aceleración debida a la gravedad, el peso de un cuerpo variará con el lugar donde se determine, mientras la masa del cuerpo permanece constante. Sobre la superficie de la tierra, la fuerza de la

gravedad imparte a un cuerpo que es libre de caer, una aceleración de, aproximadamente, 9.81 m/s^2 (32.2 pies/s^2).

2.2 Definiciones de términos específicos para esta norma:

2.2.1 Vacíos en un volumen unitario de agregados – Espacio entre partículas que no está ocupado por los materiales minerales sólidos en una masa de agregado.

2.2.1.1 Discusión – Los vacíos dentro de las partículas (poros), yasean permeables o impermeables, no están incluidos en los vacíos determinados en este método de prueba.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Este método de prueba se emplea para determinar valores de densidad bulk que son utilizados por muchos métodos de selección de proporciones para mezclas de concreto.
- 3.2** Los valores obtenidos al aplicar esta norma, se emplean en el estudio de las estructuras granulares de las mezclas asfálticas por el método Bailey.
- 3.3** La densidad seca suelta determinada por este método de ensayo, se usa en los cálculos de la densidad de equilibrio según la norma INV E-146.
- 3.4** La densidad bulk se puede usar, también, para determinar la relación masa/volumen para conversiones en acuerdos de compra y venta de agregados. Sin embargo, se desconoce la relación que pueda existir entre el grado de compactación de los agregados en una unidad de transporte o en una pila de acopio y la lograda en este método de prueba. Además, mientras generalmente los agregados en las unidades de transporte y en las pilas de acopio contiene humedad absorbida y superficial (esta última afecta el tamaño del material), este método de prueba determina una densidad bulk basada en condiciones en seco.

4 EQUIPO

- 4.1** *Balanza* – Debe tener una exactitud mínima de 0.1 % de la masa de ensayo, en cualquier punto dentro del intervalo de utilización, y graduaciones de 50 g (0.1 lb), como mínimo. Se debe entender como intervalo de utilización, el rango

comprendido entre la masa del recipiente de medida vacío y el recipiente más un agregado con densidad de 1920 kg/m^3 (120 lb/pie^3).

- 4.2** *Varilla compactadora* – De acero, cilíndrica, de 16 mm ($5/8"$) de diámetro, con una longitud aproximada de 600 mm (24"). Un extremo, o ambos, deben tener forma semiesférica con 16 mm de diámetro ($5/8"$).
- 4.3** *Recipientes de medida* – Metálico, cilíndrico, preferiblemente provisto de agarraderas, a prueba de agua, con el fondo y el borde superior rectos y a nivel, y suficientemente rígido para no deformarse bajo condiciones de trabajo pesado. El recipiente debe tener una altura aproximadamente igual al diámetro pero, en ningún caso, la altura puede ser menor del 80 % ni mayor del 150 % del diámetro. Su capacidad debe estar de conformidad con los límites establecidos en la Tabla 217 - 1, según el tamaño del agregado que seva a ensayar. El espesor de la lámina del recipiente debe ser el que se describe en la Tabla 217 - 2. El borde superior del recipiente debe ser liso y plano, con una tolerancia de 0.25 mm ($0.01"$) y debe ser paralelo al fondo, con unatolerancia de 0.5° (nota 2). La superficie de la pared interior debe ser lisa y continua.

Nota 2: Se considera que la planitud del borde superior es satisfactoria, si un calibrador de separaciones, de 0.25 mm ($0.01"$), no se puede insertar entre el borde y una pieza de vidrio de 6 mm ($\frac{1}{4}"$) o más de espesor, colocada sobre el recipiente de medida. La parte superior y el fondo se consideran satisfactoriamente paralelos, si el declive entre dos piezas de vidrio, una en contacto con la parte superior y otra con el fondo, no excede 0.87 % en cualquier dirección.

- 4.3.1** Si el recipiente de medida se va a utilizar también para pruebas de densidad del concreto recién mezclado, de acuerdo con la norma INV E-405, deberá ser hecho de acero o de otro material apropiado que no sea susceptible a reacciones con la pasta de cemento. Se permite el uso de materiales reactivos tales como aleaciones de aluminio, considerando que, como consecuencia de una reacción inicial, se forma en la superficie interna del molde una película que protege al metal contra la posterior corrosión.
- 4.3.2** Los recipientes de medida cuya capacidad sea mayor de 28 litros (1 pie^3) deben ser de acero, para garantizar la rigidez necesaria o, de lo contrario, el espesor mínimo de la lámina de metal indicada en la Tabla 217 - 2 se deberá aumentar apropiadamente.
- 4.4** *Pala o cucharón* – De tamaño conveniente, para llenar el recipiente de medida con el agregado.

Tabla 217 - 1. Capacidad del recipiente de medida

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		CAPACIDAD DEL RECIPIENTE DE MEDIDA ^A	
mm	pulgadas	m ³ (l)	pies ³
12.5	½	0.0028 (2.8)	1/10
25.0	1	0.0093 (9.3)	1/3
37.5	1 ½	0.014 (14)	½
75	3	0.028 (28)	1
100	4	0.070 (70)	2 ½
125	5	0.100 (100)	3 ½

^A El tamaño de medida indicado debe ser usado para ensayar agregados de tamaño máximo nominal igual o menor que el indicado. El volumen real del recipiente debe ser al menos 95 % del volumen nominal listado.

4.5 Equipo de calibración:

- 4.5.1 *Placas de vidrio* – De, por lo menos, 6 mm (¼") de espesor y 25 mm (1") más largas que el diámetro del recipiente que se va a calibrar.
- 4.5.2 *Grasa* – De bomba de agua, de chasis o similar, para colocar en el borde del recipiente con el fin de prevenir escapes.
- 4.5.3 *Termómetro* – Con una escala que abarque, como mínimo, entre 10 y 32° C (50 – 90° F) y con graduaciones cada 0.5° C (1° F) o menores.
- 4.5.4 *Balanza* – La misma descrita en el numeral 4.1.

Tabla 217 - 2. Requisitos de los recipientes de medida

CAPACIDAD DEL RECIPIENTE C	ESPESOR MÍNIMO DE LA LÁMINA		
	FONDO	38 mm (1 ½") SUPERIORES O PARED ^A	RESTO DE LA PARED
litros	mm	mm	mm
C < 1	5.0	2.5	2.5
1 ≤ C ≤ 42	5.0	4.0	3.0
42 < C ≤ 80	10.0	6.4	3.8
80 < C ≤ 133	13.0	7.6	5.0
pies ³	pg.	pg.	pg.
C < 0.4	0.20	0.10	0.10
0.4 ≤ C ≤ 1.5	0.20	0.20	0.12
1.5 < C ≤ 2.8	0.40	0.25	0.15
2.8 < C ≤ 4.0	0.50	0.30	0.20

^A El espesor adicional en la parte superior de la pared puede ser obtenido colocando una banda de refuerzo alrededor del recipiente.

5 MUESTRA

- 5.1 La muestra se debe obtener de acuerdo con el procedimiento establecido en la norma INV E-201, y se debe reducir al tamaño requerido para la prueba siguiendo la norma INV E-202.
- 5.2 El tamaño de la muestra debe ser de, aproximadamente, 125 a 200 % la cantidad requerida para llenar el recipiente de medida, y se debe manejar evitando la segregación. La muestra de agregado se debe secar hasta obtener una masa esencialmente constante, preferiblemente en un horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).

6 CALIBRACIÓN DEL RECIPIENTE DE MEDIDA

- 6.1 El recipiente de medida se debe recalibrar al menos una vez al año o siempre que haya motivo para dudar de la exactitud de la calibración.
- 6.2 Se determina la masa del recipiente con una de las placas de vidrio, con aproximación a 0.05 kg (0.1 lb) (Figura 217 - 1).
- 6.3 Se coloca una capa delgada de grasa en el borde del recipiente, la cual servirá para evitar que el agua escape de él.
- 6.4 Se llena el recipiente con agua a temperatura ambiente y se cubre con la placa de vidrio, de tal manera que se eliminen las burbujas y el exceso de agua. A continuación, se remueve toda agua que se haya desbordado sobre el recipiente o la placa.
- 6.5 Se determina la masa del recipiente con el agua y la placa de vidrio, con aproximación a 0.05 kg (0.1 lb).
- 6.6 Se mide la temperatura del agua con una aproximación de 0.5°C (1°F) y se determina su densidad en la Tabla 217 - 3, interpolando si es necesario.
- 6.7 Se calcula el volumen, V , del recipiente de medida, dividiendo la masa de agua requerida para llenarlo, por su densidad. Alternativamente, se puede calcular el factor de medida ($F = 1/V$), dividiendo la densidad del agua por la masa requerida para llenar el recipiente.

Nota 3: Para el cálculo de la densidad bulk, el volumen del recipiente de medida en unidades SI se debe expresar en m^3 , o el factor como $1/m^3$. Sin embargo, por conveniencia, el tamaño del recipiente se expresa en litros.



Figura 217 - 1. Determinación de la masa del recipiente de medida y la placa de vidrio

Tabla 217 - 3. Densidad del agua

TEMPERATURA		DENSIDAD	
°C	°F	kg/m ³	lb/pie ³
15.6	60	999.01	62.366
18.3	65	998.54	62.336
21.1	70	997.97	62.301
23	73.4	997.54	62.274
23.9	75	997.32	62.261
26.7	80	996.59	62.216
29.4	85	995.83	62.166

7 SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- 7.1** El empleo del método de paladas para determinar la densidad bulk suelta se debe usar solamente cuando se haya estipulado específicamente. De lo contrario, se determinará la densidad bulk compacta por varillado o apisonado para agregados con tamaño máximo nominal de 37.5 mm (1½") o menos; o

por el método de vibración para agregados cuyo tamaño máximo nominal sea mayor de 37.5 mm (1½") y menor o igual a 125 mm (5").

8 PROCEDIMIENTO DE VARILLADO O APISONADO

- 8.1** El agregado se debe colocar en el recipiente, en tres capas aproximadamente iguales, hasta colmarlo. Se vierte en el recipiente el agregado necesario para llenarlo un tercio de su volumen y se nivela con los dedos la superficie del material vertido. A continuación, se apisona la capa con 25 golpes de la varilla, distribuidos uniformemente sobre la superficie, utilizando el extremo semiesférico de la herramienta (Figura 217 - 2). Se repite el procedimiento con las otras dos capas.



Figura 217 - 2. Apisonado de la primera capa

- 8.2** Al apisonar la primera capa, se debe evitar que la varilla golpee el fondo del recipiente. Al apisonar las capas superiores, se aplica la fuerza necesaria para que la varilla solamente atraviese la capa respectiva.

Nota 4: Al apisonar agregados de gran tamaño máximo puede que no sea posible alcanzar todo el espesor de la capa con la varilla, especialmente si los agregados son angulosos. En este caso será necesario un esfuerzo vigoroso para satisfacer la intención del procedimiento.

- 8.3** Una vez compactada la última capa, se enrasa la superficie del agregado con una regla o con la mano, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación al plano de enrarse (Figura 217 - 3).

- 8.4** Se determina la masa del recipiente lleno, así como la del recipiente vacío, con aproximación a 0.05 kg (0.1 lb) y se anotan los valores respectivos.



Figura 217 - 3. Enrase del material

9 PROCEDIMIENTO DE VIBRACIÓN

- 9.1** Se coloca el agregado en el recipiente en tres capas de más o menos el mismo volumen, hasta colarlo.
- 9.2** Cada una de las capas se compacta del siguiente modo: Se coloca el recipiente sobre una base firme, tal como un piso de concreto, y se inclina hasta que el borde opuesto al punto de apoyo, diste unos 50 mm (2") del piso. Luego se suelta, con lo que se produce un golpe seco, y se repite la operación inclinando el recipiente por el borde opuesto. Estos golpes alternados se ejecutan 25 veces de cada lado, de modo que el número total sea 50 para cada capa y 150 para todo el conjunto. Mediante este procedimiento, las partículas del agregado se acomodaban en una condición densa.
- 9.3** Una vez compactada la última capa, se enrasta la superficie del agregado con una regla o con la mano, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación al plano de enraste.
- 9.4** Se determina la masa del recipiente lleno, así como la del recipiente vacío, con aproximación a 0.05 kg (0.1 lb) y se anotan los valores respectivos.

10 PROCEDIMIENTO DE LLENADO A PALADAS (ESTADO SUELTO)

- 10.1** Se llena el recipiente de medida con una pala o cucharón, de modo que el agregado se descargue desde una altura no mayor de 50 mm (2") por encima del borde del recipiente, hasta colmarlo. Se debe tener cuidado de que no se segreguen las partículas constitutivas de la muestra.
- 10.2** Una vez lleno el recipiente, se enrasta la superficie del agregado con una regla o con la mano, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones, en relación con el plano de enrastar.
- 10.3** Se determina la masa del recipiente lleno, así como la del recipiente vacío, con aproximación a 0.05 kg (0.1 lb) y se anotan los valores respectivos.

11 CÁLCULOS

- 11.1** *Densidad bulk* – Se calcula la densidad bulk sea compacta (apisonada o vibrada) o suelta, con alguna de las siguientes expresiones:

$$M = \frac{G - T}{V}$$

[217.1]

o

$$M = (G - T) \times F$$

[217.2]

Donde: M: Densidad bulk del agregado, kg/m³ (lb/pie³);

G: Masa del agregado más el recipiente de medida, kg (lb);

T: Masa del recipiente de medida, kg (lb);

V: Volumen del recipiente de medida, m³ (pie³);

F: Factor de medida, 1/m³ (1/pie³).

- 11.1.1** La densidad bulk que se determina en la prueba es en condición seca al horno. Si se desea obtener la densidad bulk en estado saturado y superficialmente seco (SSS), se sigue exactamente el mismo

procedimiento descrito en esta norma y con la siguiente expresión se calcula la densidad bulk en estado SSS:

$$M_{SSS} = M \diamond 1 + \diamond \frac{A}{100} \diamond \diamond \quad [217.3]$$

Donde: M_{SSS} : Densidad bulk en condición SSS, kg/m^3 (lb/pie^3);

A: % de absorción, determinado según las normas INV E-222 (agregados finos) o INV E-223 (agregados gruesos).

11.2 Vacíos en los agregados – Los vacíos en los agregados se pueden calcular de la siguiente forma, empleando la densidad bulk obtenida mediante apisonado, vibrado o, simplemente, mediante el llenado a paladas:

$$\% \text{ vacíos} = \frac{\diamond S \times \rho_w \diamond - M}{S \times \rho_w} \times 100 \quad [217.4]$$

Donde: S: Gravedad específica bulk (material seco) determinada según las normas INV E-222 (agregados finos) o INV E-223 (agregados gruesos);

M: Densidad bulk de los agregados, kg/m^3 (lb/pie^3);

ρ_w : Densidad del agua, 998 kg/m^3 (62.4 lb/pie^3)

11.3 Volumen del recipiente de medida – Se calcula con la fórmula:

$$V = \frac{W_{wv} - W_v}{\rho_{wc}} \quad [217.5]$$

Donde: V: Volumen del recipiente de medida, m^3 (pie^3);

W_{wv} : Masa del recipiente más agua más la placa de vidrio (numeral 6.5), kg (lb);

W_v : Masa del recipiente más la placa de vidrio, kg (lb);

ρ_{wc} : Densidad del agua a la temperatura de calibración, kg/m^3 (lb/pie^3) (Tabla 217 - 3).

12 INFORME

12.1 Los resultados obtenidos se deben reportar en la siguiente forma:

12.1.1 Densidad bulk compacta por apisonado, con aproximación a 10 kg/m^3 (1 lb/pie^3).

12.1.2 Densidad bulk compacta por vibración, con aproximación a 10 kg/m^3 (1 lb/pie^3).

12.1.3 Densidad bulk suelta por paladas, con aproximación a 10 kg/m^3 (1 lb/pie^3).

12.1.4 % vacíos en el agregado compactado por apisonado.

12.1.5 % vacíos en el agregado compactado por vibración.

12.1.6 % vacíos en el agregado suelto.

13 PRECISIÓN Y SESGO

13.1 Los datos que se indican a continuación, se han obtenido a partir del análisis de más de 100 parejas de resultados de pruebas realizadas entre 40 y 100 laboratorios.

13.2 *Precisión para el agregado grueso (densidad bulk):*

13.2.1 *Precisión para un solo operario* – La desviación normal de un solo operario fue 14 kg/m^3 (0.88 lb/pie^3). Por lo tanto el resultado de dos pruebas llevadas a cabo adecuadamente por el mismo operario sobre un material similar, no deberían diferir en más de 40 kg/m^3 (2.5 lb/pie^3).

13.2.2 *Precisión entre laboratorios* – Se encontró que la desviación normal entre varios laboratorios fue de 30 kg/m^3 (1.87 lb/pie^3) Por lo tanto, los resultados de dos pruebas conducidas por dos laboratorios diferentes sobre un material similar, no deberían diferir en más de 85 kg/m^3 (5.3 lb/pie^3).

13.3 Precisión para el agregado fino (densidad bulk):

13.3.1 Precisión para un solo operario – Se encontró que la desviación normal de un solo operario fue de 14 kg/m^3 (0.88 lb/pie^3). Por lo tanto, el resultado de dos pruebas llevadas a cabo adecuadamente por el mismo operario sobre un material similar, no deberían diferir en más de 40 kg/m^3 (2.5 lb/pie^3).

13.3.2 Precisión entre laboratorios – Se encontró la desviación normal entre varios laboratorios fue de 44 kg/m^3 (2.76 lb/pie^3). Por lo tanto, los resultados de dos pruebas conducidas por dos laboratorios diferentes sobre un material similar, no deberían diferir en más de 125 kg/m^3 (7.8 lb/pie^3).

13.4 Precisión en vacíos – No hay datos de precisión disponibles sobre contenidos de vacíos. Sin embargo, como el porcentaje de vacíos en el agregado se calcula a partir de la densidad bulk y de la gravedad específica bulk, la precisión en los vacíos será el reflejo de las precisiones en la obtención de los otros dos parámetros.

13.5 Sesgo – El procedimiento de este método de prueba para medir la densidad bulk y el contenido de vacíos no tiene sesgo, debido a que los valores de densidad bulk y de contenido de vacíos solo se pueden definir en términos de un método de ensayo.

14 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

ASTM C 29/C 29M – 09

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA, VASTM C – 29 – 1 – A,
<http://www.youtube.com/watch?v=tDXBjAit5u0&feature=BFa&list=PLF05009A870793FC5&index=20>