

DENSIDAD (PESO UNITARIO), RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (GRAVIMÉTRICO) DEL CONCRETO

INV E – 405 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación de la densidad (nota 1) del concreto recién mezclado y proporciona fórmulas para calcular el rendimiento, el contenido de cemento y el contenido de aire del concreto. El rendimiento se define como el volumen del concreto producido con una mezcla de la cual se conocen las cantidades de sus materiales componentes.

Nota 1: Peso unitario fue el término empleado anteriormente para describir la propiedad determinada por este método de ensayo, la cual es masa por unidad de volumen.

- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-405-07.

2 SÍMBOLOS

- A: Contenido de aire (porcentaje de vacíos) en el concreto;
- C: Contenido real de cemento, kg/m^3 ó lb/yd^3 .
- C_b: Masa del cemento en la amasada, kg o lb;
- D: Densidad o masa unitaria del concreto, kg/m^3 o lb/pie^3 ;
- M_c: Masa del recipiente lleno de concreto, kg o lb;
- M_m: Masa del recipiente de medida, kg o lb;
- R_y: Rendimiento relativo;
- T: Densidad teórica del concreto, suponiéndolo libre de aire, kg/m^3 o lb/pie^3 (nota 2);
- Y: Rendimiento, volumen de concreto producido por amasada, m^3 o yd^3 ;
- Y_d: Volumen de concreto que, por diseño, debería producir la amasada, m^3 o yd^3 ;

- Y_f : Volumen de concreto producido por amasada, m^3 , pie^3 ;
- V : Volumen total absoluto de los ingredientes que componen la amasada, m^3 o $pies^3$;
- M : Masa total de todos los materiales de la amasada, kg o lb (nota 3);
- V_m : Volumen del recipiente de medida, m^3 o $pies^3$.

Nota 2: La densidad teórica se determina usualmente en el laboratorio. Se asume que su valor permanece constante para todas las amasadas cuando se utilizan los mismos componentes en las mismas proporciones. Se calcula con la ecuación:

$$T = \frac{M}{V} \quad [405.1]$$

El volumen absoluto de cada componente, en pies cúbicos, es igual a la relación entre la masa de tal componente y el producto de su gravedad específica por 62.4. El volumen absoluto de cada ingrediente en m^3 es igual a la masa del ingrediente en kilogramos dividida entre 1000 veces su gravedad específica. Para los agregados, la gravedad específica bulk y la masa se deben determinar en su condición S.S.S. (saturada y superficialmente seca). Para el cemento, la gravedad específica real se debe determinar mediante la norma INV E-307. Se puede utilizar un valor de 3.15 para cementos que cumplan los requisitos de la especificación ASTM C 150.

Nota 3: La masa total de todos los materiales de la amasada es la suma de las masas del cemento, del agregado fino en la condición de uso, del agregado grueso en la condición de uso, del agua de mezcla añadida a la amasada y de cualquier otro material sólido o líquido utilizado.

3 EQUIPO

- 3.1 Balanza** – O báscula, con exactitud de 45 g (0.1 lb) o el 0.3 % de la carga de ensayo, la que sea mayor, en cualquier punto dentro del intervalo de uso. El intervalo de uso debe abarcar desde la masa del recipiente de medida vacío, hasta la masa del recipiente más su contenido, considerándose que este último tenga una densidad de 2600 kg/m^3 (160 lb/pie^3).
- 3.2 Varilla de apisonado** – Debe ser de acero, lisa, recta, cilíndrica, de $16 \pm 2 \text{ mm}$ ($5/8 \pm 1/16 \text{ ''}$) de diámetro. Su longitud debe ser al menos 100 mm (4 '') mayor que la altura del molde, pero no mayor de 600 mm (24 '') (nota 4). Uno o ambos extremos de la varilla deben ser hemisféricos con un radio de 8 mm ($5/16 \text{ ''}$).

Nota 4: Una longitud de varilla de 400 a 600 mm (16 a 24 '') satisface las exigencias de las normas INV E-404, INV E-405, INV E-406, INV E-409 e INV E-420.

- 3.3 Vibrador interno** – Los vibradores internos pueden tener lanzas flexibles o rígidas, y deben ser movidos preferiblemente por motores eléctricos. Deben proporcionar 7000 vibraciones por minuto (117 Hz) o más, al encontrarse en funcionamiento. El diámetro externo o la dimensión lateral del elemento vibrador debe ser de, por lo menos, 19 mm ($\frac{3}{4}$ "), y no mayor de 38 mm (1 $\frac{1}{2}$ "). La longitud de la lanza debe ser, al menos, de 600 mm (24").
- 3.4 Recipiente de medida (Figura 405 - 1)** – Un recipiente cilíndrico de acero o de otro metal apropiado (nota 5). La capacidad mínima del recipiente se debe ajustar a lo especificado en la Tabla 405 - 1, de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado del concreto que se va a ensayar. Todos los recipientes, exceptuando los utilizados para la determinación del contenido de aire, deben cumplir con los requisitos de la norma INV E-217. Los recipientes de medida para la determinación del contenido de aire deben cumplir lo especificado en la norma INV E-406 y deben ser calibrados para volumen como se describe en la norma INV E-217. El borde superior de estos recipientes debe ser liso y plano con una tolerancia de 0.3 mm (0.01") (nota 6).

Nota 5: El metal no debe ser fácilmente atacable por la pasta de cemento. Se pueden usar, sin embargo, algunos metales reactivos, como ciertas aleaciones de aluminio, cuando, como consecuencia de una reacción inicial, éstos son capaces de formar una capa protectora de la corrosión subsiguiente.

Nota 6: El borde superior del recipiente se considera plano, si una galga de calibración de 0.3 mm (0.01") no puede ser insertada entre el borde y una placa de vidrio de 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") colocada sobre el recipiente.

Tabla 405 - 1. Capacidad mínima de los recipientes

TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO		CAPACIDAD DEL RECIPIENTE ^A	
mm	pulgadas	Litros	Pies ³
25.0	1	6	0.2
37.5	1½	11	0.4
50	2	14	0.5
75	3	28	1.0
112	4½	70	2.5
150	6	100	3.5

^A Se debe usar el tamaño indicado de recipiente para ensayar un concreto que contenga agregados de un tamaño máximo nominal igual o menor que el mostrado en la tabla. El volumen real del recipiente debe ser, al menos, el 95 % del volumen nominal listado



Figura 405 - 1. Recipiente de medida

- 3.5** *Placa enrasadora* – Debe ser una placa metálica rectangular de, por lo menos, 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") de espesor o una placa de vidrio o acrílica de al menos 12 mm ($\frac{1}{2}$ ") de espesor, con un ancho y una longitud superiores en no menos de 50 mm (2") al diámetro del recipiente con el cual se va a usar. Los bordes de la placa deben ser rectos y lisos dentro de una tolerancia de 1.5 mm ($\frac{1}{16}$ ").
- 3.6** *Mazos* – Uno con cabeza de caucho o de cuero crudo, con una masa de 600 ± 200 g (1.25 ± 0.50 lb) para uso con recipientes hasta de 14 litros (0.5 pies^3) de capacidad, y otro del mismo material, con una masa de 1000 ± 200 g (2.25 ± 0.50 lb) para usar con recipientes de volumen superior a 14 litros (0.5 pies^3).
- 3.7** *Cucharón* – Del tamaño adecuado para que cada cantidad de concreto tomada del recipiente de muestreo sea representativa, pero lo suficientemente pequeña para que no se derrame durante su colocación en el molde.

4 MUESTRA

- 4.1** Se obtiene la muestra de la mezcla de concreto fresco, de acuerdo con la norma INV E-401.

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** El método de consolidación se debe basar en la magnitud del asentamiento, salvo que la especificación aplicable al trabajo que se realiza establezca un método específico. Los métodos de consolidación son los de apisonado con varilla y vibración interna. Se deben apisonar los concretos con un

asentamiento superior a 75 mm (3"). Los concretos con un asentamiento entre 25 y 75 mm (1 a 3") se pueden apisonar o vibrar. Los concretos con un asentamiento inferior a 25 mm (1") se deben consolidar por vibración.

Nota 5: El concreto no-plástico, el cual es utilizado comúnmente en la fabricación de tubos y mampostería, no está considerado dentro de esta norma.

- 5.2** Se coloca el concreto en el recipiente de medida, usando el cucharón descrito en el numeral 3.7. El cucharón se deberá mover alrededor del perímetro de la abertura del recipiente, con el fin de asegurar una distribución uniforme del concreto con una segregación mínima. El recipiente se deberá llenar en el número requerido de capas, según el método de consolidación que se vaya a emplear (numerales 5.3 y 5.4).
- 5.3** *Apisonado* – El concreto se debe colocar en el recipiente en tres capas de volumen aproximadamente igual. Se golpea cada capa con la varilla apisonadora, 25 veces cuando se usen recipientes de medida de volumen nominal igual o menor a 14 litros (0.5 pies³), 50 veces cuando se usen recipientes de 28 litros (1 pie³), y un golpe por cada 15 cm² (3 pg²) si los recipientes son de mayor volumen. Los golpes se deben aplicar uniformemente sobre toda la sección transversal del recipiente con el extremo redondeado de la varilla. Los golpes aplicados a la capa inferior deben cruzar todo su espesor, pero no deben impactar fuertemente el fondo del recipiente para no dañarlo. Para las capas media y superior, los golpes deben penetrar aproximadamente 25 mm (1") dentro de la capa previamente consolidada. Después que cada capa ha sido apisonada, se golpean los costados del medidor entre 10 y 15 veces con el mazo apropiado (Figura 405 - 2) (Ver numeral 3.6), con el fin de cerrar los orificios dejados por la varilla y para liberar las burbujas de aire que hayan quedado atrapadas en la mezcla. La capa final se debe añadir de manera que se evite el sobrellenado.



Figura 405 - 2. Golpes con el mazo de caucho

- 5.4 Vibración interna** – El recipiente se debe llenar y vibrar en dos capas de espesor aproximadamente igual, colocando todo el concreto de cada capa antes de iniciar la vibración. Se inserta el vibrador en tres puntos diferentes para cada capa. Al vibrar la capa inferior, se debe evitar el contacto del vibrador con el fondo o las paredes del recipiente. Al vibrar la capa superior, el vibrador debe penetrar la anterior unos 25 mm (1"). Se debe tener cuidado de no dejar bolsas de aire al extraer el vibrador. El tiempo requerido de vibración dependerá de la manejabilidad del concreto y de la efectividad del vibrador (nota 8). La vibración se debe continuar sólo lo suficiente para obtener una consolidación satisfactoria del concreto (nota 9). Para una clase particular de concreto, se deben usar el mismo recipiente de medida y el mismo vibrador, así como el mismo tiempo de vibración.

Nota 8: Usualmente, se considera que se ha aplicado suficiente vibración cuando la superficie del concreto se torna relativamente lisa.

Nota 9: Una vibración excesiva puede causar segregación y pérdidas de cantidades apreciables del aire que intencionalmente se pretende dejar incluido en la mezcla.

- 5.5** Al terminar la consolidación, el recipiente no debe presentar ni exceso ni deficiencia considerable de concreto. Se considera como óptimo, un exceso de concreto que sobresalga 3 mm (1/8") por encima del nivel del borde del molde. Se puede añadir una pequeña cantidad de concreto si es necesario corregir una deficiencia. Si el recipiente contiene un gran exceso de concreto al terminar la consolidación, se remueve con un palustre o una cuchara una porción representativa del exceso, inmediatamente después de completar la consolidación y antes de enrasar el recipiente.
- 5.6 Enrasado** – Al terminar la consolidación, se enrasa la superficie del concreto y se alisa con la placa enrasadora, de manera que el recipiente quede lleno justo a ras con su borde. El enrasado queda mejor presionando la placa enrasadora sobre la superficie superior del recipiente cubriendo aproximadamente 2/3 de la superficie y retirando luego la placa con un movimiento de zigzag para terminar solamente el área originalmente cubierta. Luego se coloca la placa sobre la superficie del recipiente para cubrir los 2/3 originales de superficie y se avanza la placa con una presión vertical y un movimiento de zigzag para cubrir el total de la superficie del recipiente y se continúa avanzando hasta que se deslice completamente fuera del recipiente (Figura 405 - 3). Se inclina la placa y se hacen varias pasadas de ella con su borde para producir una superficie lisa.



Figura 405 - 3. Enrasado

- 5.7 Limpieza y pesaje** – Después de enrasar, se limpia cualquier exceso de concreto presente en el exterior del recipiente de medida y se determina la masa del concreto en el recipiente con una exactitud acorde con los requerimientos del numeral 3.1.

6 CÁLCULOS

- 6.1 Densidad (peso unitario)** – Se calcula la masa neta del concreto, restando la masa del recipiente vacío, M_m , de la masa del medidor lleno con concreto, M_c . A continuación, se calcula la densidad, D , dividiendo la masa neta del concreto por el volumen del recipiente, V_m , como se muestra a continuación:

$$D = \frac{M_c - M_m}{V} \quad [405.2]$$

- 6.2 Rendimiento** – Se calcula el rendimiento como sigue:

$$Y (m^3) = \frac{M}{D} \quad [405.3]$$

O

$$Y (yd^3) = \frac{M}{D \times 27} \quad [405.4]$$

- 6.3 Rendimiento relativo** – Es la relación entre el volumen real del concreto obtenido y el volumen tal como fue diseñado para la amasada (nota 10), calculado como sigue:

$$R_y = \frac{Y}{Y_d} \quad [405.5]$$

Nota 10: Un valor de R_y superior a 1.00 indica que se está produciendo un exceso del concreto, mientras que el valor menor indica que la amasada es "pequeña" para su volumen de diseño. En la práctica, se suele usar una relación de rendimiento en pies cúbicos por yarda cúbica de diseño de mezcla de concreto; por ejemplo, 27.2 pies³/yd³.

- 6.4 Contenido de cemento** – Se calcula el contenido de cemento real de la siguiente forma:

$$C = \frac{C_b}{v} \quad [405.6]$$

- 6.5 Contenido de aire** – Se calcula su valor de la manera siguiente:

$$A = \frac{T - D}{T} \times 100 \quad [405.7]$$

O

$$A = \frac{Y_f - V}{v} \times 100 \text{ (unidades de pulgada-libra)} \quad [405.8]$$

O

$$A = \frac{Y - V}{v} \times 100 \text{ (unidades SI)} \quad [405.9]$$

7 INFORME

7.1 Se debe presentar la siguiente información:

- 7.1.1 Identificación del concreto representado por la muestra.
- 7.1.2 Fecha del ensayo.
- 7.1.3 Volumen del recipiente para determinar la densidad, aproximado a 0.01 litro (0.001 pie³).
- 7.1.4 Densidad (peso unitario) aproximada a 1 kg/m³ (0.1 lb/pie³).
- 7.1.5 Rendimiento, cuando se solicite, aproximado a 0.1 m³ (0.1 yd³).
- 7.1.6 Rendimiento relativo, cuando se solicite, aproximado a 0.01.
- 7.1.7 Contenido de cemento, cuando se solicite, aproximado a 0.5 kg (1.0 lb).
- 7.1.8 Contenido de aire, cuando se solicite, aproximado a 0.1 %.

8 PRECISIÓN Y SESGO

8.1 Las siguientes estimaciones sobre precisión para este método de ensayo se basan en una colección de datos de varias localidades, hecha por la “*National Ready Mixed Concrete Association*”. Los datos representan mezclas de concreto con asentamientos entre 75 y 150 mm (3 y 6") y densidades entre 1842 y 2483 kg/m³ (115 y 155 lb/pie³) y concreto con y sin aire incluido. El estudio se realizó empleando recipientes de medida de 7 litros (0.25 pies³) y de 14 litros (0.5 pies³).

- 8.1.1 *Precisión de un solo operador*— Se encontró que la desviación estándar de la densidad de mezclas de concreto fresco para un operador es 10.4 kg/m³ (0.65 lb/pie³) (1s). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por el mismo operador sobre la misma muestra de concreto fresco, no deberían diferir en más de 29.6 kg/m³ (1.85 lb/pie³) (d2s).
- 8.1.2 *Precisión de varios operadores* — Se encontró que la desviación estándar de la densidad de mezclas de concreto fresco para varios

operadores es 13.1 kg/m^3 (0.82 lb/pie^3) (1s). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por dos operadores sobre la misma muestra de concreto no deberían diferir en más de 37.0 kg/m^3 (2.31 lb/pie^3) (d2s).

- 8.2** *Sesgo* – Este método de ensayo no tiene sesgo, puesto que la densidad se define únicamente en los términos de este método.

9 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C138/C138M – 10b