

# CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO FRESCO POR EL MÉTODO VOLUMÉTRICO

INV E - 409 - 13

## 1 OBJETO

- 1.1 Esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento de ensayo para determinar el contenido de aire en un concreto fresco, elaborado con cualquier tipo de agregado, denso, celular o de baja densidad, usando el método volumétrico.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-409-07.

## 2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 Este método de ensayo se refiere a la determinación del contenido de aire en una mezcla de concreto fresco. Mide el contenido de aire contenido en la fracción mortero, y no es afectado por el aire que pueda estar presente dentro de los poros de las partículas del agregado. Por lo tanto, resulta apropiado para determinar el contenido de aire de concretos elaborados con agregados livianos, escoria enfriada al aire y otros agregados porosos o vesiculares por naturaleza.
- 2.2 Este método requiere la adición de bastante alcohol isopropílico cuando el medidor se está llenando inicialmente con agua, de manera que luego del primero o de subsecuentes apisonados se recoja poca o ninguna espuma en el cuello de la parte superior del medidor. Si hay más espuma que la equivalente a 2 % de aire sobre el nivel de agua, el ensayo se declara inválido y se deberá repetir empleando una mayor cantidad de alcohol. No se permite la adición de alcohol para disipar la espuma en cualquier instante posterior al llenado inicial del medidor hasta la marca cero.
- 2.3 El contenido de aire de un concreto endurecido puede ser mayor o menor que el determinado mediante este método de ensayo. Ello depende de los métodos y de la intensidad del esfuerzo de consolidación aplicado al concreto del cual se toma el espécimen de concreto endurecido; de la uniformidad y la estabilidad de las burbujas de aire tanto dentro del concreto fresco como dentro del endurecido; de la exactitud del examen microscópico (si se realiza); del tiempo de comparación; de la exposición al ambiente; de la etapa dentro

de los procesos de entrega, colocación y consolidación en la cual se determina el contenido de aire del concreto sin endurecer, es decir, antes o después de ser bombeado; y otros factores.

### 3 EQUIPO Y MATERIALES

**3.1** *Medidor de aire* – Consta de un recipiente de medición y una sección superior (Figura 409 - 1), de acuerdo con los requerimientos que se indican a continuación:

**3.1.1** El recipiente de medición y la sección superior deben tener el espesor y la rigidez suficientes para soportar el uso brusco en el campo. Su material constitutivo deberá soportar el ataque de la pasta de cemento de alto pH, así como la deformación cuando se almacena a altas temperaturas; además, no deberá ser frágil ni quebradizo a bajas temperaturas. Cuando la sección superior se fija al recipiente, el ajuste deberá ser hermético.

**3.1.2** *Recipiente de medición* – Debe tener un diámetro de 1 a 1.25 veces su altura y debe tener una pestaña en la parte superior o cerca de ella. Su capacidad debe ser, por lo menos, de 2.0 litros (0.075 pies<sup>3</sup>).

**3.1.3** *Sección superior* – Debe tener una capacidad al menos 20 % mayor que la del recipiente y debe estar equipada con un empaque flexible y un accesorio para unirla con el recipiente de medición. Debe tener el cuello de plástico transparente o de cristal, graduado en incrementos no mayores de 0.5 % desde 0 en la parte superior hasta 9 % o más en la inferior del volumen del recipiente de medición. Las graduaciones deben tener una exactitud de  $\pm 0.1$  % respecto del volumen del recipiente de medición. El extremo superior del cuello debe ser roscado para acoplar una tapa con empaque que asegure un cierre hermético cuando el medidor se invierta y cuando sea sometido a los giros bruscos que exige el ensayo.

**3.2** *Embudo* – Debe ser metálico, con un vástago de dimensiones tales que se pueda insertar a través del cuello de la sección superior y llegue casi al fondo de ella. El extremo de descarga del embudo debe ser construido de manera que cuando se agregue agua al recipiente, el concreto sufra la menor alteración posible.

- 3.3 Varilla apisonadora** – Debe ser de acero templado, polietileno de alta densidad u otro plástico de igual o mayor resistencia a la abrasión. Debe ser lisa, recta, cilíndrica, de  $16 \pm 2$  mm ( $5/8 \pm 1/16$ ) 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 1). Uno o ambos extremos de la varilla deben ser hemisféricos con un radio de 8 mm (5/16").

Nota 1: 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.

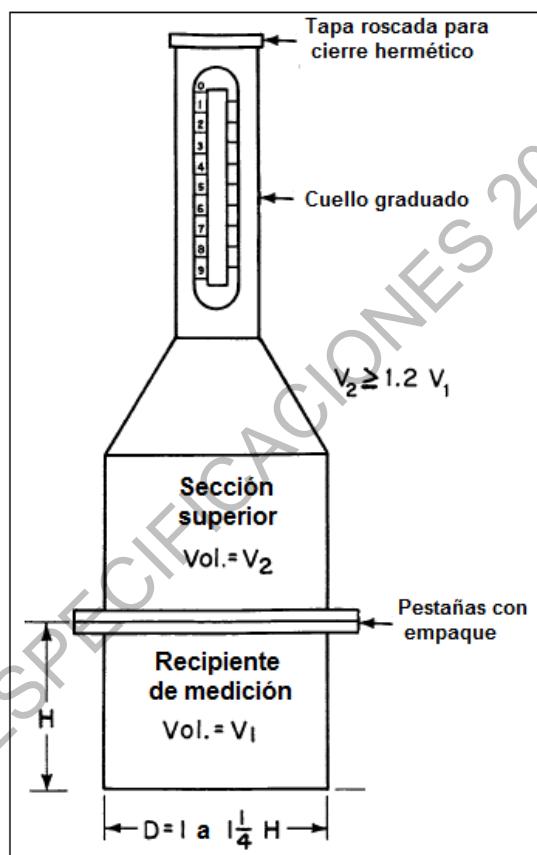


Figura 409 - 1. Medidor de aire por el método volumétrico

- 3.4 Barra para enrasar** – Barra recta y plana de acero o de otro metal adecuado de, al menos 3 mm ( $1/8$ ") de espesor y de 20 mm ( $3/4$ ) de ancho y 300 mm (12") de largo. También, puede ser de polietileno de alta densidad u otro plástico de igual o mayor resistencia a la abrasión.

- 3.5 Vaso calibrado** – Plástico o metálico, graduado en incrementos de  $1.0 \pm 0.04$  % del volumen del recipiente del medidor de aire. Este vaso se usa solamente para añadir agua cuando el contenido de aire del concreto excede el 9 % o el rango calibrado del medidor.

- 3.6** *Recipiente de medida para el alcohol isopropílico* – Con una capacidad, al menos, de 500 ml, con graduaciones no mayores de 100 ml (4 onzas).
- 3.7** *Jeringa graduada* – De caucho con una capacidad no menor de 50 ml (2 oz).
- 3.8** *Recipiente de metal o de cristal* – Para verter agua, con capacidad aproximada de 1 litro.
- 3.9** *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 recipiente de medición.
- 3.10** *Alcohol isopropílico* – De 70 % en volumen (aproximadamente 65 % en masa) (nota 2). Se permiten otros agentes dispersores de espuma, si los ensayos demuestran que el uso de ellos no cambia o altera el contenido de aire en más del 0.1 % en las cantidades que están siendo usadas, o si se desarrollan factores de corrección similares a los de la Tabla 409 - 1. Cuando se empleen otros agentes dispersores, se deberá conservar en el laboratorio una copia de los registros respectivos.

Tabla 409 - 1. Corrección de las lecturas del medidor de aire por efecto del alcohol isopropílico

ALCOHOL ISOPROPÍLICO AL 70 % USADO		CORRECCIÓN <sup>A</sup>
ONZAS FLUIDAS	LITROS	
≤ 32	≤ 1.0	0.0 <sup>B</sup>
48	1.5	0.25
64	2.0	0.50
80	2.5	0.75

<sup>A</sup> Se sustrae de la lectura final del medidor.<sup>B</sup> Las correcciones se aplican solo cuando se usan 1.25 litros o más de alcohol isopropílico. Los valores de la tabla están dados para medidores con recipientes de una capacidad de 2.1 litros (0.075 pies<sup>3</sup>) y una sección superior que sea 1.2 veces el volumen del recipiente de medición.

*Nota 2: El alcohol isopropílico al 70 % se obtiene normalmente como alcohol antiséptico. Los alcoholes de mayor concentración se pueden diluir con agua hasta la concentración requerida.*

- 3.11** *Mazo* – Con cabeza de caucho o cuero crudo, con una masa aproximada de  $600 \pm 200$  g ( $1.25 \pm 0.5$  lb).

## 4 CALIBRACIÓN DE LOS APARATOS

- 4.1 El medidor y el vaso calibrado se deben calibrar inicialmente y luego anualmente o cuando haya motivos para suponer que han sufrido algún deterioro o deformación.
- 4.2 Se determina el volumen del recipiente, con una aproximación de, por lo menos, 0.1 %, determinando la masa de agua (a temperatura del laboratorio) requerida para llenarlo, y dividiéndola por la densidad del agua a la misma temperatura. Se debe seguir el procedimiento de calibración descrito en la norma INV E-217.
- 4.3 Se determina la exactitud de las graduaciones del cuello de la sección superior del medidor de aire, llenando con agua el medidor ensamblado hasta el nivel de la marca correspondiente al mayor contenido de aire.
  - 4.3.1 Se adiciona agua en incrementos del 1.0 % del volumen del recipiente para verificar la exactitud a lo largo del rango graduado de contenido de aire. El error en cualquier punto a lo largo del rango graduado no deberá exceder el 0.1 % de aire.
- 4.4 Se determina el volumen del vaso calibrado usando agua a 21.1° C (70° F), empleando el método descrito en el numeral 4.2. Se puede realizar una verificación rápida añadiendo uno o más vasos calibrados de agua al medidor ensamblado y observando el incremento en la altura de la columna de agua después de llenado hasta cierto nivel.

## 5 TOMA DE MUESTRAS

- 5.1 Se debe realizar de acuerdo con lo indicado en la norma INV E-401. Si el concreto contiene partículas de agregado grueso que pudieran quedar retenidas en el tamiz de 37.5 mm (1½"), se debe tamizar en húmedo una muestra representativa sobre un tamiz de 25 mm (1") para obtener algo más del material que se necesita para llenar el recipiente del medidor de aire. Este tamizado se describe en la norma INV E-401.
- 5.2 El concreto empleado para llenar el recipiente de medición no puede haber sido usado previamente en ningún otro ensayo diferente a los de tamizado en húmedo o de determinación de la temperatura.

## 6 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Apisonado** – Se humedece el interior del recipiente de medición y se seca hasta obtener una apariencia húmeda no brillante. Empleando el cucharón descrito en el numeral 3.9 se llena el recipiente con concreto fresco, en dos capas de aproximadamente el mismo volumen (Figura 409 - 2a). Al colocar el concreto en el recipiente, se debe mover el cucharón por todo el perímetro de la abertura del recipiente de medición con el fin de asegurar una correcta distribución del concreto con una segregación mínima. Se apisona cada capa 25 veces de manera uniforme sobre la sección transversal (Figura 409 - 2b). La primera capa se debe apisonar en todo su espesor; sin embargo, al golpear con la varilla se debe tener cuidado para no causar daño al fondo del recipiente. Al apisonar la capa superior, la varilla debe penetrar la primera 25 mm (1"), aproximadamente. Después del apisonado de cada capa, se golpean los lados del recipiente de 10 a 15 veces con el mazo (numeral 3.11) para cerrar los vacíos dejados por el apisonado y para liberar burbujas de aire que hubieran podido quedar atrapadas. Después de dar los golpes a la segunda capa, es aceptable un leve exceso de concreto, de 3 mm (1/8") o menos, por encima del borde. Se adiciona o retira concreto, según sea necesario, para obtener la cantidad de concreto requerida.



Figura 409 - 2. Colocación y apisonado de una capa de concreto

- 6.2 Enrase** – Después de colocar la segunda capa de concreto, se enrasa con la barra hasta que la superficie queda a nivel con el borde del recipiente de medición. Se limpia el borde o pestaña del recipiente (Figura 409 - 3).



Figura 409 - 3. Limpieza del borde del recipiente

**6.3 Adición de agua y alcohol** – Se humedece el interior de la sección superior del aparato, incluyendo el empaque. Se acopla la sección superior al recipiente de medición (Figura 409 - 4a) y se inserta el embudo (Figura 409 - 4b). Se agregan por lo menos 0.5 litros de agua, seguidos por la adición de la cantidad seleccionada de alcohol isopropílico (Figura 409 - 5) (nota 3). Se anota la cantidad de alcohol adicionada y se sigue adicionando agua hasta que aparezca en el cuello graduado de la sección superior (nota 4). Se retira el embudo y se ajusta el nivel de agua hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca cero (0). Una jeringa es útil para este propósito. En seguida se acopla y aprieta la tapa hermética (Figura 409 - 6).

*Nota 3: La cantidad de alcohol necesaria para obtener una lectura estable y un mínimo de espuma en la parte superior de la columna de agua depende de numerosos factores. Muchos concretos elaborados con menos de 300 kg/m<sup>3</sup> (500 lb/yd<sup>3</sup>) de cemento y contenidos de aire menores de 4 % pueden requerir menos de 0.2 litros de alcohol. Algunas mezclas con altos contenidos de cemento elaborado con humo de sílice que tienen contenidos de aire de 6 % o más, pueden requerir más de 1.4 litros de alcohol. La cantidad requerida variará con el contenido de aire, la cantidad y tipo del aditivo inclusor de aire, el contenido de cemento y de álcali de cemento y, posiblemente, otros factores. Generalmente, la cantidad necesaria de alcohol se puede establecer para las proporciones de una mezcla dada y no deben variar significativamente durante el curso de una obra.*

*Nota 4: Cuando se deban usar más de 2 litros de alcohol isopropílico, puede ser necesario restringir la cantidad de agua por agregar inicialmente para evitar un sobrellenado del medidor. Sin embargo, es deseable añadir, al menos, algún agua inicial para ayudar a mezclar el alcohol y limitar el contacto del alcohol concentrado con la superficie superior del concreto.*



Figura 409 - 4. Acople de la sección superior e inserción del embudo



Figura 409 - 5. Adición de agua y alcohol



Figura 409 - 6. Colocación de la tapa para cierre hermético

**6.4 Eliminación del aire** – Se remueve el volumen de aire contenido en el espécimen de concreto, utilizando los siguientes procedimientos:

**6.4.1 Liberando el concreto del recipiente de medición** – Se invierte rápidamente el aparato (Figura 409 - 7), se agita horizontalmente el recipiente de medición y se devuelve el aparato a su posición vertical. Para prevenir la acumulación de agregado en el cuello de la unidad, no se debe mantener invertido por más de 5 segundos cada vez. Se repite este proceso de invertir y agitar por un mínimo de 45 segundos y hasta que el concreto quede suelto y se pueda oír el agregado moviéndose en el aparato a medida que éste se invierte.



Figura 409 - 7. Inversión del aparato

**6.4.2** *Giro* – Se coloca una mano en el cuello del medidor y la otra sobre la pestaña. Utilizando la mano en el cuello, se inclina la parte superior del medidor unos 45° con respecto a la posición vertical, con el borde inferior del recipiente apoyado sobre el piso o sobre la superficie de trabajo. Se debe mantener esta posición a través de los procedimientos descritos en este numeral. Utilizando la mano colocada sobre la pestaña, se hace girar el medidor vigorosamente de  $\frac{1}{4}$  a  $\frac{1}{2}$  vuelta hacia uno y otro lado varias veces iniciando y terminando el giro con rapidez (Figura 409 - 8). Se voltea el recipiente de medición aproximadamente un tercio de vuelta y se repite el procedimiento anterior. Se continúan estos procedimientos de volteo y giro por aproximadamente un minuto. Durante este proceso, el agregado se debe oír deslizándose dentro del medidor.

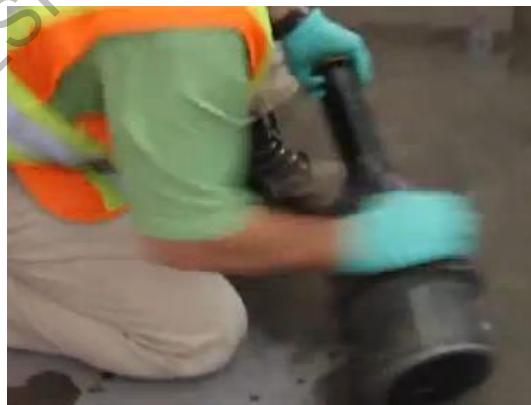


Figura 409 - 8. Giro del medidor

**6.4.2.1** Si en algún momento del ensayo, durante los procedimientos de inversión y de giro, se observa goteo de líquido del medidor, el ensayo se considera inválido y se deberá repetir

con una nueva muestra, obtenida según se indica en el numeral 5.1.

- 6.4.2.2** Se coloca la unidad verticalmente y se afloja la tapa hermética para que se estabilice la presión (Figura 409 - 9). Se permite el reposo del medidor mientras el aire se eleva hacia la parte superior y hasta que el nivel del líquido se estabilice. Se considera que el nivel del líquido se encuentra estable cuando no cambia en más de 0.25 % de aire en un período de 2 minutos.



Figura 409 - 9. Se afloja la tapa roscada

- 6.4.2.3** Si al nivel del líquido le toma más de seis minutos estabilizarse o si hay más espuma que la equivalente a dos divisiones completas de porcentaje de contenido de aire sobre el nivel del líquido (Figura 409 - 10), se debe descartar el ensayo e iniciar otro con una nueva muestra. Para el segundo ensayo, se debe usar una cantidad de alcohol mayor que la empleada para el primero.

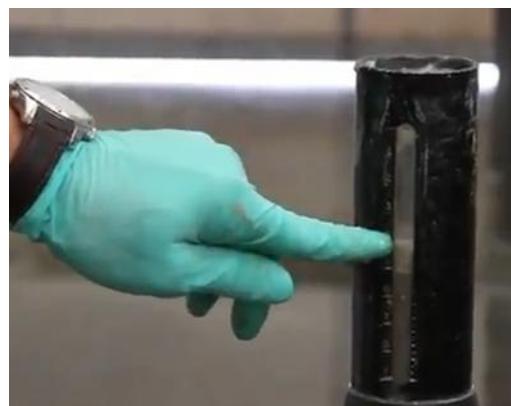


Figura 409 - 10. Nivel de espuma sobre el líquido

**6.4.2.4** Si el nivel del líquido es estable sin espuma excesiva, se lee la parte inferior del menisco aproximada a 0.25 % y se anota como “lectura inicial”.

**6.4.2.5** Si el contenido de aire es mayor que el 9 % del rango del medidor, se añade un número suficiente de vasos calibrados de agua para llevar el nivel del líquido al rango graduado. Se lee el fondo del menisco con aproximación a 0.25 %. Se anota el número de vasos calibrados de agua que han de ser añadidos a la lectura final, como se indica en el numeral 7.2.

**6.5** *Confirmación de la lectura inicial del medidor:*

**6.5.1** Cuando se obtenga una lectura inicial como se indicó en el numeral 6.4.2.4, se vuelve a apretar la parte superior y se repite el procedimiento de giro por un minuto, como se indica en los numerales 6.4.2, 6.4.2.2 y 6.4.2.3.

**6.5.2** Cuando el nivel del líquido sea estable como se indica en el numeral 6.4.2.2 y cumpla los requerimientos del numeral 6.4.2.3, se lee la parte inferior del menisco aproximada a 0.25 % de aire. Si esta lectura no ha cambiado en más del 0.25 % de la lectura inicial (numeral 6.4.2.4), se anota ésta como la “lectura final” de la muestra ensayada.

**6.5.2.1** Si la lectura ha cambiado en más del 0.25 % de aire respecto de la lectura inicial, se anota esta lectura como la “nueva lectura inicial” y se repite el procedimiento de giro durante un minuto (numeral 6.4.2). Se lee el contenido de aire indicado. Si esta lectura no ha cambiado en más del 0.25 % de la “nueva lectura inicial”, la lectura se registra como “lectura final”.

**6.5.2.2** Si la lectura ha cambiado en más del 0.25 %, se descarta el ensayo y se inicia uno nuevo con otra muestra de concreto y un mayor contenido de alcohol.

**6.6** Se desarma el aparato. Se descarga el recipiente de medición y se examina el contenido para asegurarse de que no hay porciones de concreto inalterado, empacado apretadamente, en el recipiente de medición. Si se encuentran porciones inalteradas, el ensayo se considera inválido.

## 7 CÁLCULOS

- 7.1** Si se usan más de 1.2 litros de alcohol isopropílico en el paso indicado en el numeral 6.3, se requiere una corrección a la lectura final del medidor. Se redondea el volumen de alcohol usado a los 0.5 litros más cercanos y se escoge el factor de corrección en la Tabla 409 - 1.

*Nota 5: Cuando la sección superior se encuentra inicialmente llena con agua y alcohol isopropílico hasta la marca de cero, esa mezcla tiene un volumen definido; sin embargo, cuando esa solución se mezcla posteriormente con el agua presente en el concreto, la concentración de alcohol cambia y la nueva solución ocupa un volumen ligeramente menor que el que ocupaba cuando el medidor estaba inicialmente lleno hasta la marca de cero. Por esta razón, el medidor tiende a indicar un contenido de aire mayor que el real cuando se usan contenidos de alcohol isopropílico mayores a 1.2 litros. Por lo tanto, cuando se usan grandes cantidades de alcohol, los factores de corrección de la Tabla 409 - 1 reducen el contenido de aire indicado por el medidor.*

- 7.2** *Contenido de aire* – El contenido de aire en el concreto dentro del recipiente de medición se calcula con la expresión:

$$A = A_R - C + W$$

[409.1]

Donde: A: Contenido de aire, %;

$A_R$ : Lectura final del medidor, %;

C: Factor de corrección de la Tabla 409 - 1, %;

W: Número de vasos calibrados de agua añadidos al medidor (ver numeral 6.4.2.5).

- 7.2.1** El contenido de aire se debe reportar aproximado a 0.25 %.

- 7.3** Cuando la muestra ensayada representa una porción de mezcla obtenida por tamizado húmedo, removiendo las partículas mayores de 25 mm (1"), el contenido de aire del mortero o de la mezcla completa se calcula empleando las ecuaciones dadas en la norma INV E-406. Se deben usar las cantidades apropiadas de agregado mayor y menor de 25 mm (1"), en lugar de emplear el tamiz de 37.5 mm (1½") especificado en la norma INV E-406.

## 8 PRECISIÓN Y SESGO

- 8.1** *Precisión* – La desviación estándar es esencialmente proporcional al promedio para diferentes niveles de contenido de aire. Los siguientes planteamientos de precisión se basan en 979 pruebas llevadas a cabo en 6 campos de experimentación por el Departamento de Transporte de West Virginia. Se encontró que el coeficiente de variación multioperador es 11 % del contenido de aire medido. Por lo tanto, los resultados de dos pruebas llevadas a cabo por diferentes operadores sobre especímenes tomados de una sola muestra de concreto no deben diferir, uno de otro, en más de 32 % de su contenido de aire promedio (nota 6).

*Nota 6: Estos valores representan, respectivamente, los límites 1s y d2s. Los datos recolectados para el planteamiento de precisión fueron obtenidos usando procedimientos estándar antes del uso de grandes cantidades de alcohol isopropílico en el método de ensayo de la norma INV E-409-07.*

- 8.2** *Sesgo* – Este método de ensayo proporciona procedimientos volumétricos para determinar el contenido de aire en mezclas de concreto fresco. Cuando se realiza correctamente, este método no presenta sesgo, debido a que el contenido de aire solo se puede definir en términos de este método de ensayo.

## 9 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

ASTM C173/C173M – 10b

[http://www.youtube.com/watch?feature=endscreen&NR=1&v=\\_Gq8PWmi7LQ](http://www.youtube.com/watch?feature=endscreen&NR=1&v=_Gq8PWmi7LQ)