

CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO FRESCO POR EL MÉTODO DE PRESIÓN

INV E – 406 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación del contenido de aire de un concreto fresco, a partir de la observación del cambio de volumen producido por un cambio en la presión sobre el concreto.
- 1.2** El método es aplicable a concretos y morteros elaborados con agregados relativamente densos, para los cuales se puede determinar adecuadamente el factor de corrección por agregado, mediante la técnica descrita en la Sección 5. El método no es aplicable a concretos elaborados con agregados livianos, escorias de alto horno enfriadas al aire o agregados de alta porosidad. En estos casos, se debe emplear el método volumétrico establecido en la norma INV E–409. El método tampoco es aplicable a concretos no plásticos, como los usados corrientemente en la fabricación de tubos y unidades de mampostería de concreto.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E–406–07.

2 IMPORTANCIA Y USO

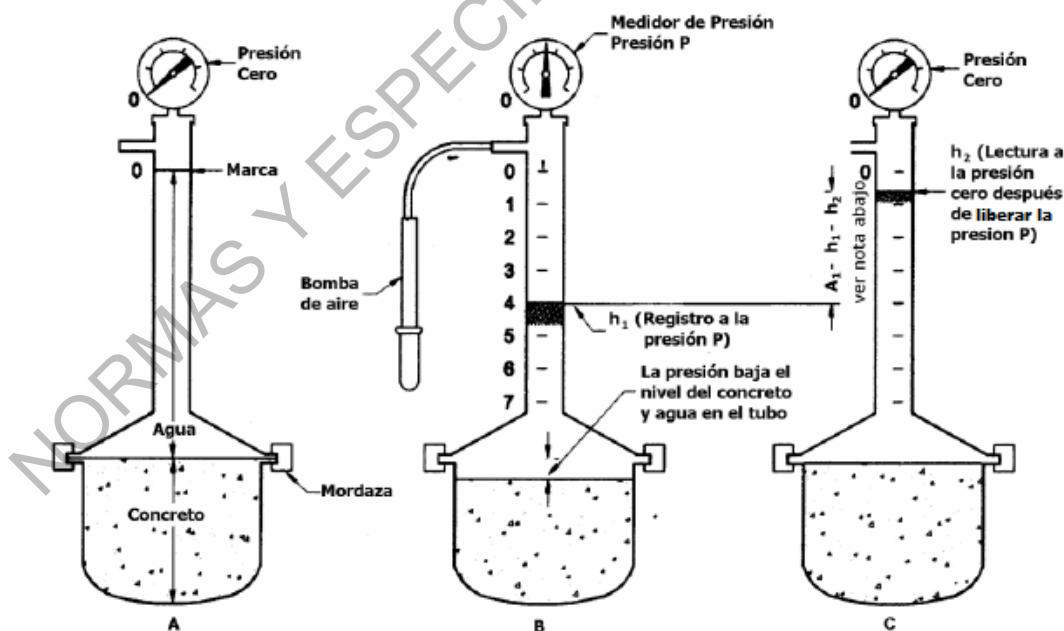
- 2.1** Este método de ensayo cubre la determinación del contenido de aire de una mezcla fresca de concreto. Mediante el ensayo se determina exclusivamente el aire que puede existir en los vacíos existentes entre las partículas del agregado. Por esta razón, es aplicable a concretos hechos con agregados relativamente densos y requiere la determinación de un factor de corrección por agregado (numerales 5.1 y 8.1).
- 2.2** Este método de ensayo y los descritos en las normas INV E–405 e INV E–409 proporcionan procedimientos de presión, gravimétricos y volumétricos, respectivamente, para determinar el contenido de aire en un concreto fresco. El procedimiento de presión de este ensayo da como resultado contenidos de aire muy similares a los obtenidos con los otros dos métodos para concretos hechos con agregados densos.

- 2.3** El contenido de aire de un concreto endurecido puede ser mayor o menor que el determinado mediante este ensayo. Ello depende de los métodos y de la intensidad de la energía de consolidación aplicada al concreto del cual se toma el espécimen de concreto endurecido; de la exactitud del examen microscópico (si se realiza); del tiempo de comparación; de la exposición al ambiente; del puesto que ocupa en el despacho, de los procesos de colocación y consolidación en los cuales se determina el contenido de aire del concreto fresco, es decir, antes o después de ser bombeado; y otros factores.

3 EQUIPO

- 3.1** *Medidores de aire* – Existen dos diseños que se basan en la ley de Boyle y que, para propósitos de referencia, se designan como tipo A y tipo B.

- 3.1.1** *Medidor tipo A* – Se compone de un recipiente de medida y su tapa ensamblada (Figura 406 - 1), que deben cumplir lo especificado en los numerales 3.2 y 3.3. El procedimiento de operación consiste en introducir agua hasta una determinada altura sobre una muestra de concreto de volumen conocido, y la aplicación de una presión predeterminada sobre el agua. La determinación consiste en observar el descenso del nivel de agua, indicativo de una reducción del volumen del aire de la muestra de concreto bajo la presión aplicada.



Nota: $A_1 = h_1 - h_2$ cuando el recipiente contiene concreto como se muestra en esta figura; $G = h_1 - h_2$ (factor de corrección de agregados) cuando contiene solo agregados y agua; $A_1 - G = A$ (contenido de aire en el concreto)

Figura 406 - 1. Medidor Tipo A

3.1.2 *Medidor tipo B* – Se compone de un recipiente de medida y su tapa ensamblada (Figura 406 - 2), que deben cumplir lo especificado en los numerales 3.2 y 3.3. El procedimiento consiste en igualar un determinado volumen de aire a presión conocida en una cámara de aire sellada, con el volumen desconocido de aire en la muestra de concreto, estando calibrado el dial del medidor de presión en términos del porcentaje de aire para la presión observada a la cual tiene lugar el equilibrio. Se recomienda el empleo de presiones de trabajo comprendidas entre 51 y 207 kPa (7.5 a 30 lbf/pg²).

3.2 *Recipiente de medida* – Debe ser cilíndrico, de acero u otro metal duro no atacable por la pasta de cemento, con un diámetro entre 0.75 y 1.25 veces su altura y una capacidad mínima de 6 litros (0.20 pies³). Debe tener pestañas o un sistema que garantice una junta hermética con la tapa. La superficie interior del recipiente de medida y la superficie de los bordes, pestañas y otros componentes deben ser pulidas. El ensamble del recipiente con la tapa debe tener la rigidez suficiente para limitar el factor de expansión D, del aparato ensamblado (Anexo A.1.5) a no más del 0.1 % del contenido de aire en la escala indicadora, bajo la presión normal de operación.

3.3 *Cubierta o tapa de ensamble:*

3.3.1 Debe ser de acero u otro material duro no atacable por la pasta de cemento y tener un reborde o un sistema que garantice una junta hermética (sin aire atrapado en ella) con el recipiente, para lo cual la superficie de contacto debe ser pulida. Su forma debe ser tal, que deje un espacio libre sobre la parte superior del recipiente. Su rigidez debe ser suficiente para limitar el factor de expansión D del ensamble del aparato ensamblado, como se prescribe en el numeral 3.2.

3.3.2 La cubierta debe estar provista de un dispositivo de lectura directa del contenido de aire. En el medidor Tipo A, debe estar adaptada con un tubo vertical transparente graduado o un tubo de metal de diámetro constante con un indicador de vidrio inserto. En el medidor Tipo B, el manómetro debe estar calibrado para indicar porcentajes de aire. La escala de graduación para contenido de aire debe llegar por lo menos al 8 % con una legibilidad de 0.1 %, como se ha determinado mediante el ensayo de calibración con la presión de aire apropiada.

3.3.3 La cubierta debe disponer de válvulas de aire, válvulas de purga de aire y llaves para drenar o a través de las cuales se pueda introducir agua, según sea necesario, para el diseño particular del medidor. Se deben

disponer elementos para sujetar la cubierta al recipiente de medida con el fin de obtener un sello hermético sin atrapar aire en la junta entre las pestañas de la cubierta y el recipiente. Se debe proveer una bomba manual de aire, ya sea acoplada a la cubierta o como un accesorio.

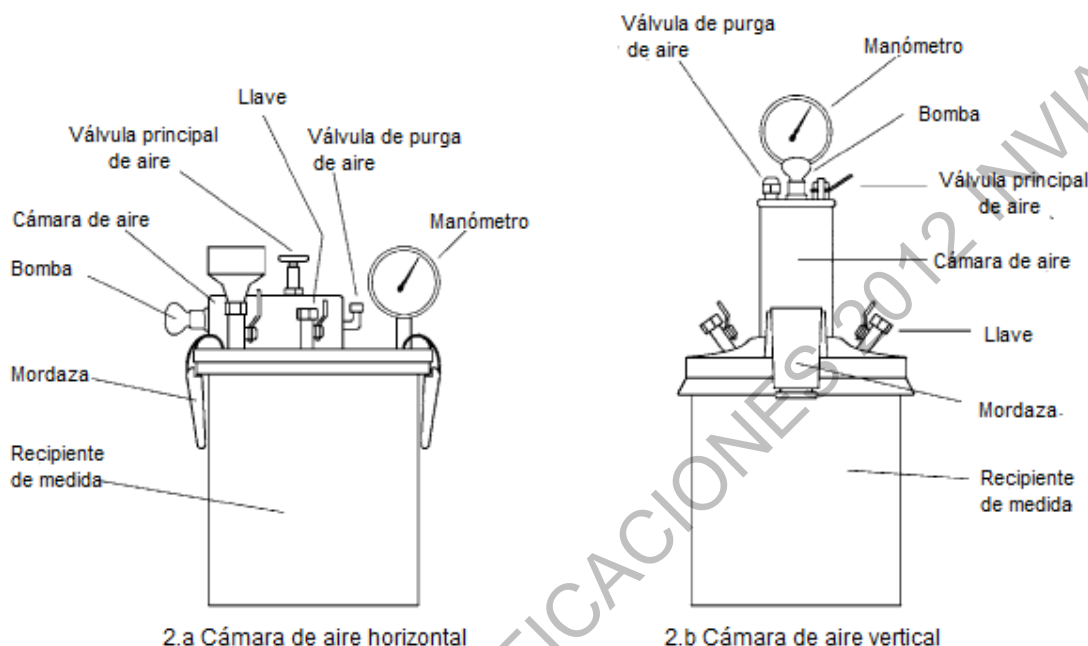


Figura 406 - 2. Medidor Tipo B

- 3.4 Vaso de calibración** – Debe tener dimensiones tales que su volumen interno sea igual a un porcentaje del volumen del recipiente de medida, que corresponda al contenido aproximado de aire en el concreto bajo ensayo; o, si es más pequeño, debe ser posible verificar la calibración del indicador de medida, con el porcentaje aproximado de aire en el concreto bajo ensayo, llenando el recipiente repetidamente. Cuando el diseño del medidor de aire requiera la colocación del vaso de calibración dentro del recipiente de medida para verificar la calibración, el recipiente debe ser cilíndrico.

Nota 1: Un vaso de calibración adecuado para colocar dentro del recipiente de medición puede ser maquinado de un tubo de bronce de calibre 16, con un diámetro adecuado para obtener el volumen deseado, al cual se suelda un disco de bronce de 13 mm (½") de espesor para formar un extremo. Cuando el diseño del medidor requiera la extracción de agua del conjunto recipiente-cubierta lleno de agua, con propósito de verificar la calibración, el vaso puede ser una parte integral de la cubierta o puede ser un recipiente cilíndrico separado, similar al descrito anteriormente.

- 3.5** Los diseños de los medidores de aire disponibles son tan variados, que difieren en sus técnicas de operación; por lo tanto, es posible que no se requieran todos los elementos mencionados en los numerales 3.6 a 3.16. Los elementos

requeridos serán aquellos necesarios para que cada diseño particular del aparato empleado permita determinar satisfactoriamente el contenido de aire de acuerdo con los procedimientos descritos en esta norma.

- 3.6** *Resorte helicoidal u otro dispositivo para sostener el cilindro de calibración en su lugar.*
- 3.7** *Tubo de aspersión* – De bronce y de diámetro apropiado, el cual puede formar parte de la cubierta o ser suministrado de manera separada. Debe estar construido de manera que cuando se añada el agua al recipiente, ésta sea rociada hacia las paredes de la cubierta de manera que fluya hacia los lados causando una alteración mínima al concreto.
- 3.8** *Palustre* – Estándar de albañil para pegar ladrillos.
- 3.9** *Varilla apisonadora* – Debe ser de acero, lisa, recta, cilíndrica, de 16 ± 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 2). Uno o ambos extremos de la varilla deben ser hemisféricos con un radio de 8 mm ($5/16$ ").
- Nota 2: 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.*
- 3.10** *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 de 14 litros (0.5 pies³) de capacidad o menos, 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 pies³).
- 3.11** *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.
- 3.12** *Placa de enrase* – Debe ser una placa metálica rectangular de, por lo menos, 6 mm ($1/4$ ") de espesor o una placa de vidrio o acrílica de no menos de 12 mm ($1/2$ ") 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 ($1/16$ ").
- 3.13** *Embudo* – Con un conducto que encaje en el tubo aspersor.

- 3.14** *Recipiente para el agua* – De capacidad adecuada para llenar el indicador con agua desde la parte superior del concreto hasta la marca cero.
- 3.15** *Vibrador* – Como el descrito en la norma INV E-402.
- 3.16** *Tamiz* – De aberturas de 37.5 mm (1 ½"), con un área de tamizado no menor de 0.2 m² (2 pies²).
- 3.17** *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 medida.

4 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

- 4.1** Los aparatos se deben calibrar según lo indicado en el Anexo A. Un manejo tosco afecta la calibración de cualquiera de los medidores de aire. La calibración del medidor tipo A se afecta con los cambios de presiones barométricas, no así la del medidor tipo B. Los pasos descritos en los numerales A.2 a A.6 del Anexo A, según sean aplicables al tipo de medidor bajo consideración, son prerequisites para el ensayo de calibración final que se hace para determinar la presión de operación, P, en el manómetro del medidor tipo A, tal como se describe en el numeral A.7 del Anexo A, o para determinar la exactitud de las divisiones de la carátula del manómetro del medidor tipo B, como se menciona en el numeral A.9 del Anexo A. Los pasos indicados en los numerales A.2 a A.6 del Anexo A sólo se deben hacer una vez (en el instante de la calibración inicial), u ocasionalmente para comprobar la constancia de los volúmenes del cilindro de calibración y del recipiente de medida. Por otro lado, el ensayo de calibración descrito en los numerales A.7 y A.9 del Anexo A, según sea aplicable al tipo de medidor que se esté verificando, se debe hacer con la frecuencia que se considere necesaria y a intervalos no mayores de tres meses, con el objeto de asegurar el uso de la presión manométrica apropiada, P, en el medidor tipo A, o que la indicación del contenido de aire en la escala del medidor tipo B sea correcta. Un cambio de altitud de más de 180 m (600 pies) en relación con el sitio en que fue calibrado un medidor tipo A, hacen necesaria una nueva calibración de conformidad con el numeral A.7 del Anexo A.
- 4.2** *Registros de calibración* – La información a conservar debe incluir la determinación del factor de expansión; el tamaño del vaso de calibración usado y la lectura del medidor en los puntos del ensayo de calibración.

5 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CORRECCIÓN DEL AGREGADO

5.1 Procedimiento – El factor de corrección del agregado en una muestra combinada de agregados grueso y fino se determina como se indica en los numerales 5.2 a 5.4. El factor se determina de manera independiente aplicando la presión de calibración a una muestra sumergida de agregado fino y grueso en, aproximadamente, la misma condición de humedad, cantidad y proporciones que se presentan en la muestra de concreto bajo ensayo.

5.2 Tamaño de la muestra de agregado – Las masas de los agregados fino y grueso presentes en la muestra de concreto fresco cuyo contenido de aire se va a determinar, se calculan de la siguiente manera:

$$F_s = \frac{S}{B} \times F_b \quad [406.1]$$

$$C_s = \frac{S}{B} \times C_b \quad [406.2]$$

- Donde: F_s : Masa del agregado fino en la muestra de concreto bajo ensayo, kg (lb);
- S : Volumen de la muestra de concreto (igual al volumen del recipiente de medida), m^3 (pies³);
- B : Volumen de concreto producido por amasada (nota 3), m^3 (pies³);
- F_b : Masa total de agregado fino en la condición de humedad usada en la amasada, kg (lb);
- C_s : Masa del agregado grueso en la muestra de concreto bajo ensayo, kg (lb);
- C_b : Masa total de agregado grueso en la condición de humedad usada en la amasada, kg (lb).

Nota 3: El volumen de concreto producido por amasada se puede determinar de acuerdo con las provisiones aplicables de la norma INV E-405.

5.3 Colocación del agregado en el recipiente de medida – Se mezclan muestras representativas de los agregados fino (F_s) y grueso (C_s) y se colocan en el recipiente de medida lleno con agua hasta un tercio de su capacidad. El agregado se coloca en incrementos y, si es necesario, se añade más agua para inundar todo el agregado. Cada cucharada se debe adicionar de manera que se atrape la menor cantidad posible de aire y que las acumulaciones de espuma se remuevan con prontitud. Se golpean los lados del recipiente y se apisonan ligeramente los 25 mm (1") superiores del agregado, entre 8 y 12 veces. Luego de cada adición de agregado, se debe agitar para eliminar el aire atrapado.

5.4 Determinación del factor de corrección del agregado:

5.4.1 Procedimiento inicial para los medidores de los tipos A y B – Cuando todo el agregado se haya colocado en el recipiente de medida, se remueve el exceso de espuma y se conserva el agregado inundado durante un lapso aproximadamente igual al tiempo que transcurre entre la introducción del agua en el mezclador y el instante de realizar el ensayo del contenido de aire, antes de proceder con la determinación como se indica en los numerales 5.4.2 o 5.4.3.

5.4.2 Medidor tipo A – El ensayo se completa como se describe en los numerales 7.2.1 a 7.2.3. El factor de corrección es igual a $h_1 - h_2$ (Ver Figura 406 - 1) (nota 4).

5.4.3 Medidor tipo B – Los procedimientos se adelantan como se describe en el numeral 7.3.1. Se remueve del aparato ensamblado y lleno un volumen de agua aproximadamente equivalente al volumen de aire que debiera contener una muestra típica de concreto del mismo tamaño del recipiente de medida. El agua se remueve como se menciona en el numeral A.9 del Anexo A. El ensayo se completa como se describe en el numeral 7.3.2. El factor de corrección del agregado, G , es igual a la lectura en la escala de contenido de aire menos el volumen de agua removida del recipiente de medida, expresado como porcentaje del volumen del recipiente de medida (Ver Figura 406 - 1)

Nota 4: El factor de corrección del agregado variará dependiendo de los agregados. El factor se puede determinar únicamente mediante ensayo por cuanto, aparentemente, no está relacionado de manera directa con la absorción de las partículas. El ensayo es de fácil ejecución. Generalmente, el factor permanece constante para unos agregados determinados, pero se recomienda su verificación ocasional.

6 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE CONCRETO

- 6.1** La muestra se debe obtener de acuerdo con la norma INV E-401. Si el concreto contiene partículas de agregado grueso que puedan ser retenidas en un tamiz de 50 mm (2"), se tamiza en húmedo una cantidad representativa y suficiente de la muestra sobre un tamiz de 37.5 mm (1½"), como se describe en la norma INV E-401, con el fin de obtener material suficiente para llenar el recipiente de medida del tamaño seleccionado para uso. La operación de tamizado húmedo se deberá realizar causando la menor alteración posible al mortero. No se debe intentar limpiar el mortero adherido a las partículas del agregado grueso retenido en el tamiz.

7 PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO

7.1 Colocación y consolidación de la muestra:

- 7.1.1** Se prepara el concreto como se menciona en el numeral 6.1. Se humedece el interior del recipiente de medida y se coloca sobre una superficie plana, firme y nivelada. Usando el cucharón descrito en el numeral 3.17, se coloca una muestra representativa del concreto en el recipiente de medida en el número de capas requerido por el método de consolidación escogido (numerales 7.1.2 o 7.1.3). Al colocar el concreto en el recipiente, se mueve el cucharón por todo el perímetro para asegurar una distribución correcta con una segregación mínima. Se consolida cada capa por apisonado (numeral 7.1.2) o por vibración (numeral 7.1.3). Se enrasa la última capa consolidada (numeral 7.1.4). El método de consolidación se elige de acuerdo al asentamiento del concreto, como se muestra en la Tabla 406 - 1.

Tabla 406 - 1. Método de consolidación de la muestra

ASENTAMIENTO		MÉTODO DE CONSOLIDACIÓN
mm	pg.	
> 75	> 3	Apisonado
25 – 75	1 – 3	Apisonado o vibrado
< 25	< 3	Vibrado

7.1.2 Apisonado – Se coloca el concreto en el recipiente de medida, en 3 capas de volumen aproximadamente igual. Se apisona cada capa por medio de 25 golpes de la varilla mencionada en el numeral 3.9, distribuidos uniformemente sobre la sección transversal. La primera capa se apisona de manera que cada golpe atraviese todo su espesor, pero con el cuidado suficiente para no causar daño al fondo del recipiente. Para las capas media y superior, los golpes deben penetrar aproximadamente 25 mm (1") dentro de la capa previamente consolidada. Después de apisonar cada capa, se golpean suavemente los lados del recipiente 10 a 15 veces con el martillo apropiado, con el fin de cerrar los orificios dejados por la varilla y de 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 (numeral 7.1.4).

7.1.3 Vibración – 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. Cada capa se consolida con tres inserciones del vibrador, uniformemente distribuidas sobre la sección transversal. Se debe evitar un sobrellenado excesivo al colocar la última capa. Al consolidar cada capa, el vibrador no debe tocar el fondo ni las paredes del recipiente y se debe retirar cuidadosamente para no dejar bolsas de aire en la muestra. Se debe conservar el mismo tiempo de vibración para los mismos tipos de concreto, vibrador y recipiente utilizados. El tiempo de vibración depende de la trabajabilidad del concreto y de la efectividad del vibrador. Nunca se debe prologar la vibración tanto como para causar escape de espuma de la muestra.

Nota 5: El exceso de vibración puede causar segregación y pérdida del aire intencionalmente incluido en el concreto. Generalmente, se considera que la vibración es suficiente cuando la superficie resultante presenta un aspecto liso y brillante.

7.1.4 Enrasado – Terminada la consolidación, se debe enrasar la superficie del concreto, haciendo pasar la barra (numeral 3.11) a través del borde del recipiente con movimientos de zigzag, hasta que la superficie del concreto quede perfectamente lisa y a nivel. Al completarse la consolidación, el recipiente de medida no podrá presentar ni exceso ni deficiencia de concreto. Lo ideal es rebajar una altura de 3 mm (1/8") durante el enrase. Si se usa la placa enrasadora (numeral 3.12), se deberá aplicar el procedimiento descrito en la norma INV E-405.

Nota 6: Se puede añadir una pequeña cantidad de concreto para 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.

Nota 7: El uso de la placa enrasadora sobre un medidor de aire de aluminio colado u otro metal relativamente blando puede causar un desgaste muy rápido de los bordes de éste, exigiendo un mantenimiento y una calibración frecuentes y, en últimas, su reposición.

7.1.5 *Aplicación del método de ensayo* – Cualquier parte del ensayo que no se mencione como específicamente asignada al método A o al método B, será aplicable a ambos métodos.

7.2 *Procedimiento – Medidor Tipo A:*

7.2.1 *Preparación para el ensayo* – Se limpian los bordes o pestañas del recipiente y de la cubierta, con el fin de que al colocar la cubierta el cierre sea totalmente hermético. Se ensambla el aparato (Figura 406 - 3) y se agrega agua sobre el concreto por medio del tubo (Figura 406 - 4), hasta que alcance aproximadamente la mitad de la escala. Se inclina el aparato ensamblado unos 30° usando el fondo del recipiente como pivote; se describen varios círculos completos con el extremo superior de la columna y simultáneamente se golpea suavemente la cubierta para eliminar las burbujas de aire atrapadas sobre la muestra de concreto. Se coloca nuevamente el aparato en posición vertical y se llena de agua un poco por encima de la marca cero, mientras se golpean suavemente los lados del recipiente. Se lleva el nivel de agua a la marca cero del tubo graduado, antes de cerrar la abertura de la parte superior de la columna de agua.

Nota 8: Algunos medidores del tipo A tienen una marca de calibración de llenado inicial por encima de la marca cero. Generalmente, esta marca no se debe usar puesto que, como se indica en el numeral 7.2.3, el contenido aparente de aire es la diferencia entre la lectura del nivel de agua, h_2 , a la presión P , y el nivel de agua h_2 a la presión cero luego de que se libera la presión P .



Figura 406 - 3. Ensamblando el medidor tipo A



Figura 406 - 4. Adición de agua

- 7.2.2** La superficie interior de la cubierta se debe conservar limpia y libre de aceites o grasas; y se debe humedecer para prevenir la adhesión de burbujas de aire que son difíciles de retirar después de ensamblar el aparato.
- 7.2.3** *Procedimiento de ensayo* – Empleando la pequeña bomba manual, se aplica una presión mayor a la deseada de ensayo, P , (aproximadamente en 1.4 kPa [0.2 lbf/pg²] o más) (Figura 406 - 5). Se golpean secamente las paredes del recipiente para liberar restricciones locales, y cuando el manómetro indique exactamente la presión del ensayo P , como se indica en el numeral A.7 del Anexo A, se lee el nivel de agua, h_1 , y se registra a la división o media división más cercana en el tubo graduado (Ver Figura 406 - 1B). En el caso de muestras extremadamente ásperas puede ser necesario golpear vigorosamente el recipiente hasta que no se produzca ningún cambio en el contenido de aire indicado. Se elimina gradualmente la presión de aire a través de la abertura superior de la columna de agua y se golpean suavemente los lados del recipiente durante 1 minuto, aproximadamente. Se lee y se registra el nivel de agua, h_2 , a la división o media división más cercana (Ver Figura 406 - 1C) y se calcula el contenido aparente de aire (A_1), con la expresión:

$$A_1 = h_1 - h_2 \quad [406.3]$$

Donde: h_1 : Lectura del nivel de agua a la presión P (nota 9);

h_2 : Lectura del nivel de agua a presión cero, después de liberar la presión P .

7.2.4 *Ensayo de verificación* – Se repite el procedimiento descrito en el numeral 7.2.3 sin añadir agua para restablecer el nivel del agua a la marca cero. Las dos determinaciones consecutivas del contenido aparente de aire no deben variar en más de 0.2 %, y se tomará su promedio como valor A_1 para el cálculo del contenido de aire, A_s , de acuerdo con la Sección 8.

7.2.5 En caso de que el contenido de aire exceda el rango de la escala cuando se opera a la presión normal de ensayo P , se reduce la presión de ensayo a un valor inferior P_1 y se repiten los pasos indicados en los numerales 7.2.2 y 7.2.3.

Nota 9: Se debe consultar el numeral A.7 del Anexo A para conocer los procedimientos exactos de calibración. Se puede calcular un valor aproximado de la presión alternativa P_1 tal, que el contenido aparente de aire sea igual al doble de la lectura de la escala, empleando la siguiente ecuación:

$$P_1 = \frac{P_a \times P}{2P_a + P} \quad [406.4]$$

Donde: P_1 : Presión de ensayo alternativa, kPa (lbf/pg²);

P_a : Presión atmosférica, kPa (lbf/pg²) (aproximadamente 100 kPa [14.7 lbf/pg²], pero varía con la altura sobre el nivel del mar y las condiciones ambientales);

P : Presión normal de ensayo o del manómetro operando kPa (lbf/pg²).



Figura 406 - 5. Aplicación de la presión

7.3 Procedimiento – Medidor Tipo B:

- 7.3.1 Preparación para el ensayo** – Se limpian los bordes o pestañas del recipiente y de la cubierta, con el fin de que al colocar la cubierta el cierre sea totalmente hermético. Se ensambla el aparato (Figura 406 - 6). Se cierra la válvula principal de aire dispuesta entre la cámara de aire y el recipiente de medida y se abren las dos llaves de la tapa. Empleando una pera de caucho, se inyecta agua a través de una de las llaves hasta que el agua emerja por la otra (Figura 406 - 7). Se golpea suavemente la tapa del recipiente hasta que todo el aire sea expelido a través de esta misma llave.



Figura 406 - 6. Ensamblando el medidor tipo B



Figura 406 - 7. Inyección de agua

- 7.3.2 Procedimiento de ensayo** – Se cierra la válvula de purga de aire de la cámara de aire y se bombea aire en la cámara hasta que la aguja del manómetro coincida con la línea de presión inicial (Figura 406 - 8). Se dejan transcurrir unos segundos para que el aire comprimido se enfríe a la temperatura normal. Se estabiliza la aguja del manómetro en la

línea de presión inicial bombeando o dejando escapar aire según sea necesario, y golpeándolo suavemente con la mano. Se cierran ambas llaves de paso de la cubierta. Se abre la válvula principal de aire que comunica la cámara de presión con el recipiente de medida. Se golpean secamente los lados del recipiente con el martillo para liberar restricciones locales. A continuación, se golpea suavemente con la mano el manómetro para estabilizar la aguja y se lee el porcentaje de aire en el dial. Se libera la válvula principal de aire. Si se produce alguna falla al cerrar la válvula principal antes de liberar la presión del recipiente o de la cámara de aire, ello hará que el agua entre en la cámara de aire generando un error en las medidas subsecuentes. En caso de que entre agua en la cámara de aire, se debe expulsar a través de la válvula de purga de aire dando, a continuación, algunos golpes a la bomba para vaciar los últimos vestigios de agua. Antes de remover la cubierta, se abren las dos llaves (Figura 406 - 2) para liberar la presión.



Figura 406 - 8. Bombeo de aire en la cámara del medidor tipo B

8 CÁLCULOS

- 8.1** *Contenido de aire de la muestra ensayada* – El contenido de aire del concreto contenido en el recipiente de medida se calcula con la ecuación:

$$A_s = A_1 - G \quad [406.5]$$

Donde: A_s : Contenido de aire de la muestra de concreto ensayada, %;

A₁: Contenido aparente de aire de la muestra de concreto ensayada, % (Ver numerales 7.2.3 y 7.3.2);

G: Factor de corrección del agregado, % (Sección 5).

8.2 *Contenido de aire de la mezcla completa* – Cuando la muestra ensayada represente una porción que se obtuvo mediante tamizado húmedo removiendo las partículas mayores de 37.5 mm (1½"), el contenido de aire de la mezcla completa se calcula con la ecuación:

$$A_t = \frac{100 A_s V_c}{(100 V_t - A_s V_a)} \quad [406.6]$$

Donde: A_t: Contenido de aire de la mezcla completa, %;

V_c: Volumen absoluto de los componentes de la mezcla que pasan por el tamiz de 37.5 mm (1½"), libre de aire, tal como se determinan a partir de los pesos originales de mezcla, m³ (pies³);

V_t: Volumen absoluto de todos los componentes de la mezcla, libre de aire, m³ (pies³);

V_a: Volumen absoluto de los agregados en la mezcla, mayores de 37.5 mm (1½"), determinado a partir de los pesos originales de la amasada, m³ (pies³).

8.3 *Contenido de aire de la fracción de mortero* – Se calcula con la siguiente ecuación:

$$A_m = \frac{100 A_s V_c}{(100 V_m + A_s [V_c - V_m])} \quad [406.7]$$

Donde: A_m: Contenido de aire de la fracción de mortero, %;

V_m: Volumen absoluto de los componentes de la fracción de mortero de la mezcla, libre de aire, m³ (pies³)-

Nota 10: Los valores que intervienen en las ecuaciones de los numerales 8.2 y 8.3 se pueden obtener de los datos de la mezcla de concreto, tabulados como sigue, para una amasada de cualquier tamaño:

		Volumen absoluto m ³ (pies ³)
Cemento	_____	
Agua	_____	
Agregado fino	_____	} V _m } V _c
Agregado grueso (4.5 a 37.5 mm (No.4 a 1½"))	_____	
Agregado grueso (37.5 mm (1½"))	_____	V _a
Total	_____	V _t

9 INFORME

9.1 Se debe presentar la siguiente información:

- 9.1.1** Contenido de aire de la muestra de concreto, ajustado a 0.1 %, luego de sustraer el factor de corrección del agregado, a menos que la lectura del dial del medidor sea mayor de 8 %, caso en el cual se debe reportar la lectura corregida con aproximación a la media división de la escala del dial.
- 9.1.2** Fecha y hora del ensayo.
- 9.1.3** Cuando se solicite, y cuando se pueda determinar el volumen absoluto de los ingredientes de la fracción de mortero, se informa el contenido de aire de esta fracción, ajustado a 0.25 %.

10 PRECISIÓN Y SESGO

10.1 *Precisión:*

- 10.1.1** *Precisión de un solo operador* – La desviación estándar de un solo operador no se puede establecer, debido a que los requisitos de la muestra para este ensayo no permiten que un solo operador pueda conducir simultáneamente más de un ensayo sobre una muestra.
- 10.1.2** *Precisión multilaboratorio* – La desviación estándar multilaboratorio no ha sido determinada.
- 10.1.3** *Precisión multioperador* – La desviación estándar entre varios operadores para una sola prueba ha sido determinada en 0.28 % de

aire por volumen de concreto para medidores del tipo A, siempre y cuando el contenido de aire no exceda de 7 %. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos conducidos adecuadamente por diferentes operadores sobre el mismo material, no deben diferir en más de 0.8 % de aire por volumen de concreto.

Nota 11: Estos valores representan, respectivamente los límites (1s) y (d2s). Los planteamientos de precisión se basan en las variaciones en las pruebas llevadas a cabo sobre tres concretos diferentes, ensayados cada uno por once operadores diferentes.

Nota 12: La precisión de este método utilizando el medidor tipo B no se ha determinado.

- 10.2 Sesgo** – Este método no tiene sesgo, debido a que el contenido de aire de una mezcla de concreto fresco sólo se puede definir en términos de los métodos de ensayo.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C231/C231M – 10

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

CALIBRACIÓN DE APARATOS

- A.1** Los ensayos de calibración se deben realizar de acuerdo con los procedimientos que se describen a continuación, según sean aplicables al tipo de medidor que se vaya a emplear.
- A.2** *Calibración del vaso de calibración* – Se determina con exactitud la masa de agua, w , requerida para llenar el vaso de calibración, usando una balanza que permita determinar con exactitud de 0.1 % la masa del vaso lleno de agua. Esta operación se debe realizar para los medidores tipo A y tipo B.
- A.3** *Calibración del recipiente de medida* – Se determina la masa del agua, W , requerida para llenar el recipiente de medida, usando una balanza que permita determinar con exactitud de 0.1 % la masa del recipiente lleno de agua. Se desliza una placa de vidrio sobre la pestaña del recipiente, de manera que garantice que aquel quede completamente lleno de agua. Una capa delgada de grasa aplicada sobre la pestaña del recipiente hará hermética la

junta entre la placa de vidrio y la parte superior del recipiente. Esta operación se debe efectuar para los medidores tipo A y tipo B.

A.4 *Volumen efectivo del vaso de calibración, R* – La constante R representa el volumen efectivo del vaso de calibración, expresado como porcentaje del volumen del recipiente de medida.

A.4.1 Para el medidor tipo A, R se calcula con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{0.98 w}{W} \quad [406.8]$$

Donde: w: Masa del agua requerida para llenar el vaso de calibración;

W: Masa del agua requerida para llenar el recipiente de medida.

Nota A.1: El factor 0.98 se usa para tener en cuenta la reducción del volumen de aire en el vaso de calibración cuando se somete a una presión equivalente una columna de agua de altura igual a la profundidad del recipiente de medida. Este factor es aproximadamente de 0.98 para 200 mm (8") de profundidad del recipiente de medida, a nivel del mar. Su valor es 0.975 a 1500 m (5000 pies) por encima del nivel del mar y 0.970 a 4000 m (13 000 pies). Esta constante disminuye aproximadamente en 0.01 por cada 100 mm (4") que se aumente la profundidad del recipiente de medida. La profundidad del recipiente y la presión atmosférica no afectan el volumen efectivo del vaso de calibración para el medidor tipo B.

A.4.2 Para el medidor tipo B, R se calcula con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{w}{W} \quad [406.9]$$

A.5 *Determinación o comprobación de la tolerancia para el factor de expansión D.*

A.5.1 Para medidores del tipo A, el factor de expansión D (nota A.2) se determina llenando el aparato solo con agua, teniendo cuidado de que se haya eliminado el aire atrapado, que el nivel del agua esté exactamente en la marca cero (nota A.3) y aplicando una presión igual a la de operación P, determinada por la calibración descrita en el numeral A.7. La cantidad que desciende la columna de agua es el factor de expansión equivalente D, para este aparato y esta presión (nota A.4).

Nota A.2: A pesar que el ensamble del recipiente es muy fuerte y hermético, la aplicación de la presión interna produce un pequeño aumento de volumen. Esta expansión no afecta los resultados de los ensayos debido a que, con el procedimiento descrito en las Secciones 5 y 7, la cantidad de expansión es la misma para el ensayo del aire en el concreto que para el ensayo del factor de corrección del agregado, anulándose automáticamente. Sin embargo, se incluye en el ensayo de calibración, para determinar la presión de aire a ser usada al ensayar el concreto fresco.

Nota A.3: La columna de agua en algunos medidores del tipo A está marcada con un nivel inicial de agua y una marca cero; la diferencia entre las dos marcas corresponde a la tolerancia para el factor de expansión. Esta tolerancia se debe comprobar de la misma manera usada para medidores sin marcar y, en tal caso, el factor de expansión se debe omitir en el cálculo de las lecturas de calibración, descrito en el numeral A.7.

Nota A.4: Es suficientemente exacto, para este propósito, usar un valor aproximado para P, determinado por medio de un ensayo preliminar de calibración como se describe en el numeral A.7, excepto que se debe usar un valor aproximado del factor de calibración K. Para este ensayo, es $K = 0.98 R$, que es el mismo de la ecuación descrita en A.4.1, salvo que la lectura de expansión D, como aun es desconocida, se asume igual a cero.

A.5.2 Para los medidores del tipo B, la tolerancia para el factor de expansión D está incluida en la diferencia entre la presión inicial indicada en el manómetro y la marca de cero por ciento en la escala de contenido de aire del medidor de presión. Esta tolerancia se puede comprobar llenando el aparato con agua (el aire atrapado se debe eliminar), bombeando aire en la cámara hasta que la medida se estabilice en la línea de presión inicial y dejando pasar luego el aire al recipiente de medida (nota A.5). Si la línea de presión inicial está en posición correcta, el manómetro deberá indicar 0 %. La línea de presión inicial se deberá ajustar si dos o más determinaciones muestran la misma variación con respecto al 0 % y el ensayo se debe repetir para comprobar la línea inicial de presión ajustada.

Nota A.5: Este procedimiento se puede llevar a cabo junto con el ensayo de calibración descrito en el numeral A.9.

A.6 *Lectura de la calibración, K* – La lectura K de calibración es la lectura final que se obtiene cuando el medidor opera a la presión correcta de calibración.

A.6.1 Para medidores del tipo A, la lectura de calibración K es la siguiente:

$$K = R + D$$

[406.10]

Donde: R: Volumen efectivo del vaso de calibración (numeral A.4.1);

D: Factor de expansión (numeral A.5.1, nota A.6).

A.6.2 Para los medidores del tipo B, la lectura de calibración K es igual al volumen efectivo del vaso de calibración (numeral A.4.2), como sigue:

$$K = R$$

[406.11]

Nota A.6: Si el indicador de la columna de agua está graduado de manera que incluya un nivel de agua inicial y una marca cero, la diferencia entre las dos marcas equivale al factor de expansión y el término D se excluye de la ecuación descrita en el numeral A.6.1.

A.7 Ensayo de calibración para determinar la presión de operación P en el medidor tipo A:

A.7.1 Si el borde del cilindro de calibración no tiene salientes, se colocan 3 o más espaciadores alrededor de su circunferencia, a separaciones iguales.

A.7.2 Se invierte el cilindro y se coloca en el centro del fondo seco del recipiente de medida. Los espaciadores permitirán la entrada del agua al cilindro de calibración cuando se aplica presión. Se asegura que el cilindro invertido permanezca sin desplazarse y se coloca cuidadosamente la tapa (cubierta). Después de que la tapa se ha ajustado en su lugar, se coloca cuidadosamente el montaje del aparato en posición vertical y se añade agua a temperatura ambiente por medio del tubo y del embudo hasta que ascienda por encima de la marca cero del tubo vertical.

A.7.3 Se cierra la válvula y se bombea aire dentro del aparato hasta que alcance la presión de operación. Se inclina el conjunto 30° con relación a la vertical y, usando el fondo del recipiente como pivote, se describen varios círculos completos con el borde superior del tubo vertical; simultáneamente, se golpean la cubierta y los lados del recipiente para remover el aire que se haya adherido a las superficies internas del aparato. Se coloca de nuevo el aparato en posición vertical. Se libera gradualmente la presión (para evitar pérdida de aire en el vaso de calibración) y se abre la válvula de salida de aire. Se lleva el nivel de agua a la marca cero, dejando salir el agua a través de la llave colocada en la parte superior de la cubierta cónica. Se cierra la llave y se aplica presión hasta que el nivel del agua haya bajado una cantidad equivalente a, aproximadamente, 0.1 a 0.2 % de aire por encima del valor de la lectura de calibración K, determinada como se describe en

el numeral A.6. Se golpean suavemente los lados del recipiente para liberar las restricciones localizadas, y cuando el nivel del agua se encuentre exactamente en el valor de la lectura de calibración K, se lee la presión P indicada en el manómetro y se anota con aproximación de 700 Pa (0.1 lbf/pg²).

- A.7.4** Se libera gradualmente la presión y se abre la válvula de salida del aire para determinar si el nivel del agua vuelve a cero cuando se golpean los lados del recipiente; si esto no ocurre, quiere decir que hay pérdida de aire en el vaso de calibración o pérdida de agua debido a algún escape en el montaje del aparato. Si no se logra que el nivel de agua retorne dentro del 0.05 % de la marca cero y no se encuentra que haya un escape de agua, probablemente se perdió un poco de aire en el cilindro de calibración. En este caso, se repite todo el procedimiento desde el comienzo.
- A.7.5** Si el escape es mayor que unas pocas gotas de agua, se aprieta la junta antes de repetir el proceso de calibración. Se comprueba el valor de la presión, haciendo que el nivel de agua se encuentre exactamente en la marca cero, se cierra la válvula de salida y se aplica la presión P recién determinada. Se golpea ligeramente el manómetro con el dedo. Cuando indique la presión exacta P, la columna de agua debe marcar el valor del factor de calibración K utilizado en la primera aplicación de presión, con una aproximación de 0.05 % de aire.
- A.7.6** El aparato no se debe mover de su posición vertical hasta que se le haya aplicado presión, la cual forzará el agua aproximadamente hasta 1/3 de su recorrido dentro del cilindro de calibración. La calibración no es válida si se produce cualquier escape de aire del cilindro.
- A.8** *Ensayo alterno de calibración para determinar la presión de operación P_1 , medidor tipo A* – El intervalo de contenidos de aire posibles de medir mediante el aparato se puede duplicar mediante la determinación de una presión de operación alterna P_1 , de forma que las lecturas del medidor sean la mitad de las lecturas de calibración K (ecuación 406.10). Una calibración exacta requiere la determinación del factor de expansión a la presión reducida (numeral A.5). En la mayoría de los casos, se puede despreciar el cambio en el factor de expansión y la presión alterna de operación se puede determinar durante el proceso explicado en el numeral A.7.
- A.9** *Ensayo de calibración para comprobar las graduaciones del contenido de aire en el manómetro, medidor tipo B:*

A.9.1 Se llena el recipiente de medida con agua como se describe en el numeral A.3. Se atornilla el tubo de extensión suministrado con el aparato en la válvula de paso de purga roscada en la parte inferior de la cubierta. Se ensambla el aparato. Se cierra la válvula principal de aire entre la cámara de aire y el recipiente de medida, y se abren las dos llaves de paso que están en las perforaciones que atraviesan la cubierta. Se vierte agua a través de la llave que tiene la extensión bajo la cubierta, hasta que todo el aire haya sido expulsado a través de la otra llave. Se bombea aire dentro de la cámara hasta que la presión alcance la línea de presión inicial indicada. Se espera algunos segundos para que el aire comprimido adquiera la temperatura ambiente. Se ajusta nuevamente la aguja del manómetro en la línea de presión inicial bombeando o purgando aire, según se requiera, y golpeando suavemente el manómetro con la mano. Se cierra la llave no provista tubo de extensión en la parte inferior de la cubierta. Se transfiere el agua del aparato ensamblado al vaso de calibración controlando el flujo, dependiendo del diseño particular del medidor, abriendo la llave dotada de un tubo de extensión y la válvula principal de aire entre la cámara de aire y el recipiente de medida, o abriendo la válvula principal de aire y usando la llave para controlar el flujo. La calibración se realiza con un contenido de aire dentro del rango normal de uso. Si el recipiente de calibración (numeral A.2) tiene una capacidad dentro del rango normal de uso, se remueve la cantidad exacta de agua. El vaso de calibración de algunos medidores es muy pequeño, siendo necesario remover varias veces ese volumen para obtener un contenido de aire dentro del rango normal de uso. En este caso, el agua se debe recolectar cuidadosamente en un recipiente auxiliar, determinando la cantidad removida mediante pesado con una exactitud del 0.1 %. Se calcula el contenido de aire correcto R, por medio de la ecuación 406.9. Se deja salir el aire del aparato a través de la llave no usada para llenar el recipiente de calibración y, si el aparato emplea un tubo auxiliar para el llenado del recipiente de calibración, se abre la llave a la cual está conectado el tubo, para drenarlo dentro del recipiente de medida (Ver numeral A.7.1). En este punto del proceso, el recipiente de medida contiene el porcentaje de aire determinado mediante el ensayo de calibración del vaso de calibración.

A.9.2 Se bombea aire dentro de la cámara hasta que la presión alcance la línea de presión inicial marcada en el manómetro. Se cierran ambas llaves de paso y luego se abre la válvula principal de aire entre la cámara de aire y el recipiente de medida. El contenido de aire indicado por la aguja del manómetro de presión debe corresponder al

porcentaje de aire que debe encontrarse en el recipiente de medición. Si dos o más determinaciones muestran la misma diferencia con respecto al valor correcto del contenido de aire, la aguja se debe ajustar al contenido de aire correcto y se repite el ensayo hasta que la lectura del manómetro corresponda al contenido de aire calibrado dentro de $\pm 0.1 \%$. Si la aguja del manómetro fue reajustada para obtener el contenido de aire correcto, se vuelve a verificar la marca de presión inicial, como en el numeral A.5.2. Si se requiere una nueva lectura inicial de presión, se repite la calibración para verificar la exactitud de la graduación del medidor de presión, descrita anteriormente. Si se encuentran dificultades para obtener lecturas consistentes, se verifican posibles escapes, la presencia de agua dentro de la cámara de aire (ver Figura 406 - 2) o burbujas de aire adheridas a las superficies interiores del medidor debido al empleo de agua fría aireada. En este último caso, se deberá usar agua desaireada, la cual se puede obtener enfriando agua caliente hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Nota A.7: Si el vaso de calibración forma parte integral de la cubierta, la llave que se usa para llenarlo debe ser cerrada inmediatamente luego de llenarlo y no se debe abrir hasta que el ensayo haya concluido.