

SECCIÓN 400 – CONCRETO HIDRÁULICO

I.N.V. E – 401	TOMA DE MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO
I.N.V. E – 402	ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN EL LABORATORIO PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN
I.N.V. E – 403	REFRENTADO DE CILINDROS DE CONCRETO
I.N.V. E – 404	ASENTAMIENTO DEL CONCRETO DE CEMENTO HIDRÁULICO (SLUMP)
I.N.V. E – 405	DENSIDAD (PESO UNITARIO), RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (GRAVIMÉTRICO) DEL CONCRETO
I.N.V. E – 406	CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO FRESCO POR EL MÉTODO DE PRESIÓN
I.N.V. E – 407	EXUDACIÓN DEL CONCRETO
I.N.V. E – 408	USO DE TAPAS NO ADHERIDAS EN LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO ENDURECIDO
I.N.V. E – 409	CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO FRESCO POR EL MÉTODO VOLUMÉTRICO
I.N.V. E – 410	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
I.N.V. E – 411	ENSAYO DE TRACCIÓN POR HENDIMIENTO (TRACCIÓN INDIRECTA) DE CILINDROS DE CONCRETO
I.N.V. E – 412	FABRICACIÓN, CURADO ACELERADO Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO
I.N.V. E – 413	MÉTODO PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE REBOTE (ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO) EN EL CONCRETO ENDURECIDO
I.N.V. E – 414	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLEMENTE APOYADA Y CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ LIBRE

I.N.V. E – 415	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLE APOYADA Y CARGADA EN EL PUNTO CENTRAL
I.N.V. E – 416	FLUJO PLÁSTICO DEL CONCRETO EN COMPRESIÓN
I.N.V. E – 417	CALIDAD DEL AGUA PARA CONCRETOS
I.N.V. E – 418	OBTENCIÓN Y ENSAYO DE NÚCLEOS DE CONCRETO ENDURECIDO
I.N.V. E – 419	MEDIDA DEL ESPESOR DE ELEMENTOS DE CONCRETO EMPLEANDO NÚCLEOS
I.N.V. E – 420	ELABORACIÓN Y CURADO EN OBRA DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PARA ENSAYO
I.N.V. E – 421	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO FUNDIDOS IN-SITU
I.N.V. E – 422	MEDIDA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A EDAD TEMPRANA Y PROYECCIÓN A UNA EDAD POSTERIOR
I.N.V. E – 423	MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DEL CONCRETO HIDRÁULICO RECIÉN MEZCLADO
I.N.V. E – 424	MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO EN COMPRESIÓN
I.N.V. E – 425	RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA ABRASIÓN MEDIANTE CHORRO DE ARENA (<i>SANDBLASTING</i>)
I.N.V. E – 426	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO
I.N.V. E – 427	ABSORCIÓN DE AGUA POR LOS ADOQUINES DE CONCRETO

TOMA DE MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO

INV E – 401 – 13

1 OBJETO

- 1.1** La presente norma describe los procedimientos recomendados para obtener muestras representativas de concreto fresco, tal como es producido para ser utilizado en el sitio de las obras (se refiere tanto al concreto fabricado en centrales de mezclas como al concreto producido en el sitio de las obras), sobre las cuales se efectuarán ensayos para verificar el cumplimiento de los requisitos de calidad incluidos en las especificaciones bajo las cuales se suministra el concreto. La norma incluye procedimientos para tomar muestras en mezcladoras estacionarias, en mezcladoras de pavimentación y camiones mezcladores (mixers), y en equipos con o sin agitación usados para transportar el concreto mezclado en una planta de producción.

Nota 1: Los procedimientos descritos en esta norma son para la toma muestras compuestas o acumulativas, a menos que el ensayo particular para el cual se requiere la muestra especifique la toma de muestras individuales, como en el caso de ensayos para verificación de la uniformidad de la mezcla o de la eficiencia de la mezcladora. No se describen procedimientos para escoger las amasadas particulares de las cuales se debe extraer la muestra, sino que se recomienda un muestreo aleatorio representativo para verificar el cumplimiento de las especificaciones.

- 1.2** Esta norma incluye, también, los procedimientos necesarios para preparar una muestra de concreto que se usará en ensayos posteriores, donde es deseable o necesario eliminar las partículas de agregado mayores a un determinado tamaño. Esta remoción se hace, preferiblemente, por tamizado en húmedo.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E-401-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Esta norma provee los requisitos y procedimientos normalizados, necesarios para efectuar el muestreo de mezclas de concreto de diferentes recipientes usados tanto en la producción como en el transporte y extendido de ellas. Los requisitos que deben cumplir los materiales y la mezcla, así como los parámetros de contenido de aire, temperatura, número de especímenes, asentamiento de la mezcla y la interpretación, precisión y sesgo de los resultados, se indican en las normas referentes a los ensayos respectivos.

3 TOMA DE MUESTRAS

- 3.1** El tiempo total transcurrido entre la obtención de la primera y la última porción de una muestra compuesta deberá ser tan corto como sea posible y, en ningún caso, podrá exceder de 15 minutos.
- 3.1.1** Las muestras individuales se deben transportar hasta el lugar donde se ejecutan los ensayos sobre el concreto fresco o se elaboran los especímenes para ensayos posteriores. Efectuado el transporte, las muestras individuales se deben combinar y mezclar con una pala en la cantidad mínima necesaria para asegurar su uniformidad y el cumplimiento con los límites máximos de tiempo indicados en el numeral 3.1.2.
- 3.1.2** Los ensayos de asentamiento, temperatura y contenido de aire se deben iniciar dentro de los 5 minutos siguientes a la obtención de la porción final de la mezcla compuesta. Dichos ensayos se deben terminar tan pronto como sea posible. El moldeo de especímenes para ensayos de resistencia se debe iniciar dentro de los 15 minutos siguientes a la elaboración de la muestra compuesta. El tiempo transcurrido entre la obtención y la utilización de la muestra compuesta debe ser tan corto como sea posible, y ésta se debe proteger de la acción de elementos contaminantes y de agentes de evaporación rápida, tales como el sol, el viento, etc.

4 PROCEDIMIENTO

- 4.1** *Tamaño de las muestras* – Las muestras para ensayos de resistencia deberán tener un volumen mínimo de 28 litros (1 pie³). Se permiten tamaños de muestra más pequeños para ensayos rutinarios de contenido de aire, temperatura y asentamiento, dependiendo del tamaño máximo del agregado.
- 4.2** Los procedimientos usados en la toma de muestras deben incluir toda precaución que permita la obtención de muestras realmente representativas de la naturaleza y las condiciones del concreto muestreado, como se describe a continuación:

Nota 2: La toma de muestras se debe efectuar, normalmente, a medida que el concreto es vaciado de la mezcladora al vehículo que lo transporta. Sin embargo, según el caso, se puede requerir que se tomen las muestras en otros puntos como, por ejemplo, en el punto de descarga de una bomba de concreto.

- 4.2.1** *Toma de muestras de mezcladoras estacionarias, con excepción de mezcladoras de pavimentación* – El concreto se muestrea colectando dos o más porciones tomadas a intervalos regularmente espaciados,

dentro del término indicado en la Sección 3, durante la descarga de la porción media de la amasada de concreto. Las muestras individuales se combinan en una compuesta para los fines de los ensayos. Para la elaboración de la muestra compuesta, no se deberán obtener porciones de las partes inicial y final de la descarga de la amasada (nota 3). Las porciones se deben tomar pasando un recipiente capaz de abarcar todo el chorro de descarga del concreto o desviando el chorro hacia un recipiente para la muestra. Si la descarga del concreto fuese demasiado rápida para desviar todo el chorro de descarga, el concreto se deberá descargar en un recipiente o unidad de transporte de tamaño suficiente para acomodar la totalidad de la amasada y, entonces, efectuar el muestreo como se indicó anteriormente. Se debe tener especial cuidado para no restringir la salida del concreto de la mezcladora, recipiente o unidad de transporte, pues tal restricción puede causar segregación. Estos requisitos se aplicarán tanto a mezcladoras basculantes como no basculantes.

Nota 3: No se deben tomar muestras antes de que el 10 % o después de que el 90 % de la amasada haya sido descargado. Debido a la dificultad de determinar la cantidad real de concreto descargado, lo que se intenta es obtener muestras que sean representativas de porciones muy separadas, pero que no se encuentren ni al inicio ni al final de la carga.

- 4.2.2** *Toma de muestras de mezcladoras para pavimentación* – El concreto se muestrea luego de que el contenido de la mezcladora para pavimentación ha sido descargado. Se toman muestras de la pila formada por la descarga de la mezcladora, por lo menos de 5 sitios distintos de ella, las cuales se combinan para formar una muestra compuesta con fines de ensayo. Se debe evitar la contaminación con el material sobre el cual se coloque el concreto o el contacto prolongado con un material absorbente; para ello, el muestreo se debe realizar colocando recipientes de poca profundidad sobre tales materiales antes de efectuar la descarga. Los recipientes deberán tener un tamaño suficiente para proporcionar una muestra compuesta que esté de acuerdo con el tamaño máximo del agregado pétreo.

Nota 4: En algunos casos, los recipientes pueden requerir algún tipo de soporte, con el fin de evitar su desplazamiento durante la descarga del concreto.

- 4.2.3** *Toma de muestras de camiones mezcladores (mixers) o camiones agitadores* – El muestreo se realiza tomando dos o más porciones a intervalos de tiempo regularmente espaciados dentro del plazo indicado en la Sección 3, durante la descarga de la porción media de la amasada de concreto. Las porciones se deben combinar en una sola muestra compuesta con fines de ensayo. Las porciones se deben tomar después de haber adicionado y mezclado toda el agua en el camión

mezclador y, en ningún caso, se tomarán de las porciones inicial y final de la bachada. Las porciones se toman haciendo pasar repetidamente un recipiente a través de todo el chorro de descarga del concreto o desviando completamente el chorro hacia un recipiente (Figura 401 - 1). La velocidad de descarga de la amasada se deberá regular mediante la velocidad de giro del tambor y nunca por la abertura de la compuerta.

- 4.2.4** *Toma de muestras de camiones mezcladores abiertos, agitadores, equipos sin agitador u otros tipos de recipientes abiertos* – Según las condiciones existentes, las muestras se tomarán por el procedimiento que más se ajuste de los descritos en los numerales 4.2.1, 4.2.3 y 4.2.3.



Figura 401 - 1. Toma de muestra de un camión mezclador

5 PROCEDIMIENTO ADICIONAL PARA CONCRETOS ELABORADOS CON AGREGADOS CON SOBRETAMAÑOS

- 5.1** Cuando el concreto contenga agregado de tamaño máximo mayor que el máximo apropiado para los moldes o el equipo que van a ser utilizados, la muestra se deberá tamizar en húmedo en la forma que se describe adelante, excepto para la determinación de la densidad (peso unitario), puesto que este ensayo se deberá realizar a partir de la mezcla completa.

Nota 5: Se deben considerar los efectos producidos por el tamizado húmedo sobre los resultados de los ensayos. Por ejemplo, el tamizado húmedo causa la pérdida de una pequeña cantidad de aire debido al manipuleo adicional. El contenido de aire de la fracción de concreto que se tamiza en húmedo, es mayor que el del total de éste, porque los sobretamaños removidos no contienen aire. La resistencia aparente del concreto que se tamiza en pequeñas muestras es, usualmente, mayor que la del total de éste en muestras de tamaño apropiado. El efecto de estas diferencias puede requerir consideración o ser determinado mediante ensayos adicionales con propósitos de control de calidad o para la evaluación de los resultados.

5.2 Definición:

5.2.1 Tamizado húmedo del concreto – Proceso de remover del concreto fresco aquel agregado de tamaño superior al establecido, haciendo pasar la mezcla por un tamiz del tamaño establecido.

5.3 Equipo:

5.3.1 Tamices – De los tamaños de abertura requeridos.

5.3.2 Recipiente – De tamaño adecuado y cuya superficie no sea absorbente.

5.3.3 Equipo para tamizado húmedo – Comprende el tamiz del tamaño requerido y lo necesario para soportarlo y agitarlo rápidamente por medios manuales o mecánicos. Generalmente, se prefiere que la agitación se realice mediante un movimiento horizontal de vaivén. El equipo debe ser capaz de remover el agregado no deseable, de forma rápida y eficiente

5.3.4 Herramientas de mano – Palas, palustres, espátulas, guantes de caucho, según se requieran.

5.4 Procedimiento de tamizado húmedo – Después de tomar la muestra de concreto, se pasa ésta por el tamiz establecido y se remueve y se descarta el agregado retenido. Esto se debe hacer antes de remezclar. La agitación o vibración del tamiz se puede hacer manual o mecánicamente, hasta que ninguna partícula menor al tamaño designado se retenga en el tamiz. El mortero adherido al agregado retenido no se debe remover antes de que el agregado retenido se descarte. Cada tamizado se hará sobre una cantidad de concreto lo suficientemente reducida, para que la capa de agregado retenido no exceda el espesor de una partícula. El concreto que pasa el tamiz deberá caer sobre un recipiente de tamaño apropiado previamente humedecido, o sobre una superficie limpia, húmeda y no absorbente. Se raspan las paredes del equipo de tamizado, dejando caer el mortero adherido junto al concreto tamizado. Luego de remover los sobretamaños por tamizado húmedo, se remezcla la bachada tamizada, empleando una pala, lo mínimo que sea necesario para asegurar la uniformidad de la mezcla y proceder inmediatamente a la ejecución de los ensayos.

6 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C172/C172M – 10

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN EL LABORATORIO PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN

INV E – 402 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma tiene por objeto establecer procedimientos para la elaboración y el curado de especímenes de concreto en el laboratorio bajo un estricto control de los materiales y de las condiciones de ensayo, usando concreto que puede ser compactado por apisonado o vibración, como se describe en la presente norma.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-402-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Esta norma proporciona requisitos normalizados para la preparación de materiales y mezclas de concreto, y para la elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo bajo condiciones controladas.
- 2.2** Si la preparación de los especímenes se controla como lo indica esta norma, ellos se pueden emplear para desarrollar información útil con los siguientes propósitos:
- 2.2.1** Dosificación de mezclas de concreto.
 - 2.2.2** Evaluación de diferentes mezclas y materiales.
 - 2.2.3** Correlaciones con resultados de ensayos no destructivos.
 - 2.2.4** Elaboración de especímenes con fines de investigación.

Nota 1: Los resultados de los ensayos de concretos basados en los especímenes preparados de acuerdo con esta norma, tienen muchas aplicaciones. Ellos pueden servir de base para la aceptación de concretos destinados a la construcción, para evaluaciones de investigación y para otros estudios. Se debe tener cuidado y buen conocimiento para realizar las operaciones de manejo de los materiales, de elaboración de las mezclas, de moldeo de los especímenes y del curado de éstos.

3 EQUIPO

3.1 *Moldes (generalidades)* – Los moldes para los especímenes y las piezas de unión de ellos que vayan a estar en contacto con el concreto deben ser de acero, hierro forjado o de otro material no absorbente y que no reaccione con el concreto utilizado en los ensayos. Los moldes deben satisfacer las dimensiones y tolerancias especificadas en el método para el cual se van a usar y deben mantener dichas dimensiones bajo todas las condiciones de uso. Los moldes deben ser herméticos para que no se escape el agua contenida en la mezcla. Un sellante apropiado como arcilla para modelar, grasa pesada o cera microcristalina, puede ser utilizado para impedir filtraciones por las uniones. Los moldes deben tener los medios adecuados para fijarlos firmemente a sus placas de base. Los moldes reutilizables se deben cubrir ligeramente con aceite mineral o un material apropiado de desprendimiento no reactivo, antes de su uso.

3.2 *Moldes cilíndricos:*

3.2.1 *Moldes para fundir especímenes verticalmente* – Adicionalmente a lo indicado en el numeral 3.1, los moldes deberán tener una altura interna nominal igual al doble de su diámetro interno nominal. El diámetro real del molde, obtenido promediando dos medidas tomadas perpendicularmente en su parte superior, no deberá diferir del diámetro nominal en más de 1 %. La altura, obtenida al promediar dos medidas separadas 180°, no deberá diferir de la nominal en más de 2 %. El plano transversal del cilindro debe ser perpendicular al eje del cilindro, con una tolerancia de 0.5° equivalente, aproximadamente, a 3 mm en 300 mm (1/8" en 12"). La superficie interna inferior no se podrá apartar de un plano en más de 2 mm en 150 mm (1/13" en 6").

3.2.2 *Moldes horizontales para la fabricación de muestras para pruebas de flujo plástico (creep)* – El uso de moldes horizontales está proyectado solamente para especímenes de flujo plástico (*creep*) que contienen medidores de deformación embebidos axialmente. Los moldes para cilindros de flujo plástico (*creep*) que van a ser llenados mientras se sostienen en posición horizontal, deben tener un canal alimentador paralelo al eje del molde que se extienda a todo lo largo de éste para recibir el concreto. El ancho del canal debe ser igual a la mitad del diámetro del espécimen. Si es necesario, los bordes del canal se pueden ser reforzar para mantener la estabilidad dimensional. A menos que los especímenes vayan a ser refrentados para obtener extremos planos, los moldes deberán estar equipados con dos placas

maquinadas de metal para las bases. Estas placas deben ser de, por lo menos, 25 mm (1") de espesor y las superficies de trabajo deben cumplir con los requerimientos de planitud y regularidad superficial indicados en la norma INV E-403. Se deben tomar las medidas necesarias para fijar las placas firmemente al molde. La superficie interna de cada placa de base debe estar provista de, por lo menos, tres uñas o pernos de aproximadamente 25 mm (1") de largo, sujetos firmemente a la placa para empotrarse en el concreto. Se debe perforar una placa de base desde adentro en un ángulo que permita al alambre del medidor de deformación salir del espécimen a través del borde de la placa. Se deben tomar las medidas necesarias para colocar con exactitud el medidor de deformación. Todos los orificios necesarios deben ser lo más pequeños que sea posible, para minimizar alteraciones en las subsecuentes medidas de deformación y deben ser sellados para prevenir escapes.

Vigas y moldes prismáticos – Deben ser de forma rectangular (salvo que se especifique de otro modo) y de las dimensiones requeridas para producir especímenes del tamaño deseado. Las superficies interiores de los moldes deben ser lisas y libres de hendiduras. Los lados, el fondo y los extremos deben formar ángulos rectos entre sí y deben ser rectos y a plomo, y libres de combaduras. La tolerancia en las dimensiones nominales de la sección transversal será de ± 3 mm ($1/8$ ") para dimensiones mayores o iguales a 150 mm (6") y de ± 2 mm ($1/16$ ") para dimensiones menores. Excepto para los especímenes destinados a ensayos de flexión, la longitud nominal de los moldes debe tener una tolerancia de 2 mm ($1/16$ "). Los moldes para ensayos de flexión no deberán tener una longitud inferior en más de 2 mm ($1/16$ ") con respecto a la longitud especificada, pero puede ser mayor en más del valor mencionado.

3.3 *Varillas para compactación* – Deben ser de acero, cilíndricas y su extremo compactador debe ser hemisférico con radio igual al radio de la varilla. Según el diámetro y longitud, la varilla para compactación puede ser de dos tipos:

3.3.1 *Varilla larga* – De diámetro igual a 16 mm ($5/8$ "), y aproximadamente 600 mm (24") de longitud.

3.3.2 *Varilla corta* – De diámetro igual a 10 mm ($3/8$ ") y aproximadamente 300 mm (12") de longitud.

3.4 *Mazo* – Con cabeza de caucho o de cuero crudo y una masa de 0.6 ± 0.20 kg (1.25 ± 0.5 lb).

3.5 Vibradores:

3.5.1 Vibradores internos – Pueden ser de eje rígido o flexible, preferiblemente accionados por motores eléctricos. La frecuencia de vibración debe ser de 7000 rpm (115 Hz) o mayor. El diámetro de un vibrador redondo no debe ser mayor de la cuarta parte del diámetro del cilindro o de la cuarta parte del ancho de la viga o del molde prismático. Vibradores de otras formas deberán tener un perímetro equivalente a la circunferencia de un vibrador redondo apropiado. La longitud combinada del eje del vibrador y del elemento vibratorio deberá exceder la profundidad de la sección que está siendo vibrada en 76.0 mm (3"), como mínimo.

3.5.2 Vibradores externos – Pueden ser de mesa o de plancha. La frecuencia de vibración debe ser de 3600 rpm (60 Hz) o mayor. Se deben tomar medidas para asegurar el molde firmemente al aparato, para ambos tipos de vibradores.

Nota 2: Los impulsos de vibración son impartidos frecuentemente a la mesa o plancha a través de medios electromagnéticos o por un peso excéntrico montado en el eje de un motor eléctrico o por medio de un eje separado guiado por un motor.

3.6 Cono para medir el asentamiento – Debe cumplir con los requisitos indicados en la norma INV E-404.

3.7 Recipientes para muestreo y mezcla – Deben ser de fondo plano, metálicos de alto calibre, impermeables, de profundidad adecuada y de suficiente capacidad para permitir una mezcla fácil de toda la bachada con una pala o palustre o, si la mezcla se hace de manera mecánica, para recibir toda la bachada de la descarga del mezclador y permitir la remezcla en el recipiente con la pala o palustre.

3.8 Aparatos para medir el contenido de aire – El aparato para medir el contenido de aire debe cumplir con lo establecido en la norma INV E-406.

3.9 Balanzas – Las balanzas para determinar la masa de las muestras deben tener una exactitud de 0.30 % de la carga de ensayo, en cualquier punto de su rango de uso.

Nota 3: En general, la masa de cantidades pequeñas no se debe determinar con balanzas de gran capacidad. En muchas aplicaciones, se exige que la masa más pequeña que se determine sea mayor al 10 % de la capacidad máxima de la balanza. Las balanzas usadas para determinar las masas de los ingredientes de un concreto deben, preferiblemente, determinar las masas con una exactitud del orden de 0.1 % de la capacidad total aplicándose, además, la precaución mencionada anteriormente. Sin embargo, algunas balanzas analíticas y de precisión son excepciones a esta regla y pueden pesar con una

exactitud de 0.001 %. Se debe ejercer un cuidado especial al medir cantidades pequeñas de material mediante la diferencia entre dos masas de mucha mayor magnitud.

- 3.10 Mezcladora de concreto** – La mezcladora debe ser accionada mecánicamente y consistir en un tambor giratorio, una mezcladora basculante, un recipiente giratorio o una mezcladora de paletas, capaz de mezclar completamente las batchadas de los tamaños prescritos, con el asentamiento requerido.

Nota 4: Para concretos con asentamiento inferior a 25 mm (1"), es más apropiado utilizar un recipiente mezclador que una mezcladora de tambor giratorio. La velocidad de rotación, el grado de inclinación y la capacidad de las mezcladoras basculantes no resultan siempre adecuados para la elaboración de mezclas en el laboratorio. Es aconsejable, cuando se tengan que utilizar estas últimas, reducir la velocidad de rotación y el ángulo de inclinación del tambor y trabajarlas a una capacidad inferior a la especificada por el fabricante.

- 3.11 Equipo misceláneo** – Tamices, palas, palustres, cucharones, reglas, guantes de caucho, calibrador de espesores, tazones metálicos para mezclado, etc.
- 3.12 Termómetro** – Debe ser capaz de medir la temperatura del concreto fresco con una exactitud de $\pm 0.5^\circ \text{C}$ ($\pm 1^\circ \text{F}$) a través del rango de 0 a 50°C (30 a 120°C). El termómetro requiere una inmersión de 75 mm (3") o menos durante la operación. Si se usan termómetros de líquido en vidrio de inmersión parcial, deberán tener una marca permanente que indique la profundidad hasta la cual se puede sumergir el termómetro sin que se requiera aplicar un factor de corrección.
- 3.13 Equipo para tamizado por vía húmeda** – Si se requiere este tipo de tamizado, el equipo deberá satisfacer los requisitos de la norma INV E-401.

4 ESPECÍMENES

- 4.1 Especímenes cilíndricos** – Sus dimensiones deben estar establecidas en la especificación aplicable al proyecto y deberán cumplir los requisitos indicados en el numeral 4.4. Si las dimensiones no se encuentran estipuladas en los documentos del proyecto, el espécimen se deberá elaborar con una relación longitud/diámetro de 2:1, cumpliendo los requisitos del numeral 4.4.

Nota 5: Se deberá usar el mismo tamaño de cilindro empleado para la mezcla de referencia (control) cuando se deban realizar estudios de comparación. Para la dosificación de mezclas en proyectos de obras de concreto, es preferible que el tamaño de los cilindros en el laboratorio sea el mismo especificado para las pruebas de aceptación.

- 4.1.1** Los especímenes cilíndricos para los ensayos, exceptuando los destinados al flujo plástico bajo carga (*creep*), deben ser moldeados

con el eje del cilindro en posición vertical, dejándolo en esta posición durante el fraguado.

- 4.1.2** Los especímenes cilíndricos para flujo plástico bajo carga (*creep*), deben ser moldeados con el eje cilíndrico, ya sea vertical u horizontal, permitiendo su fraguado en la posición en la cual fueron moldeados.
- 4.2** *Muestras prismáticas* – Las vigas para ensayos de flexión y los prismas para congelamiento y deshielo, compresión, adherencia, cambios de longitud o de volumen, etc., deben ser elaborados con el eje longitudinal en posición horizontal, a menos que el ensayo en cuestión lo exija de otra manera. Sus dimensiones se deberán ajustar a los requisitos especificados para cada ensayo.
- 4.3** *Otras muestras* – Se pueden moldear especímenes con otras formas y tamaños para ensayos específicos, de acuerdo con las condiciones generales especificadas en esta norma.
- 4.4** *Tamaño del espécimen en relación con el tamaño del agregado* – El diámetro de un espécimen cilíndrico o la dimensión mínima de una sección transversal rectangular debe ser, por lo menos, 3 veces mayor que el tamaño máximo nominal del agregado grueso utilizado en la elaboración de la mezcla. Partículas superiores al tamaño máximo nominal, que se presenten de manera ocasional, deben ser retiradas de la mezcla durante el moldeo. Cuando el tamaño máximo nominal del agregado pétreo exceda de 50 mm (2"), la muestra se deberá someter a tamizado húmedo a través de un tamiz de 50 mm (2") de abertura, conforme se describe en la norma INV E-401.
- 4.5** *Número de especímenes* – El número de especímenes y el número de amasadas de ensayo dependen de la práctica local y de la naturaleza del programa de ensayos. Los métodos de ensayo o las especificaciones para los cuales se elaboran los especímenes suelen dar orientaciones sobre el particular. Usualmente, se deben elaborar tres o más especímenes para cada edad y condición del ensayo, a menos que se especifique otra cosa (nota 6). Los especímenes de ensayo que tienen en cuenta el análisis de una variable, se deben elaborar a partir de tres amasadas separadas, mezcladas en días diferentes. Con cada amasada se debe elaborar un número igual de especímenes. Cuando sea imposible moldear al menos un espécimen para cada variable en un día determinado, la mezcla para completar la serie entera de especímenes se debe efectuar en el menor número de días que sea posible y una de las mezclas deberá ser repetida cada día como un estándar de comparación.

Nota 6: Generalmente, los ensayos se hacen a edades de 7 y 28 días para compresión y a edades de 14 y 28 días para flexión. Los especímenes que contienen cemento tipo III se ensayan, frecuentemente, a 1, 3, 7 y 28 días. Tanto para el ensayo de compresión como para el de flexión, se suelen hacer ensayos a 3 meses, 6 meses y un año. Se pueden requerir otras edades de ensayo para otros tipos de especímenes.

5 PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES

- 5.1 Temperatura** – Los materiales deben ser llevados a la temperatura del laboratorio, preferiblemente entre 20 y 30° C (68 a 86° F) antes de ser mezclados, excepto cuando se estipule otra temperatura. En este último caso, el método propuesto para obtener la temperatura estipulada deberá ser aprobado previamente por quien la ha estipulado.
- 5.2 Cemento** – El cemento se debe almacenar en recipientes impermeables, preferiblemente metálicos, colocados en un lugar seco. El cemento debe ser mezclado perfectamente para proveer un suministro uniforme durante todo el ensayo. Deberá ser pasado por el tamiz de 850 µm (No. 20) u otro de menos abertura para remover cualquier grumo, ser mezclado de nuevo sobre un plástico y retornado a los recipientes.
- 5.3 Agregados** – Para evitar la segregación del agregado grueso, el agregado se debe separar en fracciones de tamaño individual y recombinar luego, para cada amasada, en las proporciones necesarias para producir la gradación deseada.

Nota 7: Es muy poco frecuente que un agregado grueso sea incorporado en una amasada como una fracción única. Normalmente, el número de fracciones de agregado grueso varía entre 2 y 5, para agregados de menos de 60 mm (2 ½"). Cuando una de las fracciones esté presente en una proporción mayor de 10 %, la relación entre las aberturas de los tamices de mayor y menor tamaño no deberá exceder de 2.0. Inclusive, es recomendable el empleo de fracciones con rangos de tamaño más estrechos.

- 5.3.1** A menos que el agregado fino se separe en fracciones de tamaño individual, se debe mantener en condición húmeda o devolver a su condición húmeda hasta que sea usado, para prevenir la segregación, salvo que el material uniformemente gradado se subdivida en lotes de tamaño de amasada usando un cuarteador con aberturas de tamaño adecuado. Si se están estudiando gradaciones inusuales, puede ser necesario secar y separar el agregado fino en tamaños individuales. En este caso, si la cantidad total requerida de agregado fino es mayor que la que se puede mezclar de forma eficiente como una sola unidad, se deben determinar las fracciones de tamaño individual en una masa requerida para cada amasada individual. Si la cantidad total de agregado fino requerida es tal que se puede mezclar perfectamente y

mantener en una condición húmeda, entonces se deberá manejar de esta manera. La gravedad específica y la absorción de los agregados se deberán determinar de acuerdo con las normas INV E-222 e INV E-223.

5.3.2 Antes de su incorporación en el concreto, el agregado se debe preparar a una condición definida y uniforme de humedad. La masa del agregado que va a ser usado en la amasada se debe determinar por uno de los siguientes procedimientos:

5.3.2.1 Los agregados de baja absorción (absorción inferior a 1.0 %) se pueden pesar en un ambiente seco, teniendo en cuenta la cantidad de agua que será absorbida por el concreto sin fraguar (nota 8). Este procedimiento es particularmente útil para el agregado grueso, el cual puede ser reducido a bachadas como tamaños individuales; debido al peligro de la segregación, este procedimiento puede ser usado con el agregado fino únicamente cuando tal agregado sea separado en tamaños individuales.

Nota 8: Cuando se empleen agregados de baja absorción en la condición de ambiente seco, se puede asumir que la cantidad de agua que pueden absorber antes del fraguado del concreto es el 80 % de la diferencia entre la absorción a 24 horas del agregado, determinada según las normas INV E-222 e INV E-223 y la cantidad de agua en los poros del agregado en su estado de ambiente seco, determinada según la norma INV E-216.

5.3.2.2 Las fracciones de tamaños individuales del agregado se pueden pesar separadamente, recombinar en un recipiente tarado en las cantidades requeridas para la bachada y sumergir en agua por 24 horas, antes de su uso. Después de la inmersión, se decanta el exceso de agua y se determina el peso del agregado combinado junto con el agua de mezclado. Se debe tener en cuenta la cantidad de agua absorbida por el agregado. El contenido de agua de los agregados se puede determinar de acuerdo con las normas INV E-216 y ASTM C 70.

5.3.2.3 El agregado se puede llevar hasta una condición saturada y mantener en ella, con una humedad superficial apenas suficiente para evitar pérdidas por drenaje, al menos 24 horas antes de su uso. Cuando se utiliza este método, se debe determinar la humedad del agregado para poder calcular las cantidades de agregado saturado que se van a utilizar. La

humedad superficial presente se debe considerar como parte del agua requerida para la mezcla. La humedad superficial del agregado fino se puede determinar de acuerdo con las normas INV E –216 y ASTM C 70, haciendo debida tolerancia para la cantidad de agua absorbida por el agregado. Este método (humedad un poco por encima de la absorción), es particularmente útil para agregados finos. Es menos usado para agregados gruesos, debido a la dificultad para determinar la humedad con exactitud, pero si se usa, cada fracción de tamaño individual se debe manejar separadamente para asegurar la obtención de la gradación apropiada.

5.3.2.4 Los agregados fino y grueso se pueden llevar hasta una condición saturada y superficialmente seca y mantenidos en ella, hasta que se formen las bachadas para uso. Este método se usa principalmente para preparar material para amasadas cuyo volumen no exceda de 0.007 m^3 ($\frac{1}{4} \text{ pie}^3$). Se debe tener mucho cuidado, para evitar el secado durante su pesaje y su uso.

5.4 *Agregados livianos* – Los procedimientos mencionados en esta norma para la determinación de la gravedad específica y la absorción, y para preparar los agregados son aplicables a agregados con valores normales de absorción. Los agregados livianos, las escorias enfriadas al aire y algunos agregados naturales porosos o vesiculares pueden ser tan absorbentes, que resulta difícil su tratamiento como se ha descrito. La humedad de estos agregados en el momento del mezclado puede tener efectos importantes sobre las propiedades de los concretos frescos y endurecidos, tales como pérdidas de asentamiento y de resistencia a la compresión y al congelamiento y deshielo.

5.5 *Aditivos* – Los aditivos en polvo que son parcial o completamente insolubles, que no contengan sales higroscópicas y que deban ser agregados en pequeñas cantidades, se deben mezclar con una porción de cemento antes de introducir la mezcla en la mezcladora, de manera de asegurar su perfecta distribución en el concreto. Los aditivos esencialmente insolubles que son usados en cantidades superiores al 10 % respecto de la masa del cemento, como las puzolanas, se deben manejar y adicionar a la mezcla en la misma forma que el cemento. Los aditivos en polvo altamente insolubles, pero que contienen sales higroscópicas, pueden causar la aglomeración del cemento y deben ser mezclados con la arena antes de introducirlos a la mezcladora. Los aditivos solubles en agua y los aditivos líquidos, deben ser adicionados a la mezcladora

en solución en el agua de mezclado. La cantidad de tal solución usada debe ser incluida en el cálculo del agua del concreto. Los aditivos que son incompatibles en su forma concentrada, como las soluciones de cloruro de calcio y algunos aditivos inclusores de aire y retardantes de fraguado, no se deben entremezclar antes de su adición al concreto. El tiempo, la secuencia y el método utilizados para adicionar algunos aditivos a la mezcla de concreto, pueden tener efectos importantes sobre propiedades tales como el tiempo de fraguado y el contenido de aire. El método seleccionado para la adición de aditivos se debe mantener inalterable de una mezclada a otra.

Nota 9: El equipo usado para mezclar y sus accesorios se deben limpiar completamente, para asegurar que los químicos o aditivos usados en amasadas de propiedades diferentes no afecten las amasadas subsecuentes.

6 PROCEDIMIENTO

6.1 Mezcla de concreto:

6.1.1 Generalidades – El tamaño de la mezcla de concreto debe ser tal, que deje un 10 % de residuo después del moldeo del espécimen de ensayo. Los procedimientos de mezclado manual no son aplicables a concretos con aire incluido o a concretos con asentamiento no medible. El mezclado manual se debe limitar a bachadas de 0.007 m³ (¼ pie³) de volumen o menos. Los procedimientos para la elaboración de la mezcla se describen en los numerales 6.1.2 y 6.1.3. Sin embargo, se pueden emplear otros procedimientos, cuando se desee simular unas condiciones o prácticas especiales o cuando los procedimientos especificados resulten impracticables. Es importante que no se varíen la secuencia de mezclado ni el procedimiento de una amasada a la siguiente, a menos que el efecto de dicha variación sea el objeto del estudio.

6.1.2 Mezcla con máquina – Antes de comenzar la rotación de la mezcladora se deben introducir el agregado grueso, una parte del agua que se use en la mezcla y la solución del aditivo, cuando ésta se requiera, según se indica en el numeral 5.5. Siempre que sea posible, el aditivo se debe dispersar en el agua antes de su adición a la mezcla. Se pone en funcionamiento la mezcladora y al cabo de unas cuantas revoluciones se adicionan el agregado fino, el cemento y el agua. Si para una mezcla particular o para un determinado ensayo no resulta práctico incorporar el agregado fino, el cemento y el agua a la mezcladora en funcionamiento, ellos se incluirán con la máquina detenida tras haberle

permitido algunas revoluciones luego de la introducción del agregado grueso y de una parte del agua (nota 10). Seguidamente, se mezcla el concreto durante 3 minutos a partir del momento en que todos los ingredientes estén en la mezcladora. Se detiene la mezcladora durante 3 minutos y luego se pone en funcionamiento durante otros 2 minutos de agitación final. El extremo abierto de la mezcladora se debe cubrir para evitar la evaporación durante el período de reposo. Se debe restituir todo mortero que se pierda por adhesión a la mezcladora, para conservar las proporciones (nota 11). Para evitar la segregación, el concreto se debe depositar en el recipiente limpio y seco y se debe remezclar con un palustre o una pala, hasta que presente un aspecto de completa uniformidad.

Nota 10: Un operador experimentado puede añadir el agua en incrementos durante el mezclado, para justar el asentamiento deseado.

Nota 11: Es difícil recobrar todo el mortero impregnado en las diferentes partes de las mezcladoras. Para compensar esta dificultad, se puede seguir uno de los siguientes procedimientos para garantizar las proporciones finales correctas en la mezcla:

1) "Embadurnando la mezcladora" – Justo antes de mezclar la bachada, la mezcladora es "embadurnada" mezclando una bachada proporcionada de forma que simule cercanamente la bachada del ensayo. El mortero que quede adherido a la mezcladora después de descargar la bachada, intenta compensar la pérdida de mortero de la bachada del ensayo.

2) "Sobre-proporcionando la mezcla" – La mezcla de ensayo se proporciona con una cantidad de mortero en exceso, estimada de antemano, que pretende compensar en promedio, aquella que se queda adherida a la mezcladora. En este caso, se debe limpiar el tambor antes de mezclar la bachada de ensayo.

6.1.3 Mezcla manual – Se debe hacer la mezcla en una bandeja o vasija metálica, impermeable, limpia (nota 9) y húmeda, con un palustre despuntado de albañil, utilizando el siguiente procedimiento, cuando los agregados se han preparado de acuerdo con lo indicado en los numerales 5.3.2.1, 5.3.2.3 y 5.3.2.4:

6.1.3.1 Se mezclan el cemento, el aditivo en polvo insoluble, si se va a utilizar, y el agregado fino sin adición de agua, hasta obtener una mezcla homogénea.

6.1.3.2 Seguidamente, se adiciona el agregado grueso y se mezcla la bachada sin adición de agua, hasta que el agregado se distribuya uniformemente en la mezcla.

6.1.3.3 Se adicionan el agua y el aditivo soluble si se va a utilizar, y se mezcla la masa lo suficiente para obtener una mezcla de concreto de apariencia homogénea y con la consistencia

deseada. Si se necesita un mezclado prolongado debido a que el agua se añade por incrementos para ajustar la consistencia, se descarta la bachada y se hace otra en la cual el mezclado no sea interrumpido para hacer tanteos con la consistencia.

6.1.4 *Concreto mezclado* – Se seleccionan las amasadas de concreto mezclado a ser usadas en los ensayos, con el fin de moldear especímenes que sean representativos de las proporciones reales y de la condición del concreto. El concreto se deberá cubrir cuando no se vaya a remezclar o muestrear, con el fin de prevenir la evaporación.

6.2 *Asentamiento, contenido de aire, rendimiento y temperatura:*

6.2.1 *Determinación del asentamiento* – El asentamiento de cada amasada se debe medir inmediatamente después de elaborada la mezcla, de acuerdo con la norma INV E-404.

Nota 12: El ensayo de asentamiento es inadecuado para mezclas de concreto muy secas que den lugar a valores inferiores a 6 mm (¼"). Estas mezclas se deben ensayar por uno de los métodos descritos en la guía ACI 211.3.

6.2.2 *Determinación del contenido de aire* – El contenido de aire se debe determinar de acuerdo con las normas INV E-406 o INV E-409. El concreto usado para determinar el contenido de aire se debe decantar. La norma INV E-406 no se debe emplear cuando se trate de un concreto elaborado con agregados livianos, escoria enfriada al aire o agregados de alta porosidad. El concreto usado para la determinación del contenido de aire se deberá descartar.

6.2.3 *Rendimiento* – Si se requiere, el rendimiento de cada bachada de concreto se determina de acuerdo con la norma INV E-405. El concreto utilizado para los ensayos de asentamiento y de rendimiento se puede devolver al recipiente de mezcla y remezclar en la bachada.

6.2.4 *Temperatura* – La temperatura de cada bachada de concreto se determina de acuerdo con la norma INV E-423.

6.3 *Elaboración de los especímenes:*

6.3.1 *Lugar del moldeo* – Los especímenes se deben moldear lo más cerca posible del lugar donde se van a guardar durante las primeras 24 horas. Si no resulta posible moldearlos en el sitio del almacenamiento, los especímenes se llevarán al depósito inmediatamente después de su elaboración. Los moldes se deberán colocar sobre una superficie rígida

y libre de vibraciones y de otras perturbaciones. Durante el transporte al sitio del almacenamiento, se deben evitar sacudidas, golpes, inclinaciones o raspaduras de la superficie.

6.3.2 Colocación – El concreto se debe colocar en los moldes utilizando un cucharón, un palustre u otro utensilio similar. Se debe seleccionar cada palada de concreto de manera que sea representativa de la amasada; además, puede ser necesario remezclar continuamente el concreto en el recipiente durante el moldeo de los especímenes, con el fin de prevenir la segregación. El cucharón o palustre se debe mover alrededor del borde superior del molde a medida que se descarga el concreto, con el fin de asegurar una distribución simétrica de éste y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde. Posteriormente, el concreto se distribuye con la varilla de compactación, antes del inicio de la consolidación. En la colocación de la capa final, el operador debe intentar colocar una cantidad de concreto que llene exactamente el molde luego de la compactación. No se permite la adición de muestras que no sean representativas del concreto dentro de un molde insuficientemente llenado.

6.3.3 Número de capas – El número de capas con el cual se fabrica el espécimen, debe ser el especificado en la Tabla 402 - 1.

Tabla 402 - 1. Número de capas requeridas por espécimen

TIPO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN	MÉTODO DE CONSOLIDACIÓN	NÚMERO DE CAPAS DE ESPESOR APROXIMADAMENTE IGUAL
Cilindros		
<i>Diámetro, mm (pg.):</i> 75 a 100 (3 a 4)	Apisonado	2
150 (6)	Apisonado	3
225 (9)	Vibración	4
hasta 225 (9)	Vibración	2
Prismas y cilindros para <i>creep</i> horizontal		
<i>Espesor, mm (pg.):</i> hasta 200 (8)	Apisonado	2
más de 200 (8)	Apisonado	3 o más
hasta 200 (8)	Vibración	1
más de 200 (8)	Vibración	2 o más

6.4 Consolidación:

6.4.1 Métodos de consolidación – La preparación de especímenes satisfactorios requiere diferentes métodos de consolidación. Los métodos de consolidación son el apisonado con varilla y la vibración interna o externa. La selección del método de consolidación se debe hacer con base en el asentamiento, a menos que el método sea establecido en las especificaciones bajo las cuales se realiza el trabajo. Si el concreto tiene un asentamiento igual o mayor de 25 mm (1") se puede usar el método de apisonado o el de vibración. Si el asentamiento es inferior a 25 mm (1"), se debe usar el método de vibración (nota 13). No se debe usar vibración interna para cilindros con diámetro inferior a 100 mm (4") ni para prismas de 100 mm (4") de profundidad o menos.

Nota 13: Los concretos con un contenido de agua tan bajo que no pueden ser consolidados por los métodos aquí descritos, no están contemplados por la presente norma. Hay concretos que se pueden consolidar mediante vibración externa, pero que requieren fuerzas adicionales sobre la superficie para embeber completamente el agregado grueso y consolidar la mezcla. Para tales mezclas, se puede emplear el siguiente procedimiento: usando vibración externa, se llenan los moldes cilíndricos de 150 × 300 mm (6 × 12") en capas de 75 mm (3") usando una sobrecarga cilíndrica de 4.5 kg (10 lb), o los moldes cilíndricos de 75 × 150 mm (3 × 6") en capas de 50 mm (2") usando una sobrecarga cilíndrica de 1 kg (2.5 lb). La sobrecarga debe tener un diámetro 6 mm (¼") menor que el diámetro interior del molde. Simultáneamente, se debe compactar cada capa mediante vibración externa con la sobrecarga sobre la superficie superior del concreto, hasta que el mortero comience a exudar alrededor del fondo de la sobrecarga.

6.4.2 Apisonado (varillado) – Se coloca el concreto en el molde, en el número de capas requeridas de aproximadamente el mismo volumen. Se apisona cada capa con la parte redonda de la varilla, utilizando el número de golpes y el tamaño de varilla especificados en la Tabla 402 - 2. La capa inicial se apisona introduciendo la varilla hasta el fondo del molde. La distribución de golpes para cada capa debe ser uniforme sobre toda la sección transversal del molde. Para cada capa superior a la inicial, la varilla debe atravesar la capa inferior en unos 25 mm (1"). Luego de apisonar cada capa, se deben golpear ligeramente los lados del molde para liberar las burbujas de aire que hayan quedado atrapadas, dando de 10 a 15 golpes con el mazo de caucho o cuero. Se debe usar la mano abierta para golpear moldes de bajo calibre y de un solo uso, los cuales pueden sufrir daños si se golpean con el mazo. Luego de dar los golpes, se remueve el concreto vecino a los bordes y extremos de vigas y moldes prismáticos, con ayuda de un palustre o una herramienta similar.

Tabla 402 - 2. Diámetro de la varilla y número de golpes por capa para el molde de los especímenes

CILINDROS		
DIÁMETRO DEL CILINDRO mm (pg.)	DIÁMETRO DE VARILLA mm (pg.)	NÚMERO DE GOLPES POR CAPA
75 (3) a < 150 (6)	10 (3/8)	25
150 (6)	16 (5/8)	25
200 (8)	16 (5/8)	50
250 (10)	16 (5/8)	75
VIGAS Y PRISMAS		
ÁREA DE LA SUPERFICIE SUPERIOR DE LA MUESTRA cm ² (pg ²)	DIÁMETRO DE VARILLA mm (pg.)	NÚMERO DE GOLPES POR CAPA
160 (25) o menos	10 (3/8)	25
165 a 310 (26 a 49)	10 (3/8)	1 por cada 7 cm ² (1 pg ²) de área
320 (50) ó más	16 (5/8)	1 por cada 14 cm ² (2 pg ²) de área
CILINDROS DE CREEP HORIZONTAL		
DIÁMETRO DEL CILINDRO mm (pg.)	DIÁMETRO DE VARILLA mm (pg.)	NÚMERO DE GOLPES POR CAPA
150 (6)	16 (5/8)	50 en total, 25 a lo largo de cada lado del eje

6.4.3 Vibración – Se debe mantener una duración uniforme de vibración para un conjunto particular de concreto, vibrador y molde que se esté utilizando. La duración de la vibración dependerá de la manejabilidad del concreto y de la eficiencia del vibrador. Generalmente, se considera que la vibración es suficiente cuando la superficie de concreto se torna relativamente lisa y dejan de atravesar grandes burbujas de aire por ella. La vibración se debe transmitir sólo durante el tiempo suficiente para lograr la adecuada consolidación del concreto (nota 14), pues un exceso de vibración puede causar segregación. El molde se debe llenar y vibrar en el número requerido de capas aproximadamente iguales. Todo el concreto para cada capa se debe colocar en el molde antes de iniciar la vibración. Cuando se coloque la capa final, se debe evitar el sobrellenado del molde en más de 6 mm (¼"). Al aplicar el terminado

luego de la vibración, se debe añadir con el palustre solamente una cantidad de concreto que sobrellene el molde en unos 3 mm (1/8"), se trabaja ésta en la superficie y luego se remueve.

Nota 14: Generalmente, son suficientes 5 segundos de vibración por cada inserción del vibrador para consolidar concretos con asentamientos mayores de 75 mm (3"). Se pueden requerir tiempos mayores para asentamientos menores, pero raramente superiores a 10 segundos.

6.4.3.1 *Vibración interna* – Al compactar la muestra, el vibrador se debe insertar lentamente y no debe tocar el fondo, las paredes del molde u objetos embebidos en el concreto, tales como medidores de deformación. El vibrador se debe extraer cuidadosamente, de manera que no queden burbujas de aire dentro del espécimen.

6.4.3.1.1 *Vibración interna para cilindros* – En cada capa se debe introducir el vibrador el número de veces que se indica en la Tabla 402 - 3. Si se requiere más de una inserción por capa, las inserciones se deben distribuir uniformemente en cada una. Se debe permitir que el vibrador penetre en la capa inferior unos 25 mm (1"). Después de vibrada cada capa, se dan al molde 10 golpes con el mazo de caucho o cuero para cerrar los huecos y eliminar los vacíos con aire que hayan quedado atrapados. Si los moldes pueden sufrir daño al golpearlos con el mazo, como es el caso de los moldes de cartón o los metálicos de un solo uso, los golpes se darán con la palma de la mano.

6.4.3.1.2 *Vibración interna para vigas, prismas y cilindros para flujo plástico horizontal* – El vibrador se debe introducir en puntos separados a intervalos no mayores de 150 mm (6") a lo largo de la línea central de la mayor dimensión del espécimen o a lo largo de ambos lados pero no en contacto con el dispositivo medidor de deformación, en el caso de los cilindros para medición del flujo plástico (*creep*). Para especímenes de ancho mayor a 150 mm (6"), se debe introducir el vibrador en dos líneas, alternando las inserciones. Se debe permitir que el eje del vibrador penetre en la capa del fondo aproximadamente 25 mm (1"). Después de

vibrada cada capa, se deben dar 10 golpes rápidos con el mazo de caucho o cuero a las superficies exteriores del molde para cerrar los huecos y eliminar los vacíos con aire que hayan quedado atrapados.

- 6.4.3.2** *Vibración externa* – Cuando se use un vibrador externo, se debe tener el cuidado de que el molde esté rígidamente unido a la superficie o elemento vibrante (nota 13).

Tabla 402 - 3. Número de inserciones del vibrador por capa

TIPO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN	NÚMERO DE INSERCIÓNES POR CAPA
CILINDROS:	
Diámetro, mm (pg.)	
100 (4)	1
150 (6)	2
225 (9)	4

- 6.5** *Acabado* – Después de la consolidación por cualquiera de los métodos citados, se remueve el exceso de concreto que sobresalga de la superficie del concreto sobre los bordes del molde y se empareja con una llana o un palustre según lo especifique la norma de ensayo aplicable al espécimen elaborado. Si no se especifica nada con respecto al acabado, éste se deberá realizar con una llana de madera o de magnesio. El acabado se debe efectuar con la manipulación mínima necesaria, de manera que la superficie quede plana y a nivel con el borde del cilindro o lado del molde, y que no haya depresiones o protuberancias mayores de 3 mm (1/8").

- 6.5.1** *Acabado de cilindros* – Después de la consolidación, se debe efectuar el acabado de la superficie por medio de la varilla apisonadora cuando la consistencia del concreto lo permita o con un palustre o llana de madera. Si se desea, se puede colocar una capa de pasta rígida de cemento sobre el espécimen a manera de refrentado (ver norma INV E-403).

- 6.5.2** *Acabado de cilindros para pruebas de flujo plástico* – Después de la consolidación, se debe efectuar el acabado con un palustre o una llana y entonces se alisa con el palustre la cantidad mínima necesaria para moldear el concreto en la abertura de manera concéntrica con el resto

del espécimen. Se debe usar una maestra con una curvatura ajustada al radio del espécimen, de manera que el concreto quede moldeado y terminado de la forma más precisa en la abertura.

7 CURADO

- 7.1** *Curado inicial* – Para evitar la evaporación de agua del concreto sin endurecer, las muestras se deben cubrir inmediatamente después del acabado, preferiblemente con una platina no reactiva y no absorbente o con una lámina de plástico dura e impermeable. Se permite el uso de costal de fique húmedo para el cubrimiento del espécimen, pero se evitará el contacto directo de éste con el costal, el cual debe permanecer húmedo hasta que los especímenes sean removidos de los moldes. La colocación de un plástico sobre el costal ayuda a mantener la humedad de éste. Los especímenes se deben almacenar inmediatamente después del acabado y hasta su remoción de los moldes, para evitar que pierdan humedad. Se debe elegir un procedimiento apropiado o una combinación de procedimientos, que prevengan las pérdidas de humedad y que no resulten absorbentes ni reactivos con el concreto. Las superficies exteriores de los moldes de cartón se deben proteger del contacto con los costales húmedos u otras fuentes de agua, hasta el instante en que se remuevan los especímenes, con el fin de prevenir el deterioro de éstos. Se anotan las temperaturas ambiente máxima y mínima durante el curado inicial.
- 7.2** *Extracción del espécimen* – Los especímenes se deben remover de sus moldes en un lapso 24 ± 8 horas después de su elaboración. En el caso de concretos con tiempo de fraguado prolongado, los moldes no se deberán remover sino 20 ± 4 horas después del fraguado inicial.
- 7.3** *Ambiente de curado* – A menos que se especifique otra cosa, los especímenes se deben mantener en condiciones de humedad a una temperatura de $23.0 \pm 2.0^\circ \text{C}$ ($73 \pm 3.5^\circ \text{F}$) desde el instante del moldeo hasta el momento de ensayo (nota 15). El almacenamiento durante las primeras 48 horas de curado se debe hacer en un ambiente libre de vibraciones. El curado húmedo de los especímenes desmoldados implica que toda su superficie tenga agua libre de manera continua. Ello se logra por inmersión del espécimen en un tanque con agua o por el almacenamiento en un cuarto húmedo que cumpla los requisitos de la especificación C 511 de la ASTM. El curado de cilindros de concreto liviano se deberá realizar conforme se indica en la especificación ASTM C 330.

Nota 15: Si se produce evaporación, la temperatura en la arena húmeda o bajo el costal húmedo o materiales similares, deberá ser siempre menor que la temperatura de la atmósfera circundante

- 7.4** *Especímenes para el ensayo de resistencia a la flexión* – Los especímenes para el ensayo de resistencia a la flexión se deben curar de acuerdo con lo indicado en los numerales 7.1 y 7.2, excepto que mientras están en almacenamiento por un período mínimo de 20 horas previo al ensayo, los especímenes se deben sumergir en agua saturada con hidróxido de calcio a $23.0 \pm 2^\circ \text{C}$ ($73 \pm 3.5^\circ \text{F}$). Al final del período de curado, entre el instante en que el espécimen se retira del curado y se completa la prueba, se debe prevenir el secado de sus superficies.

Nota 16: Cantidades relativamente pequeñas de secado de la superficie de los especímenes destinados a medir la resistencia a la flexión inducirán esfuerzos de tracción en las fibras extremas, los cuales generan una marcada reducción de dicha resistencia.

8 PRECISIÓN Y SESGO

- 8.1** *Precisión* – Los datos usados para establecer planteamientos de precisión para las diferentes pruebas, requeridas por esta norma, fueron obtenidos en el *Concrete Proficiency Simple Program of the Cement and Concrete Reference Laboratory*.

8.1.1 Se comprobó que las desviaciones estándar de un solo operador para asentamiento, masa unitaria, contenido de aire y resistencia a la compresión a los 7 días de amasadas de prueba, son de 0.7", 0.9 lbf/pie², 0.3 % y 203 lbf/pg², respectivamente; por lo tanto, los resultados de dos pruebas hechas por un mismo operador en el mismo laboratorio no deben diferir en más de 2.0", 2.5 lbf/pie³, 0.8 % y 574 lbf/pg², respectivamente. Esta declaración de precisión se considera aplicable para amasadas de prueba de laboratorio proporcionadas para contener unas cantidades prescritas de materiales y tener una relación constante de agua/cemento. Los valores se deben usar con precaución para concretos con aire incluido, concretos con asentamiento menor de 50 mm (2") o mayor de 150 mm (6"), o concretos hechos con una masa de agregado diferente a la normal o con agregados con tamaño nominal máximo mayor de 25 mm (1").

8.1.2 Se comprobó que las desviaciones estándar para asentamiento, masa unitaria, contenido de aire y resistencia a la compresión a los 7 días de amasadas de prueba llevadas a cabo en varios laboratorios, son de 1.0", 1.4 lbf/pie², 0.4 % y 347 lbf/pg², respectivamente; por lo tanto, los resultados de pruebas conducidas correctamente sobre amasadas únicas, llevadas a cabo en dos laboratorios diferentes, no deberían diferir en más de 2.8", 4.0 lbf/pie³, 1.1 % y 981 lbf/pg²,

respectivamente. Esta declaración de precisión se considera aplicable para amasadas de prueba de laboratorio proporcionadas para contener unas cantidades prescritas de materiales y tener una relación constante de agua/cemento. Los valores se deben usar con precaución para concretos con aire incluido, concretos con asentamiento menor de 50 mm (2") o mayor de 150 mm (6"), o concretos hechos con una masa de agregado diferente a la normal o con agregados con tamaño nominal máximo mayor de 25 mm (1").

- 8.2** *Sesgo* – Los procedimientos para los métodos de ensayo citados en los numerales 8.1.1 y 8.1.2 no tienen sesgo, debido a que los valores obtenidos de cada uno de ellos, están definidos únicamente en términos del respectivo método de ensayo.

9 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 192/C 192 M – 07

REFRENTADO DE CILINDROS DE CONCRETO

INV E – 403 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma especifica los aparatos, materiales y procedimientos necesarios para llevar a cabo el refrentado de cilindros de concreto, frescos o endurecidos, y de núcleos de concreto extraídos mediante rotación. Los cilindros de concreto fresco se refrentan con cemento puro, mientras que los cilindros endurecidos y los núcleos de concreto se refrentan con una pasta de yeso de alta resistencia o con mortero de azufre.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-403-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Esta norma describe procedimientos para brindar superficies planas a las bases de cilindros de concreto recientemente moldeados, de cilindros endurecidos y de núcleos de concreto extraídos por rotación, cuando las superficies de dichas bases no cumplen los requisitos de planitud y perpendicularidad de las especificaciones aplicables.

3 EQUIPO

- 3.1** *Placas para refrentado* – Las capas de refrentado con cemento puro o con una pasta de yeso de alta resistencia se deben formar contra una placa de vidrio de al menos 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") de espesor, una placa de metal maquinado de, por lo menos, 11 mm (0.45") de espesor, o una placa pulida de granito o de diabasa de no menos de 75 mm (3") de espesor. Las capas de refrentado con mortero de azufre se deberán formar contra placas similares de piedra o de metal, excepto que el área rebajada que recibe el mortero no debe tener una profundidad mayor de 12 mm ($\frac{1}{2}$ "). En todos los casos, las placas deberán tener un diámetro superior en 25 mm (1") al del espécimen que se refrenta y las superficies de trabajo no se deberán separar del plano ideal en más de 0.05 mm (0.002") en 150 mm (6"). La rugosidad superficial de las placas metálicas nuevas no debe exceder de 3.2 μm (125 $\mu\text{pg.}$) para cualquier tipo de superficie y de dirección de capa. Las superficies de las placas nuevas deberán estar libres de rayones, hendiduras, muescas o indentaciones de cualquier tipo, más

allá de las causadas por la operación de terminado de la placa. Las placas de metal que han tenido uso pueden tener tales defectos, pero de profundidad no superior a 0.25 mm (0.01") o de área no mayor a 30 mm² (0.05 pulg²).

Nota 1: Se recomienda el empleo de una dureza Rockwell de HRC 48 para las placas de refrentado de los dispositivos usados para formar cubiertas de mortero de azufre.

3.2 *Dispositivos de alineación* – En conjunto con las placas de refrentado se deberán usar dispositivos de alineación apropiados, como barras-guía o niveles de ojo, para asegurar la perpendicularidad del eje del espécimen cilíndrico, con una tolerancia de 0.5° [aproximadamente equivalente a 3 mm en 300 mm (1/8" en 12")]. El mismo requisito se aplica a la relación entre el eje del dispositivo de alineación y la superficie de la placa para refrentado, en caso de que se empleen barras guía. Además, la localización de cada barra con respecto a su placa debe ser tal, que ninguna capa de refrentado vaya a quedar descentrada sobre un espécimen de ensayo por más de 2 mm (1/16").

3.3 *Crisoles para fundir morteros de azufre* – Estos crisoles deberán estar equipados con controles automáticos de temperatura y deberán estar hechos de metal o revestidos con un material que no reaccione con el azufre fundido.

3.3.1 *Precaución* – Los crisoles de fundición equipados con calentadores periféricos proporcionan seguridad contra los accidentes que se pueden presentar cuando se recalientan mezclas de azufre frías con costras superficiales. Cuando se usen crisoles sin este equipamiento, se deberá tener el cuidado de mover la mezcla con una varilla de hierro introduciéndola hasta el fondo del crisol mientras se enfría, para evitar la presión bajo las costras superficiales endurecidas. La varilla deberá ser de tamaño suficiente para que conduzca bastante calor hacia la superficie y funda el anillo de mezcla que lo rodea, evitando de esta manera el desarrollo de presión. Se puede usar un cucharón metálico en vez de la varilla.

3.3.1.1 Los crisoles para fundir el azufre se deben usar bajo una campana que brinde escape a los gases producidos hacia el exterior. El calentamiento sobre una llama abierta puede ser peligroso, pues el punto de ignición del azufre es aproximadamente 207° C (405° F) y la mezcla se puede inflamar por el sobrecalentamiento. Si la mezcla se inflama, la colocación de una cubierta apagará el fuego. El crisol se deberá recargar con material fresco después de que se haya extinguido la llama.

4 MATERIALES PARA REFRENTADO

- 4.1** La resistencia del material para refrentar y el espesor de la capa de refrentado deberán estar de acuerdo con los requerimientos de la Tabla 403 - 1.

Tabla 403 - 1. Resistencia a la compresión y espesor máximo de la capa de refrentado

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CILINDRO MPa (lbf/pg ²)	RESISTENCIA MÍNIMA DEL MATERIAL DE REFRENTADO	MÁXIMO ESPESOR PROMEDIO DE LA CAPA DE REFRENTADO mm (pg.)	MÁXIMO ESPESOR DE CUALQUIER PARTE DE LA CAPA DE REFRENTADO mm (pg.)
3.5 – 50 (500 – 7000)	35 MPa (5000 lbf/pg ²) o la resistencia a compresión del cilindro, la que sea mayor	6 (¼)	8 (5/16)
> 50 (> 7000)	Resistencia a la compresión no menor que la del cilindro, excepto lo indicado en 4.1.1	3 (1/8)	5 (3/16)

- 4.1.1** Si se van a emplear mortero de azufre, una pasta de yeso de alta resistencia u otros materiales, excepto una pasta de cemento puro para ensayar un concreto con resistencia superior a 50 MPa (7000 lbf/pg²) y su resistencia a la compresión es menor que la del cilindro, el fabricante o el usuario del material deben suministrar documentación que demuestre:

4.1.1.1 Que la resistencia promedio de 15 cilindros refrentados con el material, no es inferior al 98 % de la resistencia promedio de 15 cilindros de comparación refrentados con una pasta de cemento puro o de 15 cilindros con bases planas mediante esmerilado, con una tolerancia de 0.05 mm (0.002").

4.1.1.2 Que la desviación estándar de las resistencias de los cilindros refrentados no es mayor de 1.57 veces la desviación estándar de la resistencia de los cilindros de comparación.

4.1.1.3 Que en los ensayos de calificación se cumplen los requerimientos sobre el espesor de la capa de refrentado.

4.1.1.4 Además, se debe indicar el tiempo de endurecimiento de las capas de refrentado usadas en los ensayos de calificación.

4.1.2 Adicionalmente, el informe del ensayo de calificación debe incluir la resistencia a compresión de cubos de 50 mm (2"), elaborados con el material calificado y con pasta de cemento pura, si se utilizan. Los materiales de refrentado que cumplan estos requisitos se pueden usar para cilindros con resistencia hasta 20 % mayor que la del concreto empleado en estos ensayos de calificación. El fabricante debe recalificar anualmente los lotes del material manufacturado o cuando se presente un cambio en la formulación o en la materia prima empleada. El usuario del material deberá conservar una copia de los resultados de calificación y las fechas de elaboración del material calificado y del material que se esté utilizando.

Nota 2: La Tabla 403 - 2 muestra un ejemplo de informe con los resultados de los ensayos de calificación de un material de refrentado

4.1.3 La resistencia a la compresión de los materiales de refrentado se debe determinar ensayando cubos de 50 mm (2"), siguiendo el procedimiento de la norma ASTM C 109. Excepto para los morteros de azufre, los procedimientos de moldeo deben ser los indicados en la norma ASTM C 109, a menos que se requieran otros procedimientos para eliminar vacíos de aire atrapado. En la norma ASTM C 472 se presentan procedimientos de compactación alternativos. Los cubos se deben curar en el mismo ambiente y durante el mismo tiempo que el material empleado para refrentar los especímenes.

4.1.4 Se debe determinar la resistencia del material de refrentado al recibo de un nuevo lote y a intervalos que no excedan de tres meses. Si un determinado lote falla en el cumplimiento de los requisitos de resistencia, no se podrá utilizar, y los ensayos de resistencia del material de reemplazo se deberán adelantar semanalmente hasta que se verifique el cumplimiento de los requisitos de la especificación durante cuatro semanas consecutivas.

Tabla 403 - 2. Ejemplo de informe de calificación de un material de refrentado

ÍTEM	MATERIAL DE REFRENTADO	CILINDROS DE CONTROL	RELACIÓN REFRENTADO/CONTROL	CRITERIO	PASA O FALLA
Datos del ensayo del cilindro de concreto					
Tipo de material	Azufre				
Resistencia promedio a compresión, MPa	76.2	1.72	1.005	> 0.98	Pasa
Desviación estándar, MPa	2.59	15	1.504	≤ 1.57	Pasa
Número de cilindros ensayados	15	NA			
Edad del refrentado al ensayar	7 días				
Datos del ensayo del material de refrentado					
Espesor promedio de capa, mm	2.8				
Resistencia a compresión cubos 50 mm, MPa	91	NA			
Edad del cubo al ensayar	7 días				
Resistencia máxima del concreto calificado = 1.2 Resistencia promedio = 1.2 × 76.2 = 91.4 MPa					
Material de refrentado: <u>Mortero de azufre AAA</u>					
Fabricante: <u>Suministros de laboratorio S.A.</u>					
Lote: <u>3456</u>					
Fecha de ensayo: <u>14/07/XX</u>					
Responsable: (nombre, firma y empresa)					

4.2 Pasta de cemento hidráulico puro:

- 4.2.1** Se deben realizar ensayos de calificación de la pasta de cemento hidráulico puro antes de emplearlo en el refrentado, con el fin de establecer los efectos de la relación agua/cemento y la edad sobre la resistencia a la compresión de cubos de 50 mm (2").

Nota 3: Los cementos empleados generalmente corresponden a los Tipos I, II y III; sin embargo, se acepta el uso de cementos mezclados, aluminato de calcio y otros cementos hidráulicos que produzcan una resistencia aceptable a la compresión.

- 4.2.2** La pasta de cemento puro se mezcla a la consistencia deseada con una relación agua/cemento igual o menor que la requerida para producir la resistencia exigida, generalmente entre 2 y 4 horas antes de que ella se

vaya a emplear (nota 4). Se remezcla siempre que sea necesario para mantener una consistencia aceptable (nota 5). Se acepta algún reamasado de la pasta, siempre y cuando no se exceda la relación agua/cemento. Generalmente, la consistencia óptima se logra con relaciones agua/cemento entre 0.32 y 0.36 por masa para los cementos de los tipos I y II, y entre 0.35 y 0.39 para los de tipo III.

Nota 4: Las pastas mezcladas recientemente tienden a exudar y contraerse, haciendo que las capas de refrentado resulten inaceptables. El periodo mencionado de 2 a 4 horas es generalmente apropiado para los cementos portland.

Nota 5: La consistencia requerida de la pasta se determina por la apariencia de la capa de refrentado cuando se desmolda. La pasta fluida trae como consecuencia surcos en la capa, mientras que la pasta rígida da lugar a capas gruesas.

4.3 Pasta de yeso cemento de alta resistencia:

4.3.1 No se deben agregar llenante o extendedores a la pasta pura de yeso cemento, después de su manufactura (nota 6). Se deben hacer ensayos de calificación para determinar los efectos de la relación agua/cemento y de la edad sobre la resistencia a la compresión de cubos de 50 mm (2"). Se pueden emplear retardantes para extender el tiempo de trabajo, pero se deberán determinar sus efectos sobre la relación agua/cemento y la resistencia.

Nota 6: La masilla de baja resistencia para estucar, el yeso blanco o las mezclas de yeso blanco y cemento portland son inapropiados para el refrentado.

Nota 7: La relación agua/yeso cemento se debe encontrar entre 0.26 y 0.30. El uso de bajas relaciones agua/yeso cemento y un mezclado vigoroso permiten desarrollar resistencias de 35 MPa (5000 lbf/pg²) a edades de 1 a 2 horas. Relaciones mayores extienden el tiempo de trabajo, pero reducen la resistencia

4.3.2 Se mezcla la pasta pura de yeso cemento a la relación agua/yeso cemento deseada, y se emplea con prontitud, por cuanto ella fragua rápidamente.

4.4 Mortero de azufre:

4.4.1 Se permite su empleo si se deja endurecer durante un mínimo de 2 horas antes de ensayar un concreto con una resistencia a compresión menor de 35 MPa (5000 lbf/pg²). Para concretos de resistencia igual o mayor a 35 MPa (5000 lbf/pg²), el refrentado con mortero de azufre se permite si se deja endurecer al menos 16 horas antes del ensayo, a menos que se haya encontrado adecuado un lapso menor.

4.4.2 *Determinación de la resistencia a la compresión* – Los especímenes de ensayo se preparan usando un molde cúbico y una placa de base de acuerdo con los requerimientos de la norma ASTM C 109, y una tapa metálica conforme al diseño mostrado en la Figura 403 - 1 (nota 8). Las diferentes partes del equipo se llevan a una temperatura de 20 a 30° C (68 a 86° F), se cubren con una capa delgada de aceite mineral las superficies que van a estar en contacto con el mortero de azufre y se hace el ensamble cerca del crisol. Se lleva la temperatura del mortero de azufre fundido a 129–143° C (265–290° F), se agita completamente y se vierte en los moldes cúbicos. Usando un cucharón u otro elemento apropiado para el vertimiento, se llena cada uno de los tres compartimentos hasta que el material derretido alcance el tope del orificio de llenado. Se permite el tiempo suficiente para que se produzcan la contracción máxima debida al enfriamiento y la solidificación (unos 15 minutos) y se rellena cada orificio con material derretido (nota 9). Luego de que la solidificación sea completa, se remueven los cubos del molde sin desprender la protuberancia formada por el orificio de llenado en la placa de cobertura. Se remueven el aceite mineral, los bordes filosos y las rebabas de los cubos, y se verifica la planitud de las superficies de soporte de la manera descrita en la norma ASTM C 109. A continuación, los cubos se almacenan a temperatura ambiente durante el tiempo deseado, el cual no debe ser menor de 2 horas, se someten a ensayo como se describe en la norma ASTM C 109 y se determina su resistencia a la compresión.

Nota 8: si se desea, para disminuir la rata de enfriamiento de los especímenes de ensayo se puede insertar entre la placa de cubierta y el molde una placa de 3 mm (1/8") de espesor de un plástico termoendurecible (como fenol formaldehido), provista de tres orificios adecuadamente espaciados.

Nota 9: El segundo llenado ayuda a prevenir la formación de un vacío de gran tamaño o un conducto de contracción en el cuerpo del cubo. Sin embargo, tales defectos pueden ocurrir independientemente del cuidado que se tenga y, por lo tanto, se aconseja inspeccionar la homogeneidad del interior de los cubos de mortero de azufre, siempre que su resistencia a la compresión sea mucho menor que la anticipada.

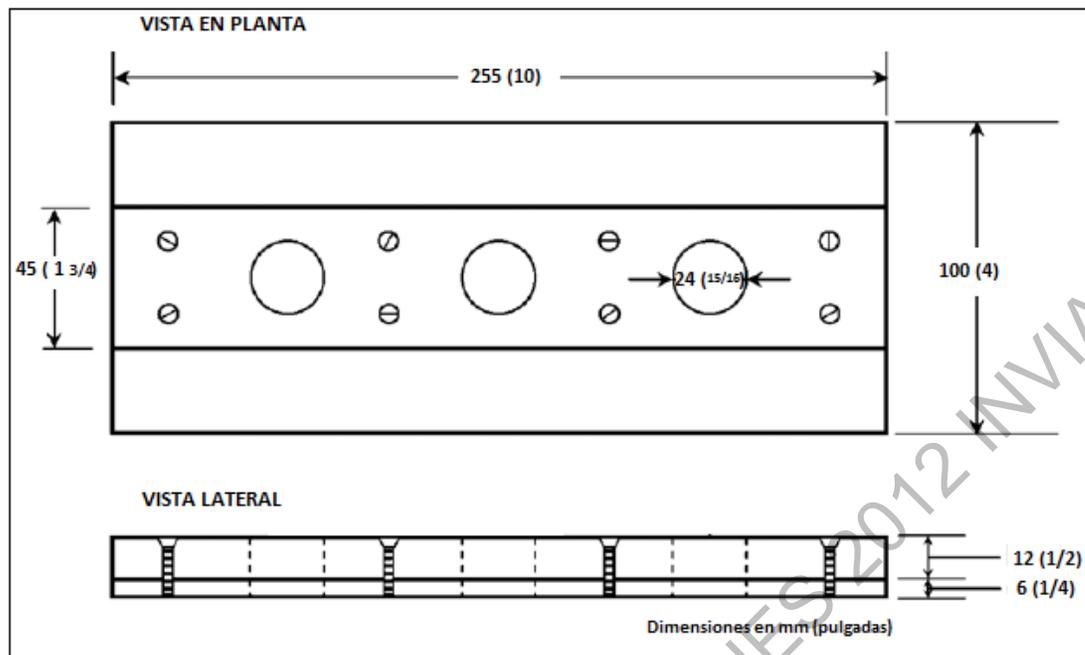


Figura 403 - 1. Esquema de tapa metálica para los moldes cúbicos de 50 mm (2") de lado

5 PROCEDIMIENTOS DE REFRENTADO

- 5.1 Cilindros de concreto fresco** – Se usan únicamente pastas de cemento portland (nota 10) para refrentar cilindros de concreto fresco. La capa debe ser tan delgada como sea posible. No se debe aplicar la pasta sobre el extremo expuesto hasta que el concreto haya cesado de asentarse dentro del molde, lo cual sucede entre 2 y 4 horas después del moldeo. Durante el moldeo del cilindro, se enrasa el extremo superior al nivel o un poco por debajo del plano del borde del molde. Se remueven el agua libre y la lechada de la parte superior del espécimen inmediatamente antes de proceder al refrentado. La capa de refrentado se forma colocando una pila cónica de pasta sobre el cilindro, la cual se presiona con suavidad empleando una placa aceitada, hasta que ésta hace contacto con el borde del molde. Se puede requerir un leve movimiento de torsión para desalojar el exceso de pasta y minimizar los vacíos de aire en la pasta. La placa de refrentado no se debe balancear durante esta operación. Se cubren cuidadosamente la placa de refrentado y el molde con una capa doble de arpillera húmeda y una lámina de polietileno, para prevenir el secado. Se remueve la placa de refrentado después de que se haya endurecido la pasta, golpeándola con un mazo de caucho o cuero en una dirección paralela al plano de la capa de refrentado.

Nota 10: Las capas de cemento Tipo I generalmente requieren al menos 6 días para desarrollar una resistencia apreciable y las de cemento Tipo III por lo menos 2 días. Los especímenes de concreto seco absorberán el agua de la capa de refrentado y producirán resultados insatisfactorios. Tales capas se contraerán y quebrarán al secarse y, por lo tanto, sólo se deben usar para especímenes que serán curados en húmedo continuamente hasta el momento del ensayo.

Nota 11: Las capas de yeso de alta resistencia se ablandan y deterioran en contacto con el agua y no se pueden emplear sobre concreto fresco, ni almacenar en un cuarto húmedo más que por periodos breves.

5.2 Especímenes de concreto endurecido:

5.2.1 Generalidades – Si una base del espécimen tiene un recubrimiento o depósito de materiales aceitosos o parafinados que puedan interferir con la adherencia de la capa de refrentado, dichos materiales deberán ser removidos. Si es necesario, se raspan los extremos del espécimen con un cepillo de acero o una lima de acero para lograr una adecuada adhesión de la capa. Si se desea, se puede cubrir la placa de refrentado con aceite mineral o grasa mineral que impida su adherencia al material de refrentado.

5.2.2 Condición de la base – La distancia entre cualquier punto de una base sin refrentar y un plano que pase a través del punto más alto de la superficie del extremo y que sea perpendicular al eje del cilindro, no deberá exceder de 3 mm (1/8") (nota 12). Si la base excede dicho límite, deberá ser cortada, pulida o rectificada antes del refrentado.

Nota 12: Esta provisión es para controlar la diferencia entre las partes más gruesa y más delgada de la capa de refrentado. La distancia se puede verificar con una escuadra de carpintero, uno de cuyos brazos toca la generatriz del cilindro y el otro el punto más alto de la base del cilindro, midiéndose la distancia entre el brazo de la escuadra y el punto más bajo de la base del cilindro.

5.2.3 Refrentado con pasta de yeso de alta resistencia o pasta de cemento puro – Se hace la pasta como se describe en los numerales 4.2 y 4.3. No se debe exceder la relación agua/cemento establecida en los ensayos de calificación. Las capas de refrentado se forman como se describe en el numeral 5.1, usando las placas para refrentado mencionadas en el numeral 3.1, con el fin de obtener la alineación requerida en el numeral 4.2 (nota 13). Generalmente, las placas para refrentado se deben remover en un término no mayor de 45 minutos si se emplea pasta de yeso y luego de 12 horas si se emplea pasta de cemento, sin producir un deterioro visible en la capa de refrentado.

Nota 13: Se han usado varios métodos para obtener la perpendicularidad del refrentado respecto del eje del cilindro. Se puede colocar una pila de pasta sobre una placa para

refrentado y se desciende el espécimen hacia ella. Un nivel en la parte superior del espécimen ayuda a obtener la alineación. Otra posibilidad es colocar una pila de pasta en la parte superior del cilindro y presionar luego la placa para refrentado, verificando la horizontalidad con el nivel. Un sistema mejor, consiste en hacer un molde de la mitad de la altura con una hendidura vertical, de manera que se pueda deslizar sobre el cilindro endurecido. Se usa una abrazadera para posicionar el molde y asegurar el espesor requerido de la capa de refrentado. Entonces, la pila de pasta se puede colocar bien sobre la placa de refrentado o bien sobre la base superior del cilindro, presionando hasta que la placa toque el molde. Como se anotó con anterioridad, la pasta muy rígida puede requerir una presión excesiva y producir capas muy espesas o con defectos.

- 5.2.4 Refrentado con mortero de azufre** – El material se debe calentar hasta una temperatura de 130 – 145° C (265 – 290° F) determinada cada hora con un termómetro metálico insertado cerca al centro de la masa en el crisol. Se vacía el recipiente y se recarga con material fresco periódicamente, para asegurar que el material antiguo no se usa más de cinco veces. Al refrentar cilindros cuya resistencia a compresión sea de 35 MPa (5000 lbf/pg²) o mayor, no se permite la reutilización de material recuperado de la operación de refrentado o de capas elaboradas anteriormente. El mortero de azufre fresco debe estar seco al ser colocado en el crisol, ya que la humedad puede provocar espuma. Por esta misma razón, se debe evitar que el material fundido entre en contacto con el agua. La placa o dispositivo para refrentado se debe calentar ligeramente antes de su uso, para reducir la velocidad de endurecimiento y permitir la formación de capas delgadas. Antes de hacer cada refrentado se aplica una capa delgada de aceite en las placas y se agita el material fundido. Las bases de los cilindros curados en húmedo deben estar lo suficientemente secas en el instante del refrentado, para evitar la formación de espuma o de bolsas de vapor de diámetro mayor a 6 mm (¼"), debajo o dentro de la capa de refrentado. Se deberán reemplazar todas la capas de refrentado con bolsas de vapor o vacíos mayores de 6 mm (¼") (nota 14). Para asegurar que la capa se adhiere a la superficie del cilindro, se debe asegurar que la base del cilindro no se encuentre aceitada o engrasada. Cuando se emplee un dispositivo vertical, se vierte el mortero sobre la superficie de la placa para refrentado, se levanta el cilindro sobre la placa y se ponen en contacto los lados del cilindro con las guías; y se desliza el cilindro hacia abajo sobre la placa de refrentado mientras se mantiene en contacto constante con las guías de alineación. La base del cilindro debe continuar reposando sobre la placa de refrentado, con sus lados en contacto positivo con las guías de alineación hasta que el mortero haya endurecido. Se debe emplear suficiente material para que la base del cilindro quede totalmente cubierta luego de que el mortero se solidifique.

Nota 14: La capa de mortero de azufre se debe examinar luego del ensayo, para establecer si contiene aire o bolsas de vapor. Antes del ensayo, la capa de refrentado se deberá golpear con una moneda o frotar con un elemento metálico liviano para detectar cualquier sonido hueco. Todas las capas con áreas ahuecadas se deberán remover y volver a conformar.

5.2.4.1 *Precaución* – Durante el refrentado se puede producir sulfuro de hidrógeno, si el mortero de azufre se contamina con materiales orgánicos como parafina o aceite. Este gas es incoloro y tiene un mal olor característico de huevo podrido; sin embargo, no se debe confiar en el olor como signo de alerta, por cuanto la sensibilidad al olor desaparece rápidamente con la exposición. Las concentraciones elevadas del gas son letales y las bajas producen náuseas, malestar estomacal, mareos, dolor de cabeza o irritación de los ojos. Por esta y otras razones, el crisol se debe colocar bajo una campana con un extractor de aire, en una zona bien ventilada.

5.2.5 *Verificaciones diarias:*

5.2.5.1 Durante las operaciones diarias de refrentado se debe verificar la planitud de las capas de refrentado antes de efectuar los ensayos de compresión sobre, al menos, tres especímenes escogidos al azar, que representen el inicio, la mitad y el final del juego de especímenes ensayados. Las superficies de las capas de refrentado no deberán apartarse de un plano en más de 0.05 mm (0.002"). Así mismo, se deberán verificar las áreas con vacíos (nota 14). Los resultados de estas determinaciones se deberán anotar en los documentos de control de calidad del laboratorio. Siempre que las capas de refrentado fallen en el cumplimiento de estos requisitos, se deberán remover y volver a aplicar.

5.2.5.2 Durante las determinaciones diarias de la resistencia a la compresión se deberá verificar el espesor de las capas de refrentado al menos sobre tres especímenes escogidos al azar, que representen el inicio, la mitad y el final de la operación de la jornada. Luego de completados los ensayos de compresión, se deberán recuperar al menos seis piezas del material del refrentado de la base superior de cada espécimen seleccionado (nota 15). Las piezas se deberán escoger aleatoriamente y estar distribuidas sobre toda el área de la capa. Las piezas elegidas se deberán desprender

totalmente del concreto. Se mide su espesor con aproximación a 0.2 mm (0.01"), usando un micrómetro, un calibrador u otro dispositivo apropiado para medir espesores. Se comparan los espesores promedio y máximo con los indicados en la Tabla 403 - 1. Se anotan todos los valores en la documentación de control de calidad del laboratorio.

Nota 15: Las capas de refrentado se remueven usando un martillo y un cincel afilado. La punta del cincel se coloca en la línea de unión en posición aproximadamente paralela al plano de la capa, de manera de crear una acción de cuña al golpear el cincel con el martillo. La recuperación de la totalidad de la capa se puede simplificar colocando cinta adhesiva para tubos sobre la capa de refrentado antes de intentar su remoción. La cinta evita que las piezas se dispersen durante la remoción y simplifica la selección de piezas uniformemente distribuidas sobre el área de la capa.

6 PROTECCIÓN DE LOS ESPECÍMENES DESPUÉS DEL REFRENTADO

- 6.1** Los especímenes que han sido curados en húmedo se deben mantener en condición húmeda entre el instante del refrentado y el momento del ensayo, retornándolos al almacenamiento húmedo o envolviéndolos con una doble capa de arpillera húmeda. Los especímenes refrentados con pasta de yeso de alta resistencia no se deben almacenar sumergidos en agua o por más de 4 horas en una cámara húmeda. Las capas de pasta de yeso se deberán proteger contra el goteo de agua.
- 6.2** Se debe permitir que el material de refrentado alcance la suficiente resistencia, de acuerdo con los requisitos del numeral 4.1, antes de someter a ensayo los especímenes de concreto.

7 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 617/C617M – 11

ASENTAMIENTO DEL CONCRETO DE CEMENTO HIDRÁULICO (SLUMP)

INV E – 404 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación del asentamiento del concreto de cemento hidráulico, tanto en las obras como en el laboratorio.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-404-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Una mezcla de concreto fresco se coloca y consolida por varillado en un molde tronco-cónico. Al levantar el molde, el cono de concreto se desploma. Se mide la distancia vertical entre las posiciones inicial y final de la superficie superior del concreto en su parte central. Este valor se denomina asentamiento (slump).

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Este método de ensayo tiene como finalidad suministrar al usuario un procedimiento para determinar el asentamiento de concretos hidráulicos plásticos.

Nota 1: El método se desarrolló originalmente para controlar la consistencia del concreto fresco. Bajo condiciones de laboratorio y con un estricto control de todos los ingredientes del concreto, se ha establecido que el asentamiento se incrementa proporcionalmente con el contenido de agua de una mezcla determinada y que dicho aumento se refleja en una disminución de la resistencia del concreto. Sin embargo, esta relación no se ha demostrado en forma clara y consistente bajo condiciones de obra. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado al correlacionar los resultados del asentamiento obtenidos en la obra con la resistencia.

- 3.2** Este ensayo no es aplicable cuando el concreto contiene una cantidad apreciable de agregado grueso de tamaño mayor a 37.5 mm (1½") o cuando el concreto no es plástico o cohesivo. Si el agregado grueso es superior a 37.5 mm (1½"), el concreto se deberá tamizar por el tamiz de este tamaño de acuerdo con la norma INV E-401, y la prueba se realizará sobre la porción que lo pasa.

Nota 2: Los concretos que presenten asentamientos menores a 15mm (½") pueden no ser lo suficientemente plásticos, y los concretos que presenten asentamientos mayores a 230mm (9") pueden no ser suficientemente cohesivos para que este ensayo tenga significado. Se debe tener cuidado al interpretar estos resultados.

4 EQUIPO

4.1 Molde – Debe ser metálico, inatacable por el concreto, con espesor de lámina no inferior a 1.5 mm (0.060") y si ha sido conformado en un torno, en ningún punto podrá tener un espesor menor de 1.15 mm (0.045"). El molde debe tener la forma interior de la superficie lateral de un tronco de cono de 200 mm (8") de diámetro en la base mayor, 100 mm (4") de diámetro en la base menor y 300 mm (12") de altura. Las bases deben ser abiertas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cono. El molde debe estar provisto de agarraderas y de estribos para sujetarlo con los pies, como se indica en la Figura 404 - 1. El molde debe estar construido sin costuras y su interior debe estar libre de hendiduras, deformaciones o mortero adherido. En lugar del molde descrito se permite el uso de uno sujetado con abrazaderas a una base no-absorbente, siempre que éstas se puedan liberar sin mover el molde y que la base tenga el área suficiente para contener todo el concreto asentado en un ensayo aceptable.

4.1.1 En el momento de su adquisición, y luego con una frecuencia anual, se deberá verificar la conformidad del molde con las dimensiones especificadas.

4.1.2 *Moldes fabricados con materiales alternativos:*

4.1.2.1 Se admite el empleo de moldes no metálicos, si presentan la forma, altura y dimensiones internas mencionadas en el numeral 4.1. Además, deberán poseer la rigidez suficiente para mantener las dimensiones especificadas y sus tolerancias durante su período de uso, resistir fuerzas de impacto y no ser absorbentes. Así mismo, deberán demostrar que los resultados obtenidos con ellos son comparables a los obtenidos con los moldes metálicos especificados en el numeral 4.1. Las pruebas de comparación se deberán adelantar en un laboratorio independiente a pedido del fabricante y consistirán en no menos de 10 pares consecutivos de comparaciones realizadas sobre concretos con 3 asentamientos diferentes en el rango de 50 a 200 mm (2 a 8") (nota 3). Ningún resultado de ensayo individual podrá

diferir del obtenido con el molde metálico en más de 15 mm ($\frac{1}{2}$ "). El promedio de los resultados de los ensayos para cada rango de asentamiento, obtenido con el molde construido con el material alternativo, no deberá variar en más de 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") del obtenido al emplear los moldes metálicos. Los datos de los ensayos comparación ordenados por el fabricante deberán ser puestos a la orden de los usuarios y de las autoridades de control del laboratorio (nota 4). Si se producen cambios en el material o en el método de manufactura, se deberán realizar nuevos ensayos de comparación.

Nota 3: El término "pares consecutivos de comparaciones" no significa que sea sin interrupción o en el mismo día. En cumplimiento de un programa establecido por el laboratorio de ensayo, los pares de ensayos que conducen a los 10 pares consecutivos se pueden llevar a cabo en grupos pequeños. Lo que se pretende con la inclusión de la palabra "consecutivos" es que se ignoren pares de ensayos que puedan incumplir el criterio.

Nota 4: Debido a que el asentamiento del concreto disminuye con el tiempo y con las altas temperaturas, será ventajoso para los ensayos de comparación realizarlos de manera alterna en los conos metálicos y en los del otro material, utilizando varios operarios, con el fin de minimizar el tiempo entre los ensayos.

4.1.2.2 Si la condición de algún molde hace sospechar que se encuentra fuera de tolerancia en relación con la condición de su fabricación, se deberá realizar un ensayo comparativo. Si los resultados del ensayos difieren en más de 15 mm ($\frac{1}{2}$ ") del obtenido con el molde metálico, el molde se deberá retirar de servicio.

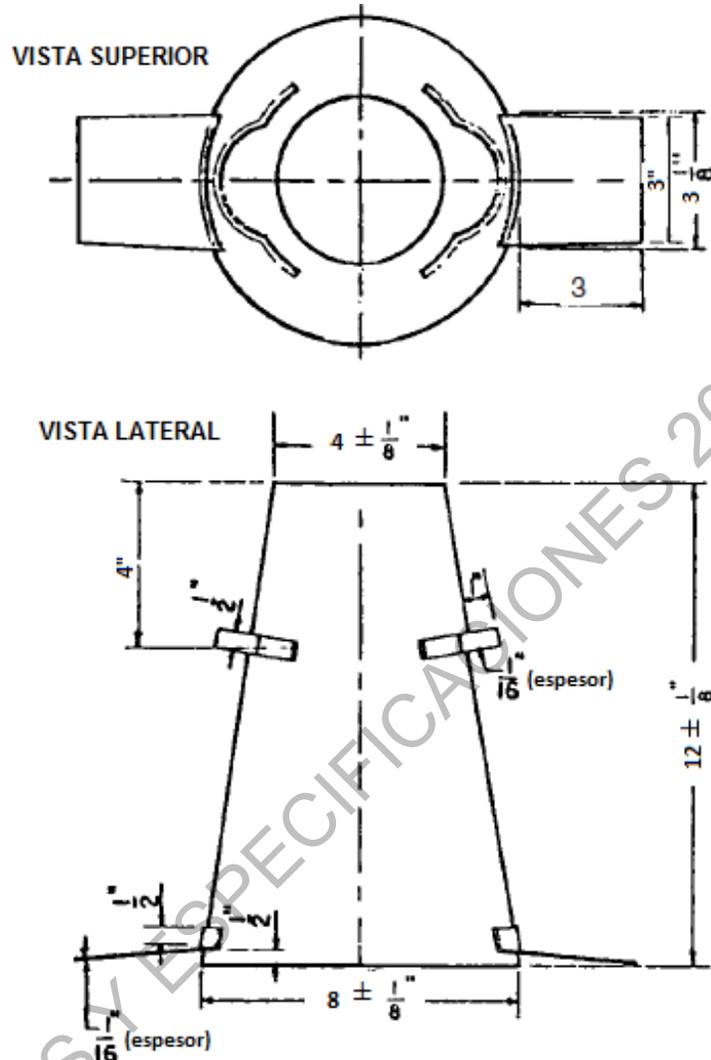
4.2 *Varilla apisonadora* – Debe ser de acero, lisa, recta, cilíndrica, de 16 ± 2 mm ($5/8 \pm 1/16$ ") de diámetro. Su longitud debe ser al menos 100 mm (4") mayor que la altura del molde, pero no mayor de 600 mm (24") (nota 5). El extremo de apisonar o ambos extremos de la varilla deben ser hemisféricos con un radio de 8 mm ($5/16$ ").

Nota 5: 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.

4.3 *Dispositivo de medición* – Regla, flexómetro metálico u otro instrumento de medida rígido o semirrígido, con graduaciones cada 5 mm ($\frac{1}{4}$ ") o menores. El dispositivo deberá tener una longitud mínima de 300 mm (12").

4.4 *Cucharón* – Del tamaño necesario 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 (Figura 404 - 2).



Equivalencias aplicables

pulgadas	1/16	1/8	1/2	1	3	3 1/8	4	8	12
mm	[2]	[3]	[15]	[25]	[75]	[80]	[100]	[200]	[300]

Figura 404 - 1. Molde para determinar el asentamiento

5 MUESTRA

- 5.1 La muestra que se utilice en el ensayo debe ser representativa de la amasada total de concreto. Dicha muestra se deberá obtener de acuerdo con la norma INV E-401.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Se humedece el molde y se coloca sobre una superficie horizontal rígida, plana, húmeda, no absorbente y libre de vibraciones, de tamaño suficiente para contener todo el concreto que se asiente. Se sujeta el molde firmemente en su lugar con los pies o con el dispositivo de abrazaderas (Ver numeral 4.1) y, empleando el cucharón descrito en el numeral 4.4, se llena con la muestra de concreto en tres capas (Figura 404 - 2), cada una de ellas de aproximadamente un tercio del volumen del molde (nota 6). El cucharón se deberá mover alrededor de la abertura superior del molde para asegurar una distribución uniforme del concreto con una segregación mínima.

Nota 6: Un tercio del volumen del molde corresponde, aproximadamente, a una altura de 70 mm (2 5/8"); dos tercios del volumen corresponden a una altura de 160 mm (6 1/8").



Figura 404 - 2. Colocación del concreto en el molde con el cucharón

- 6.2** Cada capa se apisona con 25 golpes del extremo hemisférico de la varilla, distribuidos uniformemente sobre su sección transversal (Figura 404 - 3). Para la capa del fondo es necesario inclinar ligeramente la varilla, dando aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro y avanzando con golpes verticales en forma de espiral, hacia el centro. La capa del fondo se debe apisonar en todo su espesor, mientras que para las capas intermedia y superior se debe permitir que la varilla penetre en la capa inmediatamente inferior unos 25 mm (1").



Figura 404 - 3. Apisonado de una capa con la varilla

- 6.3** Al llenar la capa superior, se debe apilar concreto sobre el molde antes de apisonar. Si al golpear con la varilla, el concreto se asienta por debajo del borde superior, se debe agregar más concreto para que en todo momento haya concreto sobre el molde. Después de que la última capa ha sido varillada, se empareja la superficie del concreto con un movimiento de alisado y rodamiento de la varilla sobre el borde superior del molde (Figura 404 - 4). Manteniendo aún el molde con firmeza, se remueve el concreto del área que rodea la base del cono, para prevenir interferencia con el proceso de asentamiento. En seguida, se retira el molde levantándolo cuidadosamente en dirección vertical (Figura 404 - 5). Esta operación se debe realizar en una distancia de 300 mm (12") en un tiempo aproximado de 5 ± 2 segundos, mediante un movimiento ascendente uniforme, sin impartir movimiento lateral o de torsión al concreto. La operación completa, desde que se comienza a llenar el molde hasta que se retira, se debe hacer sin interrupción en un tiempo máximo de 2 minutos y 30 segundos.



Figura 404 - 4. Enrase con la varilla



Figura 404 - 5. Remoción del molde

- 6.4** Inmediatamente después se mide el asentamiento, determinando la diferencia entre la altura del molde y la altura, medida sobre el centro original desplazado, de la superficie superior del espécimen (nota 7). Si ocurre un desplome pronunciado o desprendimiento del concreto hacia un lado del espécimen (nota 8), se descarta el ensayo y se realiza uno nuevo sobre otra porción de la muestra.

Nota 7: Para proporcionar un mejor apoyo al elemento que se va a utilizar como referencia para medir el asentamiento, el molde se podrá colocar en posición invertida (Figura 404 - 6)

Nota 8: Si dos ensayos consecutivos sobre una muestra de concreto presentan un desplome pronunciado o desprendimiento, es posible que el concreto carezca de la plasticidad y la cohesión necesarias para que el ensayo de asentamiento sea aplicable.



Figura 404 - 6. Medida del asentamiento (Fuente: www.engineeringcivil.com)

7 INFORME

- 7.1 Se debe informar el asentamiento del espécimen en milímetros (pulgadas), con aproximación a 5 mm (¼").

8 PRECISIÓN Y SESGO

- 8.1 *Precisión* – Las estimaciones de precisión para este método de ensayo se basan en resultados de pruebas realizadas en Fayetteville, Arkansas, por 15 técnicos provenientes de 14 laboratorios de 3 estados norteamericanos. Los ensayos, sobre 3 rangos diferentes de asentamiento entre 25 y 160 mm (1.0 a 6.0"), se realizaron usando una carga de un camión mezclador. La carga fue remitida con un asentamiento bajo, y se realizaron adiciones de agua en la mezcla remanente para producir de manera independiente concretos con moderado y elevado asentamiento. El concreto fue elaborado con caliza triturada, arena lavada de río y 297 kg/m³ (500 lb/yd³) de material cementante, divididos en partes iguales entre cementos de los tipos I y II y de clase C con ceniza volante. Se empleó una dosificación doble de retardante químico, con el fin prevenir pérdidas de asentamiento y mantener la trabajabilidad del concreto. Durante las pruebas, la temperatura del concreto se mantuvo entre 30 y 34° C (86 a 93° F). Las pérdidas de asentamiento promediaron 17 mm (0.68") durante los 20 minutos requeridos para realizar una serie de 6 ensayos en un rango de asentamiento determinado. Las pruebas se realizaron alternando el uso de moldes metálicos y plásticos, determinándose que producían resultados comparables; por lo tanto, los datos sobre precisión aplican a ambos tipos de moldes. En total, se realizaron 270 ensayos de asentamiento.

- 8.1.1 *Precisión de un solo operador* – La desviación estándar representada por 1(s) se presenta en la Tabla 404 - 1, discriminada por valores promedio de asentamiento. Los resultados reportados para las lecturas de las réplicas, aplican a ensayos conducidos por el mismo operador realizando ensayos consecutivos, uno inmediatamente después del otro. Los resultados aceptables de dos ensayos adecuadamente realizados por el mismo operador sobre el mismo material (nota 9) no deben diferir entre sí en más del valor (d2s) de la última columna de la Tabla 404 - 1, para cada rango de asentamiento.

- 8.1.2 *Precisión multilaboratorio* – La desviación estándar representada por 1(s) se presenta en la Tabla 404 - 1 discriminada por valores promedio

de asentamiento. Los resultados reportados para las lecturas de las réplicas, aplican a ensayos conducidos por diferentes operarios provenientes de distintos laboratorios, realizando ensayos con menos de 4 minutos de diferencia. Por lo tanto, los resultados aceptables de dos ensayos adecuadamente realizados por dos laboratorios sobre el mismo material (nota 9) no deberán diferir, uno de otro, en más del valor (d2s) de la última columna de la Tabla 404 - 1, para cada rango de asentamiento.

Nota 9: El término "mismo material", significa mezcla fresca de concreto proveniente de la misma amasada.

Tabla 404 - 1. Estimaciones de precisión

ASENTAMIENTO Y TIPO DE ÍNDICE	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)		RANGO ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS (d2s)	
	(pg.)	(mm)	(pg.)	(mm)
<i>Precisión de un solo operador:</i>				
Asentamiento de 1.2" (30 mm)	0.23	6	0.65	17
Asentamiento de 3.4" (85 mm)	0.38	9	1.07	25
Asentamiento de 6.5" (160 mm)	0.40	10	1.13	28
<i>Precisión de multi-laboratorio:</i>				
Asentamiento de 1.2" (30 mm)	0.29	7	0.82	20
Asentamiento de 3.4" (85 mm)	0.39	10	1.10	28
Asentamiento de 6.5" (160 mm)	0.53	13	1.50	37

8.2 Sesgo – Este método de ensayo no tiene sesgo, por cuanto el asentamiento se define sólo en términos de este método de ensayo.

9 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C143/ C143M – 10a

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

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 pie^3 ;
- M : Masa total de todos los materiales de la bachada, kg o lb (nota 3);
- V_m : Volumen del recipiente de medida, m^3 o pie^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 pies³) 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 pies³).
- 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:

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

- 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:

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

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

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

O

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

O

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

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

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

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

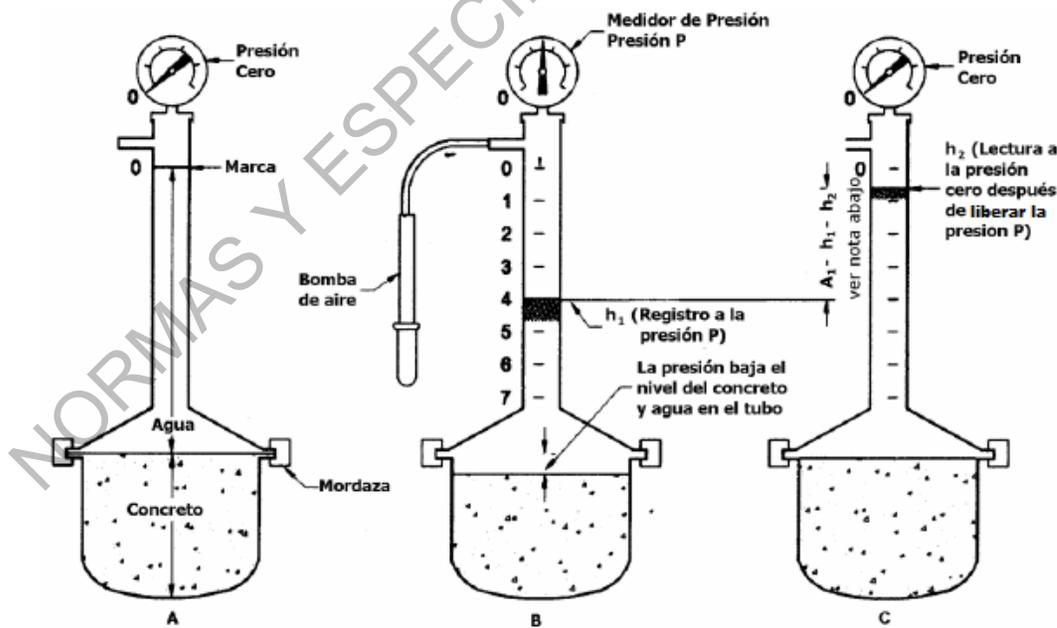
- 2.1** Este método de ensayo cubre la determinación del contenido de aire de una mezcla fresca de concreto. Mediante el ensayo se determina exclusivamente el aire que puede existir en los vacíos existentes entre las partículas del agregado. Por esta razón, es aplicable a concretos hechos con agregados 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.

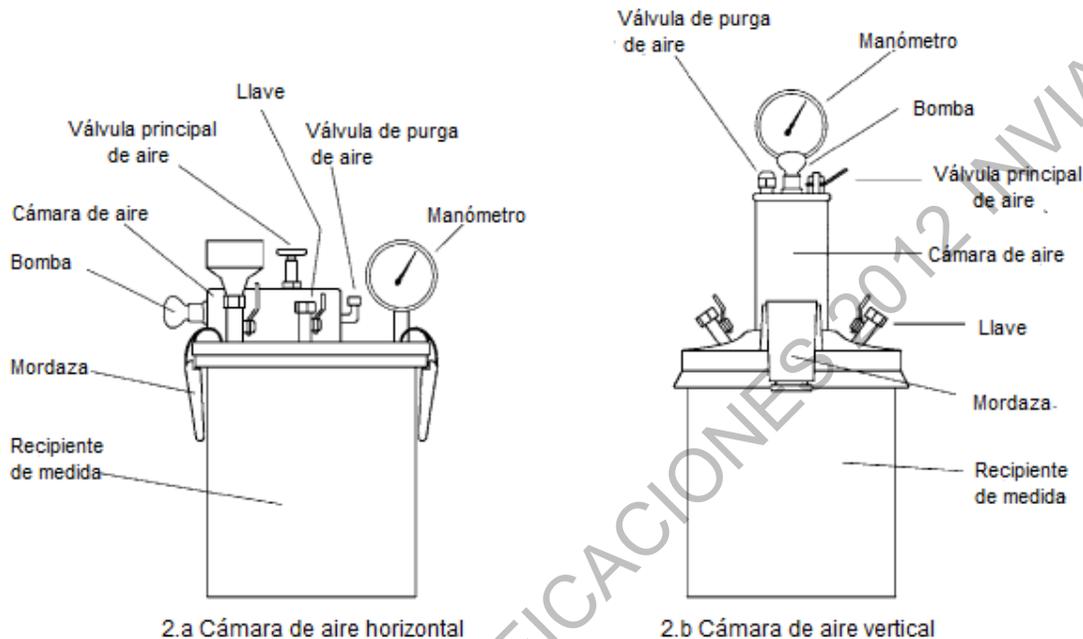


Figura 406 - 2. Medidor Tipo B

- 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 aspersion* – 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 prerrequisitos 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 atravesase 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, h₁, 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, h₂, a la división o media división más cercana (Ver Figura 406 - 1C) y se calcula el contenido aparente de aire (A₁), con la expresión:

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

Donde: h₁: Lectura del nivel de agua a la presión P (nota 9);

h₂: 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 (1 ½"), 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	_____	} V _m } V _c
Agua	_____	
Agregado fino	_____	
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 ± 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.

EXUDACIÓN DEL CONCRETO

INV E – 407 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación de la cantidad relativa de agua que exuda una muestra fresca de concreto. Se presentan dos métodos de ensayo, los cuales difieren primordialmente en el grado de vibración al cual se somete la muestra de concreto.
- 1.2** No es de esperar que los dos métodos conduzcan al mismo resultado cuando se ensaya una muestra de concreto de la misma amasada. Cuando se van a comparar varios concretos, todos los ensayos se deberán realizar aplicando el mismo método, y si las amasadas son de peso unitario similar, las masas de las muestras no deberán diferir en más de 1 kg (2 lb).
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E-407-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Exudación* – Acumulación progresiva de agua en la superficie de la mezcla.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Este método de ensayo brinda procedimientos para determinar el efecto que tienen sobre la exudación del concreto las variables de composición, tratamiento, ambiente y otros factores. Se puede emplear, también, para determinar la conformidad de un producto o tratamiento con un requisito relacionado con su efecto sobre la exudación del concreto.
- 3.2** Los métodos de ensayo se clasifican como sigue:
- 3.2.1** *Método A* – Para una muestra consolidada únicamente por apisonado y ensayada sin ninguna alteración posterior, simulando así las condiciones en las cuales el concreto, luego de su colocación, no está sometido a vibración intermitente.

- 3.2.2 Método B** – Para una muestra consolidada por vibración y ensayada con períodos intermitentes de vibración adicionales, simulando así las condiciones en las cuales el concreto, luego de su colocación, está sometido a vibración intermitente.

MÉTODO A – MUESTRA CONSOLIDADA POR APISONADO

4 EQUIPO

- 4.1 Recipiente cilíndrico** – De aproximadamente 14 litros ($1/2 \text{ pie}^3$) de capacidad, con diámetro interior de $255 \pm 5 \text{ mm}$ ($10 \pm 1/4''$) y altura interior de $280 \pm 5 \text{ mm}$ ($11 \pm 1/4''$). El recipiente debe ser metálico, de calibre comprendido entre 2.67 y 3.40 mm (0.105 a 0.134"), y debe estar reforzado externamente alrededor de la parte superior con una banda metálica del mismo calibre y de 40 mm ($1\frac{1}{2}''$) de ancho. El interior debe ser liso y libre de corrosión, recubrimientos o lubricantes.
- 4.2 Báscula** – De suficiente capacidad para determinar la masa requerida con una exactitud de 0.5 %. Las balanzas o básculas se deben calibrar al menos una vez al año o siempre que haya motivo para dudar de su exactitud.
- 4.3 Pipeta** – U otro instrumento similar, para extraer el agua libre de la superficie de la muestra de ensayo.
- 4.4 Vaso graduado** – De 100 ml de capacidad, para recolectar y medir la cantidad de agua retirada.
- 4.5 Varilla para apisonar** – Debe ser de acero, lisa, recta, cilíndrica, de $16 \pm 2 \text{ mm}$ ($5/8 \pm 1/16''$) de diámetro y de longitud aproximada de 600 mm (24"). Uno o ambos extremos de la varilla deben ser hemisféricos, con un radio de 8 mm ($5/16''$).
- 4.6** Los aparatos mencionados en los numerales 4.7 a 4.9 se requieren si el procedimiento de medida de la cantidad de agua exudada involucra pesaje, evaporación y nuevo pesaje.
- 4.7 Recipiente metálico** – De 1000 ml, para recolectar el agua exudada y los sedimentos.
- 4.8 Balanza**– Con sensibilidad de 1 gramo, para determinar la masa de agua exudada y los sedimentos.

- 4.9** *Placa calentadora* – Pequeña, o cualquier otra fuente de calor, para evaporar el agua exudada.

5 MUESTRA DE ENSAYO

- 5.1** La preparación de muestras de concreto de laboratorio se debe hacer conforme con la norma INV E-402. Para el concreto elaborado en la obra, las muestras se toman de acuerdo con la norma INV E-401. Los aparatos descritos en esta norma se pueden usar para muestras de concreto que contengan cualquier tamaño de agregados, hasta de 50 mm (2") de tamaño máximo nominal. El concreto que contenga agregados de tamaño nominal superior al indicado, debe ser tamizado en húmedo por un tamiz de 37.5 mm (1½") y el ensayo se realiza sobre una porción de la muestra que pasa ese tamiz.
- 5.2** Se llena el recipiente con el concreto, de acuerdo con la norma INV E-405, excepto que el recipiente debe ser llenado hasta una altura de 254 ± 3 mm ($10 \pm 1/8$ "). Se nivela la superficie superior de la muestra de concreto mediante acción de allanado, hasta lograr una superficie razonablemente lisa.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Durante el ensayo, se mantiene la temperatura ambiente entre 18 y 24° C (65 y 75° F). Inmediatamente después de allanar la superficie de la muestra, se anota el tiempo y se determina la masa del recipiente con su contenido. Se colocan la muestra y el recipiente sobre una plataforma o en un piso a nivel libre de vibración, y se cubre el recipiente con un material no absorbente para prevenir la evaporación del agua exudada. Se mantiene la cubierta sobre la muestra durante todo el ensayo, excepto para extraer el agua. Se extrae el agua acumulada en la superficie (con la pipeta o un instrumento similar) a intervalos de 10 minutos durante los primeros 40 minutos contados a partir del alisado de la muestra, pasados los cuales se extrae el agua cada 30 minutos, hasta que cese la exudación, anotando el tiempo de la última extracción. Para facilitar la recolección del agua exudada, se inclina la muestra con cuidado 2 minutos antes de cada extracción de agua, poniendo un bloque de aproximadamente 50 mm (2") de espesor bajo un lado del recipiente. Luego de retirar el agua, se devuelve el recipiente a la posición original sin agitarlo. Después de cada recolección, se transfiere el agua al cilindro graduado de 100 ml y se anota la cantidad acumulada de agua después de cada transferencia. Cuando solo se desee determinar el volumen total de

exudación, se puede omitir el proceso de remoción periódica y se extrae la totalidad del agua exudada en una sola operación. Si se desea determinar la masa del agua exudada y excluir el material presente diferente del agua, se decanta cuidadosamente el contenido del cilindro en un recipiente metálico. Se determina y anota la masa del recipiente con su contenido y se llevan a un horno para evaporar el agua, después de lo cual se determina nuevamente la masa del recipiente con su contenido. La diferencia entre las dos masas, D, será la masa del agua exudada. Si se desea, también se puede obtener la masa del sedimento, determinando inicialmente la tara del recipiente metálico.

7 CÁLCULOS

7.1 El volumen de agua exudada por unidad de superficie se calcula como sigue:

$$V = \frac{V_1}{A} \quad [407.1]$$

Donde: V_1 : Volumen del agua exudada, medida durante el intervalo de tiempo seleccionado, ml;

A: Área expuesta del concreto, cm^2 .

7.1.1 Se puede determinar la velocidad comparativa de exudación, a medida que el ensayo progresa, comparando el volumen de agua exudada para cada intervalo de tiempo igual.

7.2 El agua exudada acumulada, expresada como un porcentaje de la cantidad neta de agua contenida en la mezcla, se calcula como sigue:

$$C = \frac{w}{W} \times S \quad [407.2]$$

$$\text{Exudación (\%)} = \frac{D}{C} \times 100 \quad [407.3]$$

Donde: C: Masa de agua en la muestra de ensayo, g;

W: Masa total de la amasada, kg;

- w: Agua neta de mezclado (cantidad de agua total menos la cantidad de agua absorbida por los agregados), kg;
- S: Masa de la muestra, g;
- D: Masa del agua exudada, g, o volumen total del agua extraída de la muestra ensayada (en cm^3) multiplicado por 1 g/cm^3 .

MÉTODO B – MUESTRA CONSOLIDADA POR VIBRACIÓN

8 EQUIPO

- 8.1** *Plataforma vibratoria* – Se debe tener una plataforma sobre la cual se monta el recipiente lleno. La plataforma debe estar equipada con un dispositivo adecuado para impartir períodos intermitentes de vibración de duración, frecuencia y amplitud reproducibles de acuerdo a la Sección 9 (ver Figura 407 - 1). Se puede obtener una vibración apropiada si se une a la plataforma un motor eléctrico de 93-W (1/8 HP), al cual se adiciona en su eje una excéntrica de 110 g (0.24 lb), fijada mediante un tornillo de retención. La excéntrica debe ser fabricada a partir de un bloque laminado en frío de acuerdo con los detalles y dimensiones mostrados en la Figura 407 - 2. La abertura que atraviesa la excéntrica es de 13.5 mm (17/32") o una medida apropiada que se acomode al eje del motor. La plataforma debe descansar sobre soportes de caucho que reposan sobre una losa de concreto. La losa se debe separar del piso a través de una capa de corcho, como se muestra en la Figura 407 - 2.

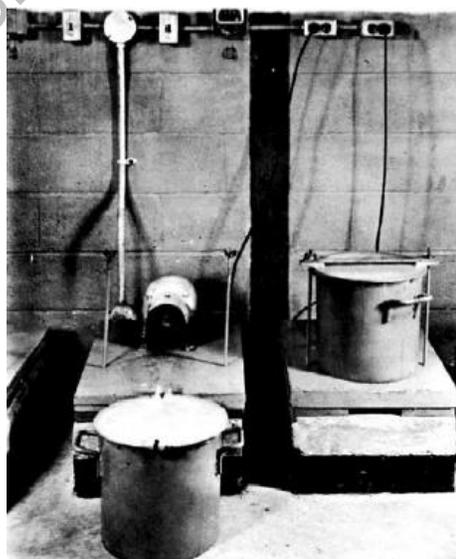


Figura 407 - 1. Plataforma vibratoria y dispositivo de control de tiempo

- 8.2** *Dispositivo de control de tiempo* – Dispositivo registrador, mediante el cual se puedan regular los períodos de vibración dados a la plataforma y a la muestra de acuerdo con las provisiones de la Sección 9.
- 8.3** *Recipiente* – El recipiente para efectuar el ensayo debe ser de acero, de 290 mm (11 ½") de diámetro en la parte superior, 280 mm (11") de diámetro en el fondo y 285 mm (11 1/8") de altura. Debe tener tapa metálica. El recipiente y la tapa deben cumplir con los detalles dados en la Figura 407 - 3.

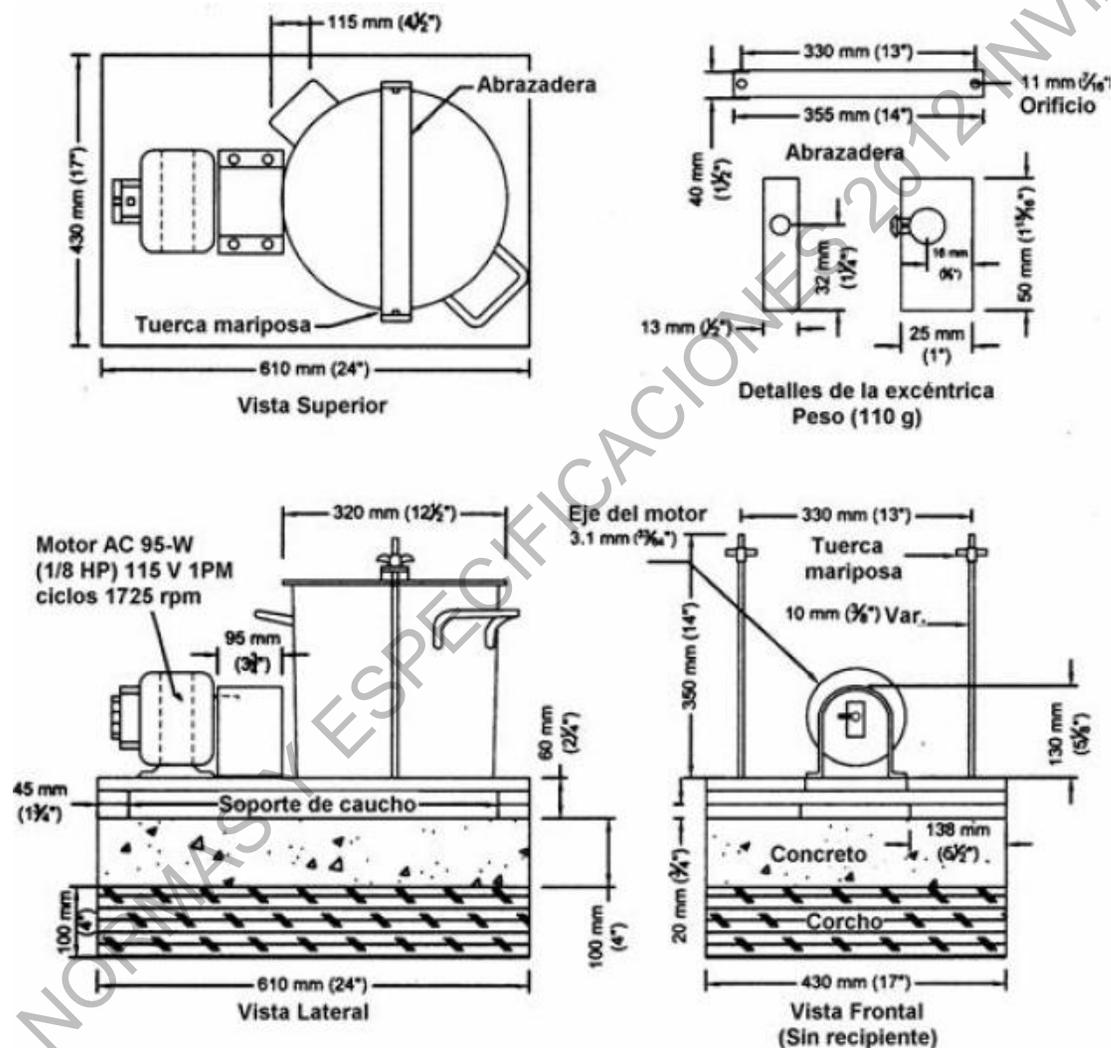


Figura 407 - 2. Detalles de la plataforma vibratoria

- 8.4** Los dispositivos restantes serán los mismos enunciados para el método A.

9 CICLO VIBRATORIO

- 9.1 Debe ser de la siguiente manera: Se acciona el motor durante 3 segundos y se desconecta durante 30 segundos. Sin embargo, debido a la inercia del motor luego de que es apagado, el periodo de vibración es, aproximadamente, de 7 segundos.

10 MUESTRA DE ENSAYO

- 10.1 La muestra se prepara de la misma manera descrita para el método A.
- 10.2 Se coloca la muestra en el recipiente hasta una profundidad aproximadamente igual a la mitad del diámetro promedio del recipiente. El tamaño de la muestra se regula mejor por masa; una muestra adecuada para este ensayo, empleando los aparatos especificados en esta norma, debe tener una masa de 20 ± 0.5 kg (45 ± 1 lb).

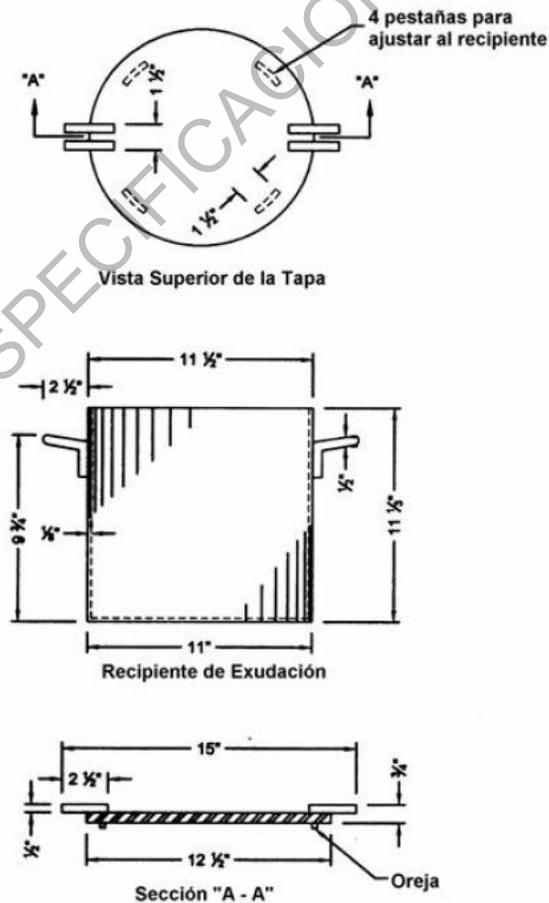


Figura 407 - 3. Recipiente y tapa

11 PROCEDIMIENTO

- 11.1 Consolidación de la muestra de ensayo** – Se consolida la muestra en el recipiente mediante vibración, solo durante el tiempo necesario para lograr el grado deseado de compactación. Se considera que la vibración aplicada ha sido suficiente, cuando la superficie del concreto presenta una apariencia relativamente lisa. El proceso de consolidación se detiene inmediatamente después de la primera aparición de agua libre, indicada por el desarrollo de un brillo en la superficie de la muestra. Para algunas muestras muy fluidas o plásticas, no se necesita un esfuerzo de consolidación distinto del producido al colocar la muestra en el recipiente y manejarlo durante las operaciones de determinación de la masa y de colocación en la plataforma de ensayo.
- 11.2 Vibración intermitente** – Se tapa el recipiente y se coloca en la plataforma vibratoria, asegurándolo firmemente. Al conectar el motor se anota el tiempo y se continúa la vibración intermitente durante una hora.
- 11.3 Determinación del agua exudada** – Los períodos intermitentes de vibración no permiten determinar la cantidad de agua exudada a diferentes intervalos de tiempo. El volumen total de agua exudada se determina como se describe en el Método A.

12 CÁLCULOS

- 12.1** El porcentaje de agua exudada se calcula de la misma manera que el Método A.

13 INFORME

- 13.1** Se debe presentar la siguiente información:
- 13.1.1** Dosificación de la mezcla.
 - 13.1.2** Procedencia e identificación de cada material empleado.
 - 13.1.3** Método empleado (A o B).
 - 13.1.4** Volumen de agua exudada por unidad de superficie y volumen acumulado de agua exudada, expresado como porcentaje del agua neta de mezclado contenida en el espécimen de ensayo.

13.1.5 Tiempo requerido para que cese la exudación.

14 PRECISIÓN Y SESGO

14.1 *Precisión:*

14.1.1 *Método A* – No hay datos disponibles para evaluar directamente la precisión del Método A. Sin embargo, hay motivos para pensar que la precisión para este método es, al menos, tan buena como la del Método B. Los valores dados para el Método B se deberán usar como límites máximos de precisión para el Método A.

14.1.2 *Método B* – Se ha encontrado que la desviación estándar (1s) de un solo operador ensayando amasadas múltiples en una jornada es 0.71 %, para un rango de exudación comprendido entre 0 y 10 %; 1.06 % para un rango de exudación comprendido entre 10 y 20 % y 1.77 % para más de 20 % de exudación. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente efectuados por un mismo operario en un mismo día, obtenidos de diferentes amasadas del mismo concreto, no deben diferir en más de 2 % (d2s) para un intervalo de exudación de 0 a 10%; en más de 3 % para un intervalo de exudación de 10 a 20 %, ni en más de 5 % para una exudación mayor de 20 %.

14.2 *Sesgo* – Esos métodos de ensayo no tienen sesgo, debido a que los valores determinados se pueden definir, únicamente, en términos de ellos.

15 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C232/232C – 09

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

USO DE TAPAS NO ADHERIDAS EN LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO ENDURECIDO

INV E – 408 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta práctica cubre los requerimientos para un sistema de refrentado usando tapas no adheridas para ensayo de cilindros de concreto moldeados de acuerdo con las normas INV E-402 o INV E-420.
- 1.2** Las tapas no adheridas no se deben usar en ensayos de aceptación de concretos con resistencia a la compresión por debajo de 10 MPa (1500 lbf/pg²) o por encima de 80 MPa (12 000 lbf/pg²).
- 1.3** *Precaución* – Los cilindros de concreto refrentados con tapas no adheridas se rompen con mayor violencia que los refrentados con productos adheridos.

2 DEFINICIONES

- 2.1** Definición de términos específicos de esta norma:
- 2.1.1** *Almohadilla* – Una almohadilla elastomérica no adherida.
- 2.1.2** *Tapa no adherida* – Un retenedor metálico y una almohadilla elastomérica.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Esta práctica se refiere al uso de un sistema de refrentado no adherido para el ensayo de cilindros de concreto endurecido hechos de acuerdo con las INV E-402 o INV E-420, en lugar de los sistemas de refrentado descritos en la norma INV E-403.
- 3.2** Las almohadillas elastoméricas se deforman con la carga inicial conforme al contorno de los extremos del cilindro y están restringidas de una excesiva extensión lateral por placas y anillos metálicos utilizados para proporcionar

una distribución uniforme de la carga desde los bloques de carga de la máquina de ensayo hasta los extremos de los cilindros de concreto o de mortero.

4 MATERIALES Y EQUIPO

4.1 Materiales y equipo necesarios para producir bases de los cilindros de referencia de acuerdo con los requisitos de planitud de la norma INV E-410 y los requerimientos de la INV E-403. Esto puede incluir un equipo de fresado o materiales y equipo para producir una pasta de cemento limpia, un yeso de París de alta resistencia o tapas de mortero de azufre.

4.2 *Almohadillas elastoméricas:*

4.2.1 Las almohadillas deben tener un espesor de 13 ± 2 mm ($\frac{1}{2} \pm 1/16$ ") y su diámetro no deberá ser menor que el diámetro interno del anillo retenedor en más de 2 mm ($1/16$ ").

4.2.2 Las almohadillas deben ser de policloropreno (neopreno), reuniendo los requisitos de la clasificación ASTM D 2000, como sigue:

DUREZA SHORE A DURÓMETRO	CLASIFICACIÓN ASTM D 2000
50	M2BC514
60	M2BC614
70	M2BC714

4.2.2.1 La tolerancia en la Dureza A en el durómetro es ± 5 . La Tabla 408 - 1 proporciona requerimientos para el uso de tapas hechas con material que cumpla los requisitos de la Clasificación D 2000.

4.2.3 Se permiten otros materiales elastoméricos que reúnan los requisitos de comportamiento de los ensayos de calificación indicados en la Sección 7.

4.2.4 Las almohadillas elastoméricas deben ser suministradas con la siguiente información:

4.2.4.1 El nombre del fabricante o proveedor.

4.2.4.2 La dureza Shore A.**4.2.4.3** El rango aplicable de la resistencia a la compresión del concreto de la Tabla 408 - 1 o del ensayo de calificación.

Tabla 408 - 1. Requisitos para uso de almohadillas de neopreno

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ^A		DUREZA SHORE A DURÓMETRO	ENSAYOS DE CALIFICACIÓN REQUERIDOS	NÚMERO MÁXIMO DE REUTILIZACIONES ^B
(MPa)	(lbf/pg ²)			
< 10	< 1500		No se permite	
10 a 40	1500 – 6000	50	Ninguno	100
17 a 50	2500 – 7000	60	Ninguno	100
28 a 50	4000 – 7000	70	Ninguno	100
50 a 80	7000 – 12 000	70	Requeridos	50
> 80	> 12 000		No se permite	

^A La resistencia a la compresión del concreto a la edad del ensayo se debe especificar en los documentos del contrato. Para ensayos de aceptación, es la resistencia especificada f 'c.

^B El número máximo de usos debe ser menor si las almohadillas sufren desgaste, grietas o desgarros (Ver numeral 6.2)

4.2.5 El usuario deberá mantener un registro, indicando la fecha en que la almohadilla fue puesta en servicio, la dureza Shore A de la almohadilla y el número de usos al cual ha sido sometida.

4.3 Retenedores – Un par de aditamentos metálicos para brindar soporte y para alinear las almohadillas de neopreno con las bases de los cilindros (nota 1 y Figura 408 - 1). Cada retenedor (superior e inferior) incluye un anillo de retención soldado o manufacturado integralmente a una placa de base. La altura del anillo de retención debe ser 25 ± 3 mm (1.0 ± 0.1 "). El diámetro interno del anillo retenedor no deberá ser menor del 102 % ni mayor del 107 % del diámetro del cilindro. El espesor del anillo debe ser, al menos, 12 mm (0.47") para retenedores de 150 mm (6") de diámetro y de no menos de 9 mm (0.35") para retenedores de 100 mm (4") de diámetro. La superficie de la placa de base que hace contacto con el bloque de carga debe ser plana dentro de 0.05 mm (0.002"). El espesor de la placa de base debe ser, al menos, 12 mm (0.47") para retenedores de 150 mm (6") de diámetro y de no menos de 8 mm (0.30") para retenedores de 100 mm (4") de diámetro. Las superficies de carga de los retenedores no deberán tener muescas, surcos o salientes de más de 0.25 mm (0.010") de altura o que ocupen un área mayor de 32 mm² (0.05 pg²).

Nota 1 – Retenedores hechos de acero y de algunas aleaciones de aluminio han tenido buen comportamiento.

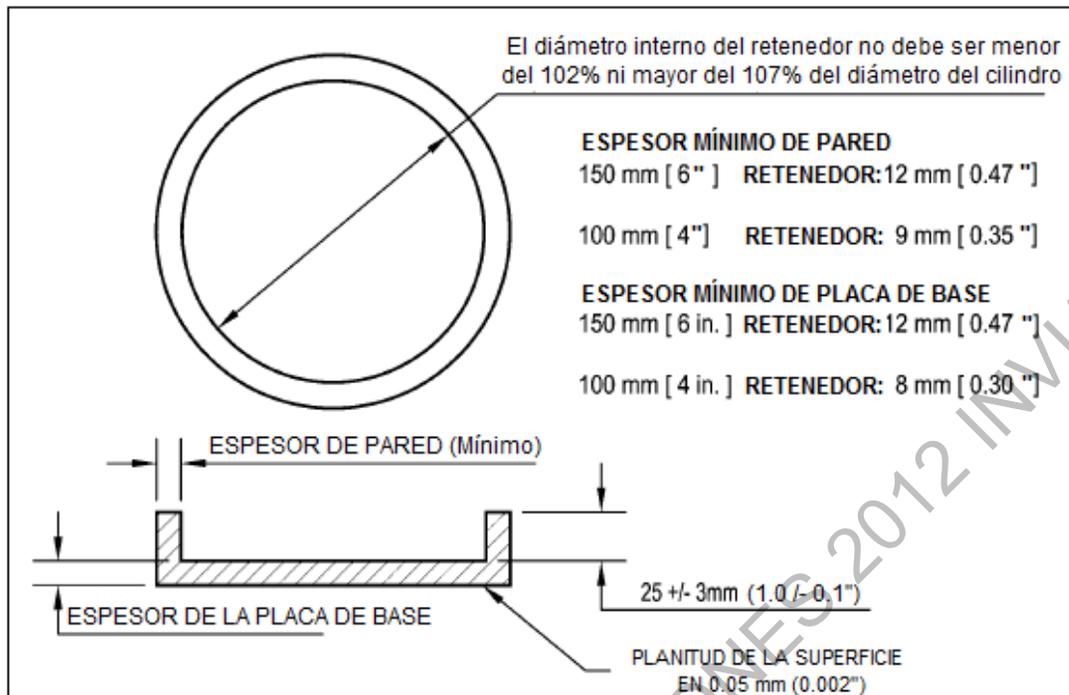


Figura 408 - 1. Ejemplo de anillo retenedor y de placa de base

5 ESPECÍMENES DE ENSAYO

- 5.1** Los especímenes serán cilindros de 150 × 300 mm (6 × 12") o de 100 × 200 mm (4 × 8") hechos de acuerdo con las normas INV E-402 o INV E-420. Ningún extremo de un cilindro podrá apartarse de la perpendicularidad al eje en más de 0.5° (equivalente aproximadamente a 3 mm en 300 mm (1/8" en 12")). Ningún diámetro individual de un cilindro puede diferir de otro en más de 2 %.

Nota 2 – Un método para medir la perpendicularidad de los extremos del cilindro consiste en colocar una escuadra de comprobación a través de cualquier diámetro y medir cuánto se aparta la hoja larga de un elemento de la superficie cilíndrica. Un método alternativo consiste en colocar la base del cilindro sobre una superficie plana y sostener la escuadra de comprobación sobre esa superficie.

- 5.2** Las depresiones bajo una regla, medidas con un calibrador de alambre redondo a través de cualquier diámetro, no deben exceder de 5 mm (0.20"). Si los extremos del cilindro no satisfacen esta tolerancia, el cilindro no se puede ensayar, a menos que las irregularidades sean corregidas mediante aserrado o fresado.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Se permite el uso de tapas no adheridas en una o ambas bases de un cilindro en lugar del refrentado mencionado en la norma INV E-403, si cumplen los requisitos de la Sección 4. La dureza de las almohadillas deberá estar de acuerdo con la Tabla 408 - 1 (nota 3).

Nota 3 – La resistencia especificada en los documentos del contrato se refiere a varias etapas de la construcción. Puede incluir requisitos de ensayos de resistencia en el instante del retiro de las formaletas o en el de la remoción del pre-esfuerzo, en adición a los requisitos de ensayo para verificar la resistencia especificada a la compresión. Por lo tanto, la selección de la almohadilla se deberá basar en el requerimiento de resistencia para la etapa de construcción para la cual se hace el ensayo.

- 6.2** Se examinan ambos lados de las almohadillas para verificar si han sufrido daño o un uso excesivo. Se deben reemplazar las almohadillas que tengan grietas o rajaduras que excedan de 10 mm (3/8") de longitud, independientemente de su profundidad. Se insertan las almohadillas en los retenedores antes de su colocación en el cilindro (Nota 4)

Nota 4 – Algunos fabricantes recomiendan espolvorear las almohadillas y las bases del cilindro con almidón de maíz o talco antes del ensayo.

- 6.3** Se centra la tapa o tapas no adheridas en el cilindro y se coloca éste sobre el bloque de carga inferior de la máquina de ensayo. Se alinea cuidadosamente el eje del cilindro con el centro de empuje de la máquina de ensayo, centrando el anillo retenedor superior en la rótula del bloque de carga. A medida que el bloque con rótula se lleva a actuar sobre el anillo de retención superior, se rota suavemente con la mano su porción móvil para obtener un apoyo uniforme. Después de la aplicación de carga, pero antes de alcanzar el 10 % de la resistencia anticipada del espécimen, se verifica que el eje del cilindro esté vertical con una tolerancia de 3.2 mm en 300 mm (1/8" en 12") y que las bases del cilindro estén centradas con los anillos retenedores. Si la alineación del cilindro no reúne estos requisitos, se libera la carga, se verifica su conformidad con lo indicado en el numeral 5.1 y se vuelve a centrar cuidadosamente. Se aplica nuevamente la carga y se verifican el centrado y la alineación del espécimen. Se permite hacer una pausa en la aplicación de la carga para verificar que el cilindro esté bien alineado.

- 6.4** Se completan la aplicación de carga, el ensayo, los cálculos y el informe con los resultados, de acuerdo con lo especificado en la norma de ensayo INV E-410 (notas 5 y 6).

Nota 5 – Algunos usuarios han reportado daños en las máquinas de ensayo debido a la liberación súbita de la energía almacenada en las almohadillas elastoméricas.

Nota 6 – Ocasionalmente, los cilindros refrentados con tapas no adheridas desarrollan un agrietamiento prematuro, aunque continúan soportando el incremento de carga. Por este motivo, la norma de ensayo INV E-410 requiere que los cilindros sean cargados hasta que se tenga la certeza de que han sido sometidos a compresión más allá de su capacidad última.

7 CALIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFRENTADO NO ADHERIDO Y VERIFICACIÓN DE LA REUTILIZACIÓN DE LAS ALMOHADILLAS

- 7.1** La Tabla 408 - 1 especifica las condiciones bajo las cuales se pueden calificar bajo esta Sección las almohadillas no adheridas de policloropreno (neopreno), dependiendo de la resistencia del concreto y la dureza Shore A. Las almohadillas no adheridas hechas de otros materiales elastoméricos, deben ser calificadas usando los procedimientos de la presente Sección.
- 7.2** Cuando se requieran los ensayos de calificación, ellos pueden ser hechos tanto por el proveedor como por el usuario de las almohadillas no adheridas. El usuario de las almohadillas debe retener una copia del reporte vigente de los ensayos de calificación para demostrar su conformidad con esta norma (Ver numeral A.1 del Anexo A).
- 7.3** Se debe comparar la resistencia a la compresión de cilindros moldeados y ensayados con tapas no adheridas con la de cilindros duplicados (compañeros) ensayados con extremos nivelados o refrentados para reunir los requisitos de las normas INV E-403 e INV E-410.
- 7.4** Para ser aceptables, los ensayos deben demostrar que, para un nivel de confianza de 95 % ($\alpha = 0.05$), la resistencia promedio obtenida usando tapas no adheridas no es menor al 98 % de la resistencia promedio de cilindros duplicados refrentados o nivelados de acuerdo con el numeral 7.3.
- 7.4.1** Cuando se requiera, los ensayos de calificación hechos de acuerdo con el numeral 7.5, se llevarán a cabo en el uso inicial de una tapa no adherida en el mayor y el menor nivel de esfuerzo anticipado, para establecer un rango aceptable de resistencia de cilindros para uso. En la práctica, los cilindros individuales no deben presentar resistencias más del 10 % mayores que el nivel más alto de resistencia, ni menores en más de 10 % al nivel más bajo de resistencia, calificados o especificados en la Tabla 408 - 1. Los ensayos de calificación se deben repetir siempre que haya un cambio en el diseño o en las dimensiones de los anillos retenedores, o cuando haya un cambio en la composición o en el espesor de la almohadilla, o si la dureza Shore A cambia en más

de 5 unidades. Los ensayos de calificación inicial deben incluir la verificación de que después del número máximo especificado de reutilizaciones, las almohadillas cumplen las exigencias del numeral 7.4.

- 7.4.2** Cuando los ensayos se hagan para establecer un número admisible de reutilizaciones por encima de las indicadas en la Tabla 408 - 1, solo aquellos ensayos o reutilizaciones que estén dentro de 14 MPa (2000 lb/pg²) del nivel de resistencia más alto a ser calificado, serán incluidos en el conteo de las reutilizaciones. Los laboratorios deben mantener registros del número de reutilizaciones de las almohadillas.

Nota 7 – La vida de una almohadilla depende de la dureza y del tipo de material de la almohadilla, de la resistencia del concreto, de la diferencia entre el diámetro exterior del cilindro y el diámetro interior del anillo de retención, de la desigualdad y rugosidad de las bases del cilindro, y de otros factores. Con base en la información disponible, el desgaste superficial o la abrasión del perímetro de la almohadilla son normales, siempre y cuando no reduzcan el espesor de la almohadilla alrededor del perímetro.

- 7.5** Preparación del espécimen para los ensayos de calificación y de reutilización de las almohadillas:

- 7.5.1** Se deben hacer y curar pares de cilindros individuales de una muestra de concreto de la manera más semejante posible: un cilindro de cada par es para ser ensayado después de perfilado o refrentado de acuerdo con el numeral 7.3, y el otro para ser ensayado usando el sistema de tapas no adheridas.

- 7.5.2** Se deberán elaborar un mínimo de 10 pares de cilindros con los mayores y menores niveles de resistencia deseados o anticipados (nota 8). El “nivel de resistencia” es el promedio de las resistencias de 20 o más cilindros cuyas resistencias estén dentro de un rango de 7 MPa (1000 lbf/pg²) (nota 9). De una muestra individual de concreto se pueden elaborar más de un par de cilindros, pero los cilindros deben provenir de un mínimo de dos muestras tomadas en días diferentes para cada nivel de resistencia del concreto (nota 10).

Nota 8 – Si los especímenes refrentados de acuerdo con la norma INV E-403 y los cubiertos con tapas no adheridas producen resistencias iguales, el número de pares de cilindros necesarios para demostrar la conformidad, variará desde 9 hasta más de 60, dependiendo de la variabilidad de los resultados de los ensayos. Si los dos sistemas de refrentado producen resistencias iguales, alrededor del 10 % de los laboratorios requerirán más de 60 ensayos y el 10 % de laboratorios requerirán sólo 9 ensayos para demostrar estadísticamente la conformidad.

Nota 9 – Se debe notar que el rango de resistencia permitido en ensayos de calificación para definir el nivel de resistencia es 7 MPa (1000 lbf/pg²), pero en el conteo del número de reutilizaciones de las almohadillas sólo se incluyen cilindros en un rango de 14 MPa (2000 lbf/pg²).

Nota 10 – Los cilindros para los ensayos de calificación pueden provenir de pares de cilindros ensayados en operaciones rutinarias de laboratorio y, en muchas instancias, no se requieren amasadas especiales de tanteo para los ensayos de calificación.

8 CÁLCULOS

8.1 Para cada nivel de resistencia, se calcula la diferencia de resistencia de cada par de cilindros, y se determina la resistencia promedio de cada par de cilindros con refrentado convencional y la resistencia promedio de cada par de cilindros con tapas no adheridas, como sigue:

$$d_i = x_{pi} - x_{si} \quad [408.1]$$

$$\bar{x}_s = (x_{s1} + x_{s2} + x_{s3} \dots + x_{sn}) / n \quad [408.2]$$

$$\bar{x}_p = (x_{p1} + x_{p2} + x_{p3} \dots + x_{pn}) / n \quad [408.3]$$

Donde: d_i : Diferencia en la resistencia de un par de cilindros, calculada como la resistencia del cilindro con tapas no adheridas menos la resistencia del cilindro refrentado de acuerdo con la INV E-403 (puede ser positiva o negativa)

x_{pi} : Resistencia del cilindro usando tapas no adheridas;

x_{si} : Resistencia del cilindro usando el refrentado de la norma INV E-403;

n : Número de pares de cilindros ensayados para el nivel de resistencia;

\bar{x}_s : Resistencia promedio de los cilindros refrentados según la norma INV E-403 para un nivel de resistencia;

\bar{x}_p : Resistencia promedio de los cilindros con tapas no adheridas para un nivel de resistencia.

- 8.2** Se calculan la diferencia promedio, \bar{d} , y la desviación estándar de la diferencia, s_d , para cada nivel de resistencia, como sigue:

$$\bar{d} = (d_1 + d_2 \dots + d_n) / n \quad [408.4]$$

$$s_d = [\sum(d_i - \bar{d})^2 / (n - 1)]^{1/2} \quad [408.5]$$

- 8.3** Por último, se debe satisfacer la siguiente relación:

$$x_p \geq 0.98 \bar{x}_s + (t_{sd}) / (n)^{1/2} \quad [408.6]$$

Donde: t: Valor de "t de student" para (n-1) pares, para $\alpha = 0.05$, obtenido de la Tabla 408 - 2.

Tabla 408 - 2. Valores de "t de student"

(n - 1)	t ($\alpha = 0.05$) ^A
9	1.833
14	1.761
19	1.729
100	1.662

^A Se debe usar interpolación lineal para otros valores de (n-1), o remitirse a tablas estadísticas apropiadas.

9 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C1231/C1231M – 10a

ANEXO A
(Informativo)**INFORME DE MUESTRA Y CÁLCULOS****A.1 Informe de muestra:**

- A.1.1** *Material de la almohadilla* – Lote 3742, Shore A = 52, Espesor 0.51"
- A.1.2** *Anillo de retención* – Lote A, manufacturado 7 – 97.
- A.1.3** *Cilindros de concreto* – Trabajo No. 7021, No. 1-10, junio 8-11, 1999.
- A.1.4** *Mortero de azufre* – Lote 4321. Resistencia a la compresión de 48.2 MPa (6985 lbf/pg²).
- A.1.5** Todos los ensayos a 28 días de edad.

A.2 Resumen:

$$\bar{x}_s = 25.35 \text{ MPa (3679 lbf/pg}^2\text{)}.$$

$$\bar{x}_p = 25.26 \text{ MPa (3663 lbf/pg}^2\text{)}.$$

$$s_d = 0.328 \text{ MPa (46.06 lbf/pg}^2\text{)}.$$

$$n = 10.$$

$$t = 1.833.$$

A.3 Cálculos – Usando la ecuación del numeral 8.3:

Sistema inglés:

$$3663 \geq (0.98) (3679) + (1.833) (46.06) / (10)^{1/2}$$

$$3663 > 3632 \text{ (el sistema califica)}$$

Métrico:

$$25.26 \geq (0.98) (25.35) + (1.833) (0.328) / (10)^{1/2}$$

$$25.26 > 25.03 \text{ (el sistema califica)}$$

PAR DE CILINDROS	ALMOHADILLA DE NEOPRENO		REFRENTADO CON AZUFRE		DIFERENCIA, d	
	MPa	lbf/pg ²	MPa	lbf/pg ²	MPa	lbf/pg ²
1	24.9	3605	24.7	3580	0.20	25
2	24.9	3605	25.4	3690	-0.50	-85
3	24.7	3585	24.7	3595	0.00	-10
4	24.6	3570	25.0	3625	-0.40	-55
5	25.0	3625	25.1	3640	-0.10	-15
6	25.2	3660	25.8	3740	-0.60	-80
7	25.9	3750	25.6	3720	0.30	30
8	25.7	3725	25.6	3720	0.10	5
9	25.5	3700	25.7	3725	-0.20	2-25
10	26.2	3805	25.9	3755	0.30	50
Promedio	(x _p) 25.26	(x _p) 3663	(x _s) 25.35	(x _s) 3679	(d) -0.090	(d) -16
Desviación estándar (s_d)					0.328	46.06

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

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 pies³).

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 ± 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 ± 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.

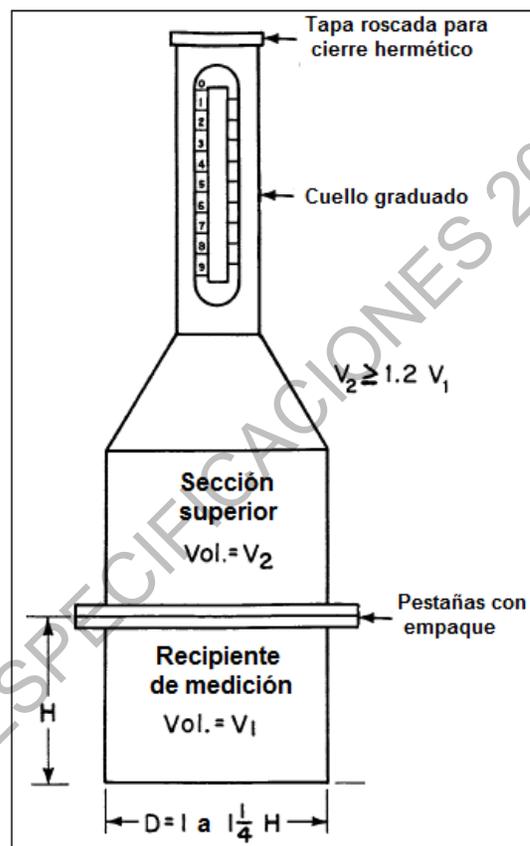


Figura 409 - 1. Medidor de aire por el método volumétrico

- 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 ± 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 ^A
ONZAS FLUIDAS	LITROS	
≤ 32	≤ 1.0	0.0 ^B
48	1.5	0.25
64	2.0	0.50
80	2.5	0.75

^A Se sustrae de la lectura final del medidor.

^B 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 pies³) 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 ± 200 g (1.25 ± 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.

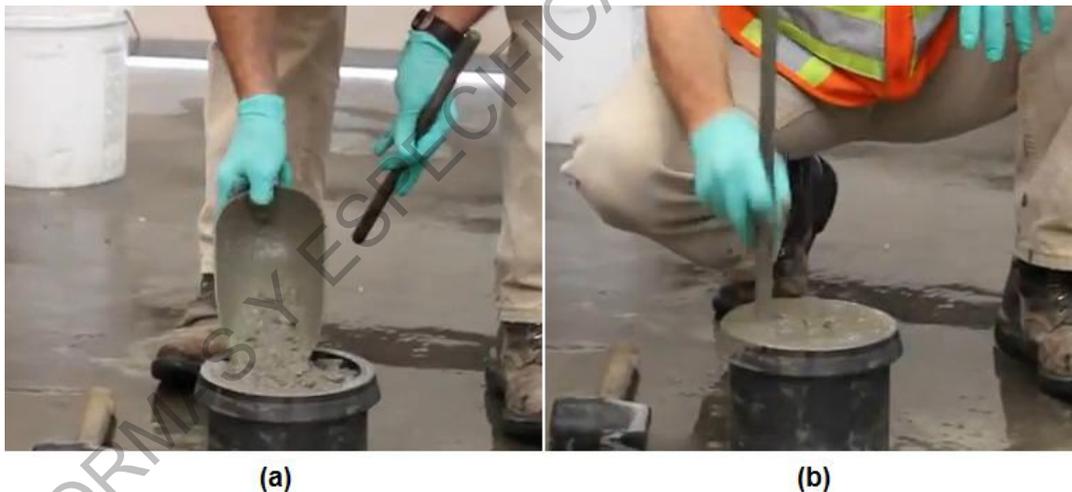


Figura 409 - 2. Colocación y apisonado de una capa de concreto

- 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/m³ (500 lb/yard³) 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 inductor 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.

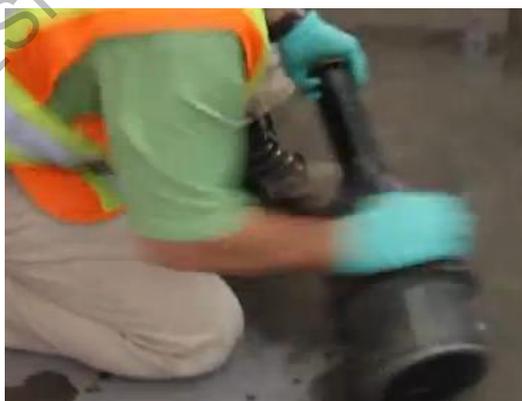


Figura 409 - 8. Giro del medidor

- 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 establezca 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.

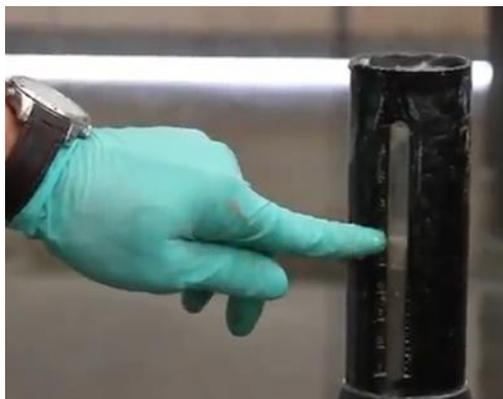


Figura 409 - 10. Nivel de espuma sobre el líquido

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:

$$A = A_R - C + W \quad [409.1]$$

- 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

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO

INV E – 410 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Este método de ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tanto cilindros moldeados como núcleos extraídos, y está limitado a concretos con una densidad superior a 800 kg/m^3 (50 lb/pe^3).
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-410-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, con una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión se determina dividiendo la máxima carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal del espécimen.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Los resultados de este ensayo se usan como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto; para verificar el cumplimiento de especificaciones; para evaluar la efectividad de los aditivos, y para otros usos similares.
- 3.2** Mediante este método de ensayo se determina la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos preparados y curados de acuerdo con las normas INV E-402, INV E-403, INV E-418 e INV E-420.
- 3.3** Se debe tener cuidado al interpretar el significado de las determinaciones de la resistencia a la compresión mediante este método de ensayo, por cuanto la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca de un concreto elaborado con determinados materiales. Los valores obtenidos dependen del tamaño y de la forma del espécimen, de la amasada de la cual se toma la muestra, de los procedimientos de mezclado, de los métodos de muestreo, del

moldeo del espécimen, de la edad a la cual se realiza el ensayo, de la temperatura y de las condiciones de humedad durante el curado.

4 EQUIPO

4.1 *Máquina de ensayo* – La máquina de ensayo debe ser de un tipo que tenga suficiente capacidad de carga y que satisfaga las condiciones de velocidad descritas en el numeral 6.5.

4.1.1 La calibración de la máquina de ensayo se debe realizar de acuerdo con la práctica ASTM E 4, "Práctica para la verificación de la carga de las máquinas de Ensayo", excepto que el rango de carga verificado deberá ser el indicado en el numeral 4.3. La verificación se requiere en las siguientes situaciones:

4.1.1.1 Al menos anualmente y nunca después de trece (13) meses.

4.1.1.2 En la instalación original o inmediatamente después de reubicar la máquina.

4.1.1.3 Inmediatamente después de hacer reparaciones o ajustes que puedan afectar de cualquier modo la operación del sistema de aplicación de fuerza o los valores desplegados por el sistema de indicación de carga, excepto para los ajustes a cero que compensan la masa de los bloques de carga o del espécimen, o ambos.

4.1.1.4 Siempre que exista alguna razón para dudar de la exactitud de las cargas indicadas, sin tener en cuenta el tiempo transcurrido desde la última verificación.

4.1.2 *Diseño* – La máquina debe operar con electricidad y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin impactos. Si sólo tiene una velocidad de carga (que cumpla los requisitos del numeral 6.5), deberá estar provista de medios suplementarios para cargar a una velocidad apropiada para verificación. Estos medios suplementarios de carga se pueden operar manualmente o por medio de motor.

4.1.2.1 El espacio disponible para los especímenes de ensayo debe ser lo suficientemente grande para acomodar, en posición

legible, un aparato de calibración elástica de suficiente capacidad para cubrir el intervalo potencial de carga de la máquina de ensayo, que cumpla con los requisitos de la práctica ASTM E 74.

Nota 1: Los aparatos de calibración elástica de mayor disponibilidad y uso para este propósito, son el anillo circular de prueba y las celdas de carga.

4.1.3 Exactitud – La exactitud de la máquina de ensayo debe cumplir los siguientes requisitos:

4.1.3.1 El porcentaje de error de las cargas dentro del rango propuesto para uso de la máquina, no debe exceder de ± 1.0 % de la carga indicada.

4.1.3.2 La exactitud de la máquina de ensayo se debe verificar aplicando cinco (5) cargas de ensayo en cuatro (4) incrementos aproximadamente iguales, en orden ascendente. La diferencia entre dos cargas de ensayo sucesivas cualesquiera, no debe exceder en más de un tercio la diferencia entre las cargas de ensayo máxima y mínima.

4.1.3.3 La carga del ensayo, tal y como es indicada por la máquina de ensayo, y la carga aplicada calculada a partir de las lecturas de los elementos de verificación, se deben registrar en cada punto de ensayo. Se deben calcular el error, E, y el porcentaje de error, E_p , para cada punto de estos datos, con las ecuaciones:

$$E = A - B \quad [410.1]$$

$$E_p = \frac{A - B}{B} \times 100 \quad [410.2]$$

Donde: A: Carga indicada por la máquina que está siendo verificada, kN (lbf);

 B: Carga aplicada, determinada por el elemento de calibración, kN (lbf).

- 4.1.3.4** En el informe de verificación de una máquina de ensayo se debe indicar dentro de qué intervalo de carga se encontró que ella se ajusta a los requisitos de la especificación, en lugar de informar una aceptación o un rechazo general. En ningún caso, el intervalo de carga declarado deberá incluir cargas por debajo del valor que sea 100 veces el cambio más pequeño de carga que pueda estimar el mecanismo indicador de carga de la máquina de ensayo o cargas dentro de aquella porción del intervalo por debajo del 10 % de la máxima capacidad del rango.
- 4.1.3.5** En ningún caso se deberá declarar el intervalo de carga incluyendo cargas por fuera del rango de las aplicadas durante el ensayo verificación.
- 4.1.3.6** La carga indicada por una máquina de ensayo no se debe corregir mediante cálculos, ni mediante el uso de diagramas de calibración, para obtener valores dentro de la variación permisible requerida.
- 4.2** La máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de carga de acero con caras endurecidas (nota 2), uno de los cuales es un bloque de asiento con un sistema de rótula, el cual descansará sobre la superficie superior del espécimen, y el otro un bloque sólido sobre el cual se apoyará el espécimen. Las superficies de los bloques que estarán en contacto con el espécimen deben tener una dimensión, al menos, 3 % mayor que el diámetro del espécimen a ensayar. Excepto para los círculos concéntricos descritos a continuación, las caras de carga no se deben separar de un plano en más de 0.02 mm (0.001") en cualesquiera de los 150 mm (6") de los bloques de 150 mm (6") de diámetro o mayores, o en más de 0.02 mm (0.001") en el diámetro de cualquier bloque menor. Los bloques nuevos se deben fabricar con la mitad de esta tolerancia. Cuando el diámetro de la cara de carga del bloque con rótula exceda el diámetro del espécimen en más de 13 mm (0.5"), se deben grabar círculos concéntricos con una profundidad no mayor de 0.8 mm (0.03") y un ancho no mayor de 1.0 mm (0.04"), para facilitar el centrado.

Nota 2: La dureza Rockwell de las caras de los bloques de carga utilizados para este ensayo no debe ser menor de HRC 55.

- 4.2.1** El bloque inferior de carga debe cumplir los siguientes requisitos:
- 4.2.1.1** Debe ser adecuado para proveer una superficie maquinada que provea las condiciones superficiales especificadas (nota

3). Sus superficies superior e inferior deben ser paralelas. Si la máquina de ensayo está diseñada para que la platina se mantenga fácilmente por sí misma en la condición superficial especificada, no se requiere el bloque inferior. Su dimensión horizontal menor debe ser, al menos, 3 % mayor que el diámetro del espécimen que se ensaya. Los círculos concéntricos descritos en el numeral 4.2, son opcionales en el bloque inferior.

Nota 3: El bloque se debe poder asegurar a la platina de la máquina de ensayo.

- 4.2.1.2** Se debe hacer un centrado final con respecto al bloque superior esférico. Cuando se use el bloque inferior para ayudar al centrado del espécimen, el centro de los anillos concéntricos, cuando estos existan, o el centro del bloque mismo, debe estar directamente debajo del centro de la cabeza esférica. Se deben tomar provisiones en la platina de la máquina para asegurar dicha posición
- 4.2.1.3** El bloque de carga inferior debe tener, al menos, 25 mm (1") de espesor cuando sea nuevo, y no menos de 22.5 mm (0.9") después de cualquier operación de afinado de su superficie.
- 4.2.2** El bloque de carga con sistema de rótula (asiento esférico) debe cumplir los siguientes requisitos:
- 4.2.2.1** El diámetro máximo de la cara de carga del bloque con rótula no debe exceder los valores que se dan en la Tabla 410 - 1.

Tabla 410 - 1. Especificaciones sobre el diámetro de la cara de carga

DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO, mm (pg.)	DIÁMETRO MÁXIMO DE LA CARA DE CARGA, mm (pg.)
50 (2)	105 (4)
75 (3)	130 (5)
100 (4)	165 (6.5)
150 (6)	255 (10)
200 (8)	280 (11)

Nota 4: Se aceptan las superficies de apoyo cuadradas, siempre y cuando el diámetro máximo del círculo inscrito más grande no exceda el diámetro indicado en la tabla.

- 4.2.2.2** El centro de la rótula debe coincidir con la superficie de la cara de carga dentro de una tolerancia de $\pm 5\%$ del radio de la esfera. El diámetro de la esfera debe ser, al menos, el 75 % del diámetro de la muestra que se va a ensayar.
- 4.2.2.3** La rótula y su casquete deben estar diseñados de forma que el acero en el área de contacto no sufra deformaciones permanentes cuando se cargue a la capacidad de la máquina de ensayo.

Nota 5: El área de contacto preferida es en forma de anillo, como se muestra en la Figura 410 - 1.

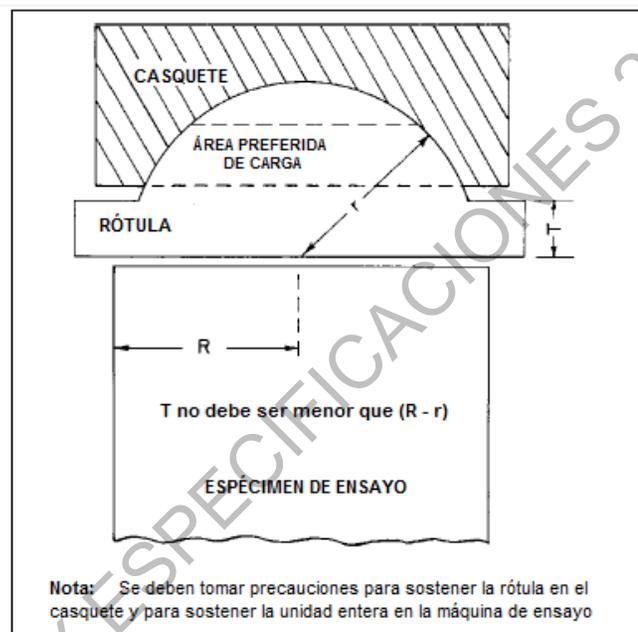


Figura 410 - 1. Dibujo esquemático de un bloque de carga típico con rótula

- 4.2.2.4** Al menos cada seis meses, o según lo especifique el fabricante de la máquina, se deben limpiar y lubricar las superficies curvas de la rótula y del casquete con aceite de motor convencional o con el que indique el fabricante.

Nota 6: Para asegurar un ajuste uniforme, la cabeza esférica está diseñada para inclinarse libremente a medida que hace contacto con la superficie superior del espécimen. Luego del contacto, cualquier rotación posterior es indeseable. La fricción entre el casquete y la porción esférica de la cabeza brinda restricción contra una rotación posterior durante la carga. Un aceite derivado del petróleo, como el empleado para la lubricación de motores, permite el desarrollo de una fricción adecuada. La grasa de aplicación a presión puede reducir la fricción deseada y permitir una rotación indeseable de la cabeza esférica y no se debe usar, a menos que lo recomiende el fabricante de la máquina.

- 4.2.2.5** Si el radio de la rótula es más pequeño que el radio del espécimen más grande a ser ensayado, la porción de la superficie de carga que se extiende más allá de la rótula debe tener un espesor no menor que la diferencia entre el radio de la rótula y el radio del espécimen. La menor dimensión de la superficie de carga debe ser, al menos, igual al diámetro de la rótula (Ver Figura 410 - 1).
- 4.2.2.6** La porción móvil del bloque de carga se debe sostener ajustadamente en su asentamiento esférico, pero el diseño debe ser tal, que la cara de carga pueda rotar libremente e inclinarse al menos 4° en cualquier dirección.
- 4.2.2.7** Si la parte esférica del bloque de carga superior consiste en un diseño de dos piezas, compuesto por una porción esférica y una placa de apoyo, se debe brindar un medio mecánico para asegurar que la porción esférica quede fija y centrada sobre la placa de carga.

4.3 *Indicación de la carga:*

- 4.3.1** Si la carga de una máquina de compresión usada en ensayos de concreto se registra en un dial, éste debe tener una escala graduada que permita leer con una precisión del 0.1 % de la carga total de la escala (nota 7). El dial debe ser legible dentro del 1 % de la carga indicada a cualquier nivel de carga dado dentro del rango de carga. En ningún caso se debe considerar que el intervalo de carga de un dial incluya cargas por debajo del valor que sea 100 veces el más pequeño cambio de carga que se pueda leer sobre la escala. La escala debe estar graduada a partir de cero (0). La aguja del dial debe tener una longitud suficiente para alcanzar las marcas de graduación. El ancho del extremo de la aguja no debe exceder la distancia libre entre las graduaciones más pequeñas. Cada dial debe estar equipado con un dispositivo de ajuste al cero por fuera de la caja del dial, y accesible desde el frente de la máquina mientras se observan el cero y la aguja del dial. El dial debe estar equipado con un indicador apropiado para que, en todo momento y hasta cuando sea reiniciado, indique, con una exactitud del 1 %, la carga máxima aplicada al espécimen.

Nota 7: Se considera que la legibilidad es de 0.5 mm (0.02") a lo largo del arco descrito por el extremo de la aguja. También es legible, con razonable certeza, la mitad del intervalo de la escala cuando el espacio en el mecanismo indicador de carga está entre 1 y 2 mm (0.04 y 0.06"). Cuando el espacio está entre 2 y 3 mm (0.06 y 0.12"), se puede leer con certeza hasta 1/3 del intervalo de la escala. Cuando el espacio es de 3 mm (0.12") o mayor, la legibilidad confiable es de ¼ del intervalo de la escala.

- 4.3.2** Si la máquina de ensayo indica la carga en forma digital, la representación visual del número debe tener el tamaño suficiente para que se pueda leer con facilidad. El incremento numérico debe ser igual o menor al 0.10 % de la carga total de la escala de un rango de carga dado. En ningún caso, el rango de carga verificado debe incluir cargas por debajo del valor que sea 100 veces el mínimo incremento numérico. La exactitud de la carga indicada debe estar dentro del 1.0 % de la carga desplegada en cualquier nivel dentro del rango de carga verificado. Se deben realizar los ajustes necesarios para que el medidor indique el cero verdadero cuando se encuentre con carga cero (0). Se debe proveer un indicador de carga máxima que, en todo momento, hasta cuando la máquina sea vuelta a poner en cero, indique con una precisión del 1 % la carga máxima que fue aplicada al espécimen.

5 ESPECÍMENES DE ENSAYO

- 5.1** Los especímenes no se deben ensayar si cualquier diámetro de un cilindro difiere, en más de 2 %, de otro diámetro del mismo cilindro (nota 8).

Nota 8: Esto puede ocurrir cuando los moldes de un solo uso se dañen o deformen durante su transporte o cuando se deformen durante el moldeo por ser muy flexibles, o cuando un núcleo se deflece o se tuerza durante el proceso de perforación.

- 5.2** Ninguna de las bases de los especímenes de ensayo se debe separar de la perpendicularidad respecto del eje del espécimen en más de 0.5° (equivalentes a 3 mm en 300 mm [0.12" en 12"] aproximadamente). Los extremos de un espécimen que no sea plano dentro de 0.05 mm (0.002"), deben ser aserrados o esmerilados, o refrentados de acuerdo con lo indicado en la norma INV E-403 o, si se permite, de acuerdo con la norma INV E-408. El diámetro usado para calcular la sección transversal del espécimen se debe determinar con una precisión de 0.25 mm (0.01"), promediando dos diámetros medidos en ángulo recto, uno con respecto al otro, en la mitad del espécimen (Figura 410 - 2).

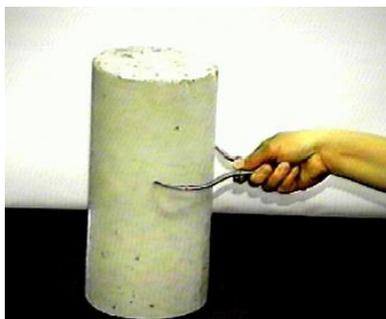


Figura 410 - 2. Medida del diámetro de un cilindro

- 5.3** El número de cilindros individuales medidos para la determinación del diámetro promedio se puede reducir a uno por cada diez especímenes o a tres especímenes por día, el que sea mayor, si se sabe que todos los cilindros han sido hechos de un único lote de moldes reutilizables o de moldes de un solo uso que producen consistentemente especímenes con diámetros promedio con una variación no mayor de 0.50 mm (0.02"). Cuando el diámetro promedio presenta un rango de variación mayor de 0.50 mm (0.02") o cuando los cilindros no están hechos de un lote único de moldes, cada cilindro ensayado se debe medir y el diámetro obtenido se debe emplear en los cálculos de la resistencia a la compresión del respectivo cilindro. Cuando los diámetros se miden con una frecuencia reducida, las áreas de todos los cilindros ensayados en un determinado día se calcularán a partir del diámetro promedio de los tres (3) o más cilindros que representen el grupo ensayado dicho día.
- 5.4** Si el cliente que requiere los servicios de ensayo solicita también la determinación de la densidad de los especímenes, la masa de ellos se deberá determinar antes del refrentado. Se debe remover cualquier humedad de la superficie con una toalla y medir la masa de cada espécimen usando una balanza o báscula, con una precisión del 0.3 % de la masa que esté siendo medida. Se deberá medir la longitud de cada cilindro con una aproximación de 1 mm (0.05"), en tres partes espaciadas regularmente alrededor de la circunferencia. Se debe calcular la longitud promedio redondeada a 1 mm (0.05"). Alternativamente, la densidad del cilindro se puede determinar pesándolo primero en el aire y luego sumergido en agua a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.5 \pm 3.5^\circ\text{F}$), y calculando el volumen de acuerdo con lo indicado en el numeral 7.3.1.
- 5.5** Cuando no se requiera determinar la densidad, y la relación longitud/diámetro del cilindro sea menor de 1.8 o mayor de 2.2, la longitud de éste se deberá medir aproximada a 0.05D.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Los ensayos de compresión de especímenes curados en agua se deben hacer inmediatamente después de removerlos del lugar de almacenamiento húmedo.
- 6.2** Los especímenes se deben mantener húmedos, utilizando cualquier método conveniente, durante el período transcurrido desde su remoción del lugar de almacenamiento hasta el instante del ensayo. Se deberán ensayar en condición húmeda.

- 6.3** Todos los especímenes para ensayar a una edad determinada, se deben romper dentro de los plazos indicados en la Tabla 410 - 2.

Tabla 410 - 2. Plazo para ensayar los especímenes luego del curado

EDAD DEL ENSAYO	PLAZO
24 horas	± 0.5 horas o 2.1%
3 días	2 horas o 2.8%
7 días	6 horas o 3.6%
28 días	20 horas o 3.0%
90 días	2 días o 2.2%

- 6.4** *Colocación del espécimen* – Se coloca el bloque de carga inferior sobre la plataforma o platina de la máquina de ensayo, con su cara endurecida hacia arriba y directamente debajo del bloque de carga superior. Se limpian con un paño las superficies de los bloques superior e inferior y se coloca el espécimen sobre el bloque inferior. Se alinea cuidadosamente el eje del espécimen con el centro de empuje del bloque superior.

- 6.4.1** *Verificación del cero y del asentamiento del bloque* – Antes de ensayar el espécimen, se debe verificar que el indicador de carga esté ajustado en cero y si no lo está, se deberá hacer el ajuste correspondiente (nota 9) Luego de colocar el espécimen en la máquina, pero antes de aplicarle carga, se debe inclinar suavemente la porción esférica con la mano, para que la cara de carga quede completamente paralela con la superficie superior del espécimen.

Nota 9: La técnica a usar para verificar y ajustar a cero el indicador de carga depende del tipo de máquina. Se deberá consultar el manual de operación para proceder correctamente.

- 6.5** *Velocidad de carga* – La carga se debe aplicar continuamente y sin impacto.

- 6.5.1** La carga se debe aplicar a una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de esfuerzo de 0.25 ± 0.05 MPa/s (35 ± 7 lbf/pg²/s) sobre el espécimen (nota 10). La velocidad escogida se debe mantener, al menos, durante la segunda mitad de la fase de carga prevista.

Nota 10: Para una máquina operada con tornillo o de desplazamiento controlado, será necesario realizar un ensayo preliminar para establecer la velocidad de movimiento requerida para generar la tasa de esfuerzo especificada. Dicha velocidad dependerá del tamaño del cilindro, del módulo elástico del concreto y de la rigidez de la máquina de ensayo.

- 6.5.2** Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, se permite una velocidad de carga mayor, siempre que ella se controle para evitar que el espécimen se someta a cargas de impacto.
- 6.5.3** La velocidad de movimiento no se deberá ajustar cuando se está alcanzando la carga última y la tasa de esfuerzo decrece debido al agrietamiento del cilindro.
- 6.6** Se aplica la carga de compresión hasta que el indicador de carga señale que ella comienza a decrecer progresivamente y el cilindro muestre un patrón de fractura bien definido (tipos 1 a 4 de la Figuras 410 - 3 y 410 - 4). Si se usa una máquina equipada con un detector de rotura del espécimen, no se permitirá apagarla hasta que la carga haya caído a un valor menor de 95 % de la máxima. Cuando se ensayan cilindros con tapas de refrentado no adheridas, puede ocurrir una fractura de esquina antes de alcanzar la capacidad última del espécimen, como lo muestran los tipos 5 y 6 de la Figura 410 - 3; en tal caso, se debe continuar la compresión hasta que se tenga la certeza de haber alcanzado la capacidad última. Se registra la máxima carga soportada por el cilindro durante el ensayo y se anota el patrón de falla de acuerdo con los esquemas de la Figura 410 - 3, si se ajusta a alguno de ellos. En caso contrario, se deberán elaborar un dibujo y una descripción breve del tipo de fractura producido. Si la resistencia medida es muy inferior a la esperada, se examina el cilindro fracturado para detectar zonas con vacíos grandes o con evidencias de segregación o si la fractura atraviesa partículas del agregado grueso, y se verifica, también, si el refrentado del espécimen se ajustó a lo establecido en las normas INV E-403 o INV E-408, la que corresponda.

7 CÁLCULOS

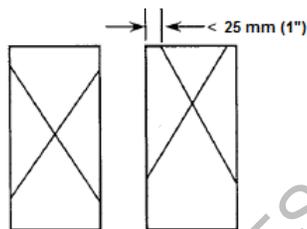
- 7.1** Se calcula la resistencia a la compresión, dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, por el área promedio de su sección transversal, determinada en la forma descrita en la Sección 5. El resultado se debe expresar redondeado a 0.1 MPa (10 lbf/pg²).
- 7.2** Si la relación longitud/ diámetro (L/D) del espécimen es 1.75 o menor, se debe corregir el resultado obtenido en el numeral 7.1, multiplicándolo por el factor apropiado de los que se indican a en la Tabla 410 - 3 (se deberá interpolar para valores intermedios de L/D) (notas 11 y 12):

Tabla 410 - 3. Factores de corrección según la relación longitud/diámetro

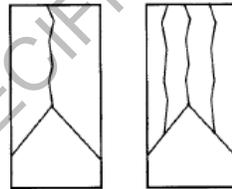
L/D	FACTOR DE CORRECCIÓN				
0.50	-	-	0.59	-	0.53
1.00	0.87	0.80	0.81	0.82	0.83
1.25	0.93	0.87	-	-	0.92
1.50	0.96	0.92	0.92	0.98	0.97
1.75	0.98	0.97	-	-	0.99
2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.00	-	-	-	1.03	-
Referencia	ASTM	BSI	Lewandowski	Sangha	Chung

Nota 11: Los factores de corrección dependen de varias condiciones, entre ellas la condición de humedad, el nivel de resistencia y el módulo elástico. Los valores recomendados por la ASTM son promedios y aplican a concretos livianos con densidades entre 1600 y 1920 kg/m³ (100 a 120 lb/pie³) y a concretos de densidad normal. Son aplicables a concretos secos o húmedos en el momento de la carga y a concretos con una resistencia nominal entre 14 y 42 MPa (2000 a 6000 lbf/pg²). Para concretos de resistencia superior a 42 MPa (6000 lbf/pg²), los factores de corrección pueden ser mayores que los mostrados en la tabla. Ver referencia: Barlett, F.M. y J.G. MacGregor. "Effect of Core Length-to-Diameter Ratio on Concrete Core Strength", ACI Materials Journal, Vol. 91, No. 4, July-August, 1994, pp. 339-348.

Nota 12: Los factores de corrección propuestos por otros investigadores han sido obtenidos bajo condiciones que pueden coincidir o no con las que sirvieron de base a la ASTM para establecer sus factores. Es responsabilidad del usuario elegir el factor de corrección apropiado en cada caso, dependiendo de las condiciones que prevalezcan en los cilindros que está sometiendo a ensayo.



Tipo 1
Conos razonablemente bien formados en ambos extremos



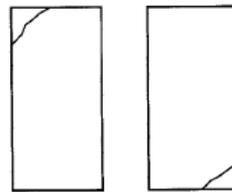
Tipo 2
Cono bien formado en un extremo pero no en el otro. Grietas verticales que llegan a los extremos



Tipo 3
Agrietamiento vertical columnar que abarca ambos extremos. No hay conos bien formados



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas a través de los extremos. Se debe golpear con martillo para distinguirlo del tipo 1



Tipo 5
Fracturas en las esquinas (usuales en cilindros sin refrentar)



Tipo 6
Similar al Tipo 5, pero las grietas tienden a unirse en la superficie del cilindro

Figura 410 - 3. Esquemas de patrones de falla típicos

- 7.3** Cuando se solicite, la densidad del cilindro se calculará redondeada a 10 kg/m^3 (1 lb/pie^3), de la siguiente manera:

$$\text{Densidad} = \frac{W}{V} \quad [410.3]$$

Donde: W: Masa del cilindro, kg (lb);

V: Volumen del cilindro, calculado a partir del diámetro promedio y de la longitud promedio, o pesándolo en el aire y sumergido en agua, m^3 (pies^3).

- 7.3.1** Cuando el volumen se calcula sumergiendo la muestra, se determina con la expresión:

$$V = \frac{W - W_s}{\gamma_w} \quad [410.4]$$

Donde: W_s : Masa aparente del cilindro sumergido, kg (lb);

γ_w : Densidad del agua a 23°C (73.5°F) = 997.5 kg/m^3 (62.27 lb/pie^3).



Tipo 1

Tipo 2

Tipo 3

Tipo 4

Figura 410 - 4. Fotografías de patrones de falla típicos

8 INFORME

8.1 El informe de los resultados deberá incluir:

- 8.1.1 Número de identificación del cilindro.
- 8.1.2 Diámetro promedio (y longitud medida, si está por fuera del rango de 1.8D a 2.2D), mm (pg.).
- 8.1.3 Área de la sección transversal, mm² (pg²).
- 8.1.4 Carga máxima, kN (lbf).
- 8.1.5 Resistencia a la compresión MPa (lbf/pg²), redondeada a 0.1MPa (10 lbf/pg²).
- 8.1.6 Edad del espécimen.
- 8.1.7 Defectos en el refrentado o en el espécimen.
- 8.1.8 Cuando se determine, la densidad redondeada a 10 kg/m³ (1 lb/pie³).
- 8.1.9 Patrón de fractura (Figura 410 - 3).

9 PRECISIÓN Y SESGO

9.1 Precisión:

- 9.1.1 *Precisión en un laboratorio* – La precisión de los ensayos efectuados en un laboratorio sobre cilindros de 150 × 300 mm (6 × 12") y de 100 × 200 mm (4 × 8"), elaborados de una muestra de concreto correctamente mezclada, bajo condiciones de laboratorio y de campo, se presenta en la Tabla 410 - 4 (Ver numeral 9.1.2).

Tabla 410 - 4. Declaración de precisión

PARÁMETRO	COEFICIENTE DE VARIACIÓN ^A	RANGO ACEPTABLE DE RESISTENCIA DE CILINDROS INDIVIDUALES ^A	
		2 CILINDROS	3 CILINDROS
<i>Cilindros de 150×300 mm:</i>			
Condiciones de laboratorio	2.4 %	6.6 %	7.8 %
Condiciones de campo	2.9 %	8.0 %	9.5 %
<i>Cilindros de 100×200 mm:</i>			
Condiciones de laboratorio	3.2 %	9.0 %	10.6 %

^A Estos valores representan los límites (1s %) y (d2s %)

9.1.2 Los coeficientes de variación de la Tabla 410 - 4 representan la variación esperada de la resistencia a la compresión de cilindros compañeros (duplicados) de la misma mezcla de concreto, ensayados a la misma edad en el mismo laboratorio. Los valores correspondientes a los cilindros de 150 × 300 mm (6 × 12") son aplicables a resistencias a compresión entre 15 y 55 MPa (2000 y 8000 lbf/pg²), y los de los cilindros de 100 × 200 mm (4 × 8") son aplicables a resistencias a compresión entre 17 y 32 MPa (2500 y 4700 lbf/pg²). Los coeficientes de variación de los cilindros de 150 × 300 mm (6 × 12") se obtuvieron analizando los resultados de 1265 ensayos realizados por 225 laboratorios comerciales en 1978.

9.1.3 *Precisión entre varios laboratorios* – El coeficiente de variación de los resultados de resistencia a la compresión entre varios laboratorios para los cilindros de 150 × 300 mm (6 × 12") es de 5.0 %. Por lo tanto, los resultados de ensayos realizados correctamente por dos laboratorios sobre cilindros elaborados con la misma mezcla de concreto, no se considerarán dudosos si no difieren en más de 14 % del promedio (nota 12). Un resultado de ensayo es el promedio de los valores de resistencia a compresión de dos cilindros de la misma edad.

Nota 12: La precisión entre varios laboratorios no incluye variaciones asociadas con los diferentes operarios que preparan los especímenes de muestras de concreto, fraccionadas o independientes. Es de esperar que estas variaciones incrementen el coeficiente de variación.

9.1.4 Los datos multilaboratorio fueron obtenidos de seis programas de ensayos conjuntos de resistencia, donde se prepararon especímenes cilíndricos de 150 × 300 mm (6 × 12") en un solo lugar y se ensayaron

en diferentes laboratorios. Los valores promedio de resistencia de estos programas oscilaron entre 17 y 90 MPa (2500 y 13 000 lbf/pg²).

- 9.2 *Sesgo* – Como no existe un material de referencia aceptado, no se hace ninguna declaración sobre el sesgo.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 39/C 39M – 12

ANEXO A (Informativo)

EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CILINDRO DE CONCRETO

- A.1 Se tomaron dos medidas del diámetro de un cilindro de concreto y se obtuvieron los siguientes valores: 153.41 mm y 151.69 mm. La carga máxima soportada por el cilindro en el ensayo de compresión fue 440 000 N.
- A.2 El diámetro promedio del cilindro será $(153.41+151.69)/2 = 152.55$ mm, valor que, redondeado a los 0.25 mm más cercanos, es 152.50 mm
- A.3 La sección transversal del cilindro será:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times 152.50^2}{4} = 18\,264.42 \text{ mm}^2$$

- A.4 La resistencia a la compresión será:

$$R_c = \frac{\text{carga máxima}}{\text{Sección transversal}} = \frac{440\,000}{18\,264.42} = 24.1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 24.1 \text{ MPa}$$

ENSAYO DE TRACCIÓN POR HENDIMIENTO (TRACCIÓN INDIRECTA) DE CILINDROS DE CONCRETO

INV E – 411 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma de ensayo establece el procedimiento para determinar la resistencia a la tracción por hendimiento o resistencia a la tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto. El método aplica tanto a cilindros moldeados como a núcleos extraídos.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-411-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 El ensayo consiste en aplicar una fuerza diametral compresiva a lo largo de la longitud de un espécimen cilíndrico de concreto a una velocidad especificada, hasta que ocurra la falla. Este sistema de carga induce esfuerzos de tensión en el plano que recibe la carga aplicada, así como esfuerzos de compresión considerables en el área aferente. La falla que ocurre es de tensión y no de compresión, por cuanto las áreas de aplicación de la carga se encuentran en un estado de compresión triaxial, lo que les permite soportar esfuerzos de compresión muy superiores a los que serían indicados por el resultado de un ensayo de resistencia a compresión uniaxial.
- 2.2 Para distribuir la carga a lo largo de la longitud del cilindro se emplean unos listones de apoyo delgados de madera laminada.
- 2.3 La máxima carga soportada por el espécimen se divide por factores geométricos apropiados, con el fin de obtener la resistencia a la tracción por hendimiento.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 La resistencia a la tracción por hendimiento es, generalmente, mayor que la resistencia a la tracción directa y menor que la resistencia a la flexión (módulo de rotura).

- 3.2** La resistencia a la tracción por hendimiento se usa en el diseño estructural de elementos de concreto liviano para evaluar la resistencia al esfuerzo cortante suministrada por el concreto y para determinar la cuantía del refuerzo.

4 EQUIPO

- 4.1** *Máquina de ensayo* – La máquina de ensayo se debe ajustar a los requerimientos de la norma INV E-410 y deberá tener la capacidad suficiente para aplicar la velocidad de carga que se describe en el numeral 6.5.
- 4.2** *Platina o barra suplementaria de apoyo* – Si el diámetro o la mayor dimensión de los bloques de apoyo, inferior y superior, es menor que la longitud del cilindro que se va a ensayar, se debe usar una platina o una barra suplementaria de acero maquinado. Las superficies de este elemento deben ser planas dentro de una tolerancia de ± 0.025 mm (± 0.001 "), medida sobre cualquier línea de contacto del área de apoyo. Debe tener un ancho de, por lo menos, 50 mm (2") y un espesor no menor que la distancia entre el borde del bloque de apoyo rectangular o esférico de la máquina de ensayo y el extremo del cilindro. El elemento se debe colocar de manera que la carga sea aplicada sobre la longitud total del espécimen cilíndrico.
- 4.3** *Listones de apoyo* – Deben ser dos listones de madera laminada, libres de imperfecciones, de 3.0 mm (1/8") de espesor nominal, de aproximadamente 25 mm (1") de ancho y de longitud igual o ligeramente mayor que la del cilindro. Los listones de apoyo se deben colocar entre el cilindro de concreto y los bloques superior e inferior de apoyo de la máquina de ensayo, o entre el cilindro de concreto y la platina suplementaria, cuando ésta se utilice (numeral 4.2). Los listones de apoyo se deben usar solamente una vez.
- 4.4** *Elementos misceláneos* – Balanza, con una capacidad superior a 20 kg y una resolución mínima de 1 g; regla graduada, lápices, marcadores, etc.

5 ESPECÍMENES DE ENSAYO

- 5.1** Los especímenes se prepararán y fabricarán de acuerdo con los métodos de elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo en el laboratorio (norma INV E-402) o en el campo (norma INV E-420). Los núcleos extraídos deberán cumplir los requerimientos de tamaño y acondicionamiento húmedo mencionados en la norma INV E-418. Los especímenes curados en

cuarto húmedo, se deberán cubrir con una manta, cáñamo o yute húmedo durante el período comprendido entre su extracción del ambiente del cuarto y su ensayo, y se deberán ensayar en condiciones húmedas, tan pronto como sea posible.

- 5.2** El siguiente procedimiento de curado se deberá utilizar para la evaluación de concretos livianos: el espécimen ensayado a los 28 días debe estar en condición seca al aire luego de 7 días de curado húmedo, seguidos por 21 días de secado a $23.0 \pm 2.0^\circ \text{C}$ ($73.5 \pm 3.5^\circ \text{F}$) y $50 \pm 5\%$ de humedad relativa.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** *Marcas* – Se dibujan líneas diametrales sobre cada extremo del espécimen, utilizando un aparato adecuado que permita asegurar que ellas se encuentran en el mismo plano axial (Ver Figuras 411 - 1 y 411 - 2 y nota 1) o, como alternativa, se usa la plantilla de alineación mostrada en la Figura 411 - 3.

Nota 1: Las Figuras 411 - 1 y 411 - 2 muestran un dispositivo apropiado para dibujar las líneas diametrales en el mismo plano axial de cada base de un cilindro normal de $150 \times 300 \text{ mm}$ ($6 \times 12''$). El dispositivo consta de tres partes:

- (1) Una canal de acero de 100 mm ($4''$) de longitud, cuyas salientes han sido maquinadas en forma plana.*
 - (2) Una sección, parte a, ranurada para ajustar suavemente sobre las salientes la canal y que incluye tapones de rosca para posicionar el miembro vertical del ensamble, y*
 - (3) Una barra vertical, parte b, para guiar un lápiz o marcador*
- El ensamble, partes a y b, no se ajusta a la canal y se posiciona en cualquiera de las bases del cilindro, sin alterar la posición del espécimen cuando se dibujen las líneas diametrales.*

Nota 2: La Figura 411 - 4 presenta un plano detallado de la plantilla de alineación mostrada en la Figura 411 - 3, cuyo propósito es, también, permitir el dibujo de las líneas diametrales. Este dispositivo consta de las siguientes partes:

- (1) Una base para sostener el listón de apoyo inferior y el cilindro.*
- (2) Una barra suplementaria de soporte, conforme con los requerimientos de la Sección 4 en lo que se refiere a dimensiones y planitud, y*
- (3) Dos postes que sirven para posicionar el cilindro, los listones de apoyo y la platina suplementaria de apoyo.*

- 6.2** *Medidas de diámetro y longitud* – El diámetro del espécimen se determina con exactitud de 0.25 mm ($0.01''$) mediante el promedio de tres medidas realizadas una cerca de cada extremo y una en el centro del cilindro, en el plano que contiene las líneas marcadas en las dos bases. La longitud se determina con exactitud de 2 mm ($0.1''$), mediante el promedio de, por lo menos, dos longitudes medidas en el plano que contiene las líneas marcadas en las dos bases.

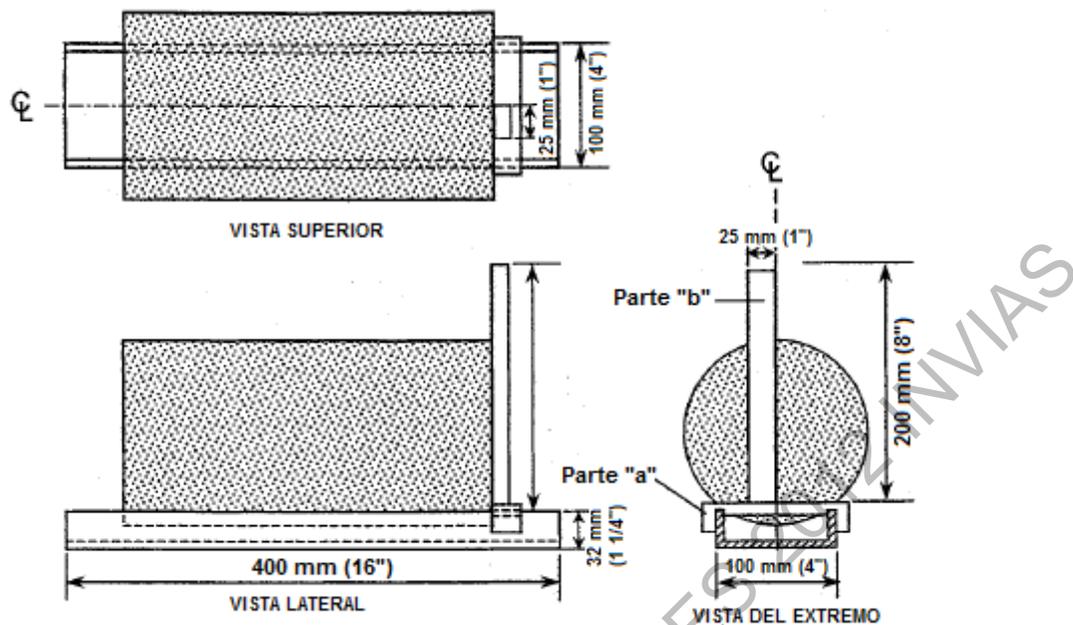


Figura 411 - 1. Vistas generales de un equipo adecuado para hacer las marcas de las bases, usado para el alineamiento del espécimen en la máquina de ensayo

6.3 *Colocación de los listones de apoyo usando las líneas diametrales* – Se coloca un listón de apoyo a lo largo del centro del bloque inferior. Se pone el cilindro sobre el listón y se alinea de manera que las líneas marcadas en las bases del cilindro queden verticales y centradas sobre el listón. Se coloca el segundo listón longitudinalmente sobre el cilindro, centrándolo en forma similar al anterior. Se posiciona el conjunto para asegurar las siguientes condiciones:

6.3.1 La proyección del plano de las dos líneas marcadas en las bases debe cruzar el centro del bloque de carga superior.

6.3.2 La platina o barra suplementaria de apoyo, cuando se use, y el centro del espécimen, deben quedar directamente debajo del centro de empuje del bloque de carga esférico (Figura 411 - 5).

6.4 *Colocación de los listones de apoyo usando plantilla de alineación* – Se colocan en posición los listones de apoyo, el cilindro de ensayo y la barra suplementaria de soporte empleando la plantilla de alineación, como se muestra en la Figura 411 - 3, y se centra la plantilla de manera que la barra suplementaria de soporte y el centro del cilindro queden directamente debajo del centro de empuje del bloque de carga esférico.

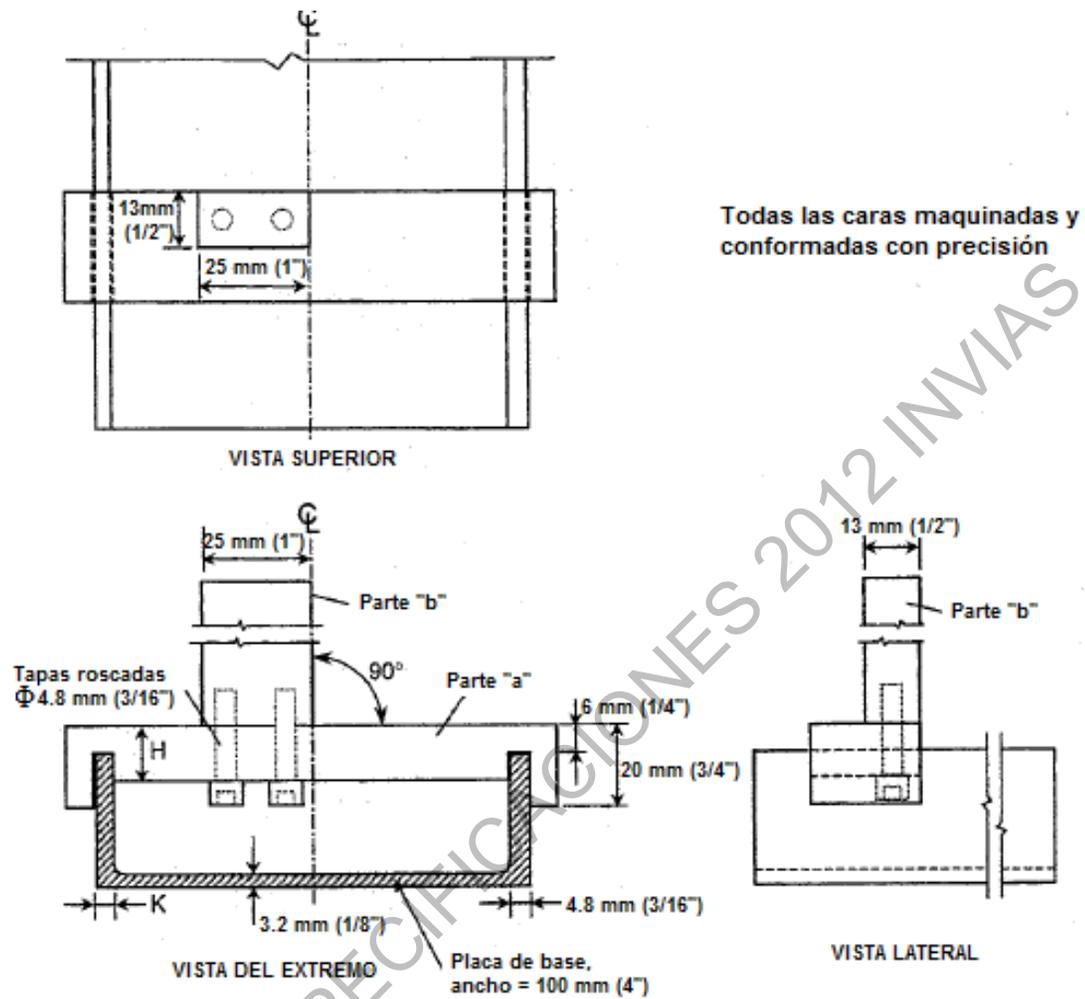


Figura 411 - 2. Plano detallado de un equipo adecuado para hacer las marcas de las bases, usado para el alineamiento del espécimen

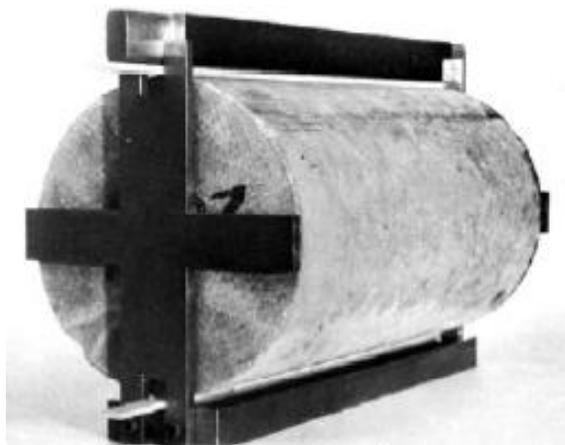


Figura 411 - 3. Plantilla para alinear el cilindro de concreto y los listones de apoyo

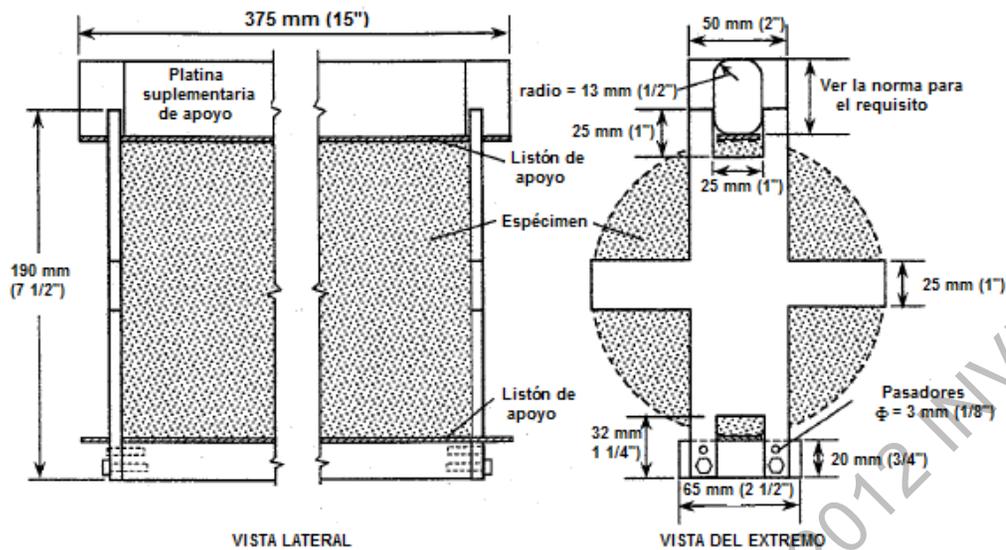


Figura 411 - 4. Plano detallado de una plantilla adecuada para alinear cilindros de 150 × 300 mm (6 × 12")

- 6.5 Velocidad de carga** – Se aplica carga al cilindro en forma continua y sin impactos, a una velocidad constante en el rango de un esfuerzo de tracción por hendimiento de 0.7 a 1.4 MPa/min (100 a 200 lbf/pulg²/min) hasta que se rompa el cilindro (nota 3). Se anota la carga máxima indicada por la máquina en el momento de rotura, lo mismo que el tipo de rotura y la apariencia del concreto.

Nota 3: La relación entre el esfuerzo de tracción por hendimiento y la carga aplicada se muestra en la Sección 7. El rango de carga requerido en esfuerzo de tracción por hendimiento corresponde a una carga total aplicada en el rango de 50 a 100 kN/min (11 300 a 22 600 lbf/min) para cilindros normales de 150 × 300 mm (6 × 12").

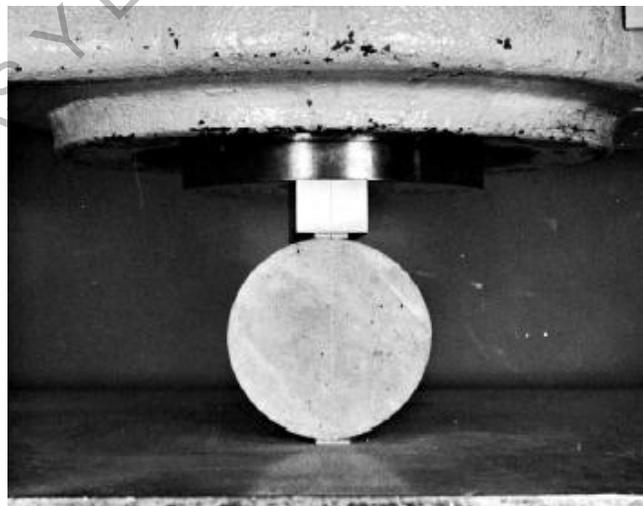


Figura 411 - 5. Cilindro colocado en la máquina para el ensayo de tracción por hendimiento

7 CÁLCULOS

- 7.1** Se calcula la resistencia a la tracción por hendimiento (tracción indirecta) del espécimen, mediante la ecuación:

$$T = \frac{2 P}{\pi L d} \quad [411.1]$$

- Donde: T: Resistencia a la tracción por hendimiento (tracción indirecta), MPa (lbf/pulg²);
- P: Carga máxima indicada por la máquina de ensayo, N (lbf);
- L: Longitud del cilindro, mm (pg.);
- d: diámetro del cilindro, mm (pg.).

8 INFORME

- 8.1** Se debe presentar la siguiente información:

- 8.1.1** Identificación del cilindro.
- 8.1.2** Diámetro y longitud, mm (pg.).
- 8.1.3** Carga máxima, N (lbf).
- 8.1.4** Edad del cilindro.
- 8.1.5** Resistencia a la tracción por hendimiento (tracción indirecta), calculada con redondeo a 0.05 MPa (5 lbf/pg²).
- 8.1.6** Porcentaje estimado de partículas de agregado grueso fracturadas durante el ensayo.
- 8.1.7** Tipo de fractura, si es diferente a la producida según un plano vertical.
- 8.1.8** Defectos en el cilindro.
- 8.1.9** Tipo de curado.

9 PRECISIÓN Y SESGO

- 9.1** *Precisión* – No se ha realizado ningún estudio multilaboratorio de este método de ensayo. Sin embargo, datos de investigaciones disponibles sugieren que el coeficiente de variación para un mismo lote es de 5 % para especímenes cilíndricos de 150 × 300 mm (6 × 12") con una resistencia promedio a la tracción indirecta de 2.8 MPa (405 lbf/pulg²). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados sobre el mismo material no deben diferir en más de 14 % de su promedio, para una resistencia a la tracción indirecta de, aproximadamente, 2.8 MPa (405 lbf/pulg²).
- 9.2** *Sesgo* – No se puede hacer declaración sobre sesgo, por cuanto la resistencia a la tracción por hendimiento solo se puede definir en términos de este método de ensayo.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 496/C 496M – 11

FABRICACIÓN, CURADO ACELERADO Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO

INV E – 412 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Este método de ensayo establece cuatro procedimientos para fabricar, curar y ensayar especímenes de concreto almacenados bajo condiciones que intentan acelerar el desarrollo de su resistencia. Los procedimientos son los siguientes:
- 1.1.1** Procedimiento A: Método de agua caliente.
 - 1.1.2** Procedimiento B: Método de agua hirviendo.
 - 1.1.3** Procedimiento C: Método de curado autógeno.
 - 1.1.4** Procedimiento D: Método de alta temperatura y presión.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-412-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Los especímenes de concreto son expuestos a condiciones de curado acelerado que les permiten desarrollar una porción significativa de su resistencia última en un lapso que varía entre 5 y 49 horas, dependiendo del procedimiento utilizado. Los procedimientos A y B someten a los especímenes a la acción de agua a alta temperatura para lograr un curado rápido sin pérdida de humedad. En el procedimiento A, el nivel de la temperatura del agua es moderado con el propósito de conservar el calor generado por la hidratación de los especímenes. En el procedimiento B, el nivel de temperatura empleado tiene como objeto proveer a las muestras un calentamiento acelerado. El procedimiento C involucra el almacenamiento de los especímenes en una cámara aislada en la cual la elevada temperatura de curado se obtiene del calor producido por la hidratación del cemento. Las cámaras aisladas también previenen la pérdida de humedad. El procedimiento D involucra la aplicación simultánea de elevadas temperaturas y presiones a los especímenes de concreto, en cámaras especiales. Los procedimientos de muestreo y ensayo son los mismos que se emplean con los especímenes curados normalmente (Ver normas INV E-401 e INV E-410, respectivamente).

- 2.2** Las características relevantes de estos procedimientos se presentan en la Tabla 412 - 1.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Los procedimientos de curado acelerado entregan, en el menor tiempo posible, una indicación de la resistencia que puede alcanzar una mezcla de concreto. Estos procedimientos también proveen información sobre la variabilidad en el proceso de producción, la cual se puede utilizar en el control de calidad.
- 3.2** La resistencia temprana obtenida por alguno de los métodos descritos en este método, puede ser usada para estimar la resistencia del concreto que resulte del ensayo convencional de 28 días. Puesto que la práctica de usar valores de resistencia obtenidos de cilindros curados normalmente durante 28 días está muy difundida, los resultados de los ensayos acelerados de resistencia se usan a menudo para estimar la resistencia a mediano y largo plazo bajo condiciones normales de curado. Estas estimaciones se deben limitar a concretos elaborados con los mismos materiales y proporciones que los usados para establecer la correlación. El Anexo B presenta un procedimiento para estimar el intervalo de 90 % de confianza del promedio de resistencia a edad posterior, a partir de los resultados de los ensayos acelerados.
- 3.3** La correlación que se obtenga entre la resistencia obtenida por un procedimiento de curado acelerado y la lograda por un curado convencional, dependerá de los materiales utilizados en el concreto, de las proporciones utilizadas en la mezcla y del ensayo específico de ensayo acelerado.
- 3.4** El usuario debe escoger el procedimiento por utilizar sobre la base de su experiencia y de las condiciones para llevar a cabo el ensayo. Los procedimientos referenciados resultan útiles si se dispone de cámaras de curado y equipos para medir la resistencia a la compresión dentro de los tiempos especificados por los ensayos.

Tabla 412 - 1. Características de los procedimientos de curado acelerado

PROCEDIMIENTO	MOLDES	ORIGEN DE LA RESISTENCIA POR CURADO ACCELERADO	TEMPERATURA DEL CURADO ACCELERADO ° C (° F)	INICIO DEL TIEMPO DEL CURADO ACCELERADO	DURACIÓN DEL CURADO ACCELERADO	EDAD EN EL INSTANTE DEL ENSAYO
A. Agua caliente	Reutilizables o de un solo uso	Calor de hidratación	35 (95)	Inmediatamente después del moldeo	23.5h ± 30 min	24 h ± 15 min
B. Agua hirviendo	Reutilizables o de un solo uso	Agua hirviendo	Hirviendo	23 h ± 30 min después del moldeo	3.5 h ± 30 min	28.5h ± 15 min
C. Autógeno	Un solo uso	Calor de hidratación	Temperatura inicial del concreto aumentada por el calor de hidratación	Inmediatamente después del moldeo	48 h ± 15 min	49h ± 15 min
D. Temperatura y presión elevadas	Reutilizables	Calor y presión externos	150 (300)	Inmediatamente después del moldeo	5 h ± 5 min	5.25h ± 30 min (añadir 30 minutos si se usa refrentado con mortero de azufre)

4 INTERFERENCIAS

- 4.1** Cuando se requiera el tamizado húmedo del concreto antes del moldeo de los especímenes debido a las limitaciones del tamaño máximo (como en el caso del Procedimiento B, el cual está limitado al uso de agregados con tamaño máximo de 25 mm), se debe considerar el efecto de dicho tamizado sobre el contenido de aire y sobre la resistencia de los especímenes de ensayo.

5 EQUIPO

- 5.1** El equipo y las herramientas menores para fabricar especímenes, medir el asentamiento y determinar de contenido de aire, deben cumplir con lo indicado en las normas INV E-402, INV E-404 e INV E-406.

5.2 *Moldes:*

- 5.2.1** Los moldes cilíndricos para el ensayo de especímenes usados en los procedimientos A, B y C, deben cumplir con la especificación ASTM C 470. Si los especímenes van a ser ensayados sin refrentado, se deben usar solamente moldes reutilizables con placas de cierre maquinadas que puedan ser aseguradas en ambos extremos del molde. Las placas de cierre deben producir especímenes con superficies de contacto planas con una tolerancia no mayor de 0.05 mm (0.002"), y cuyas bases no se desvíen de la perpendicularidad con respecto al eje del cilindro en más de 0.5° (equivalentes a 10 mm/m o 1/8" en 12"). Una vez ensamblado, el molde debe ser suficientemente rígido para que, una vez llenado con el concreto, pueda cambiar de la posición vertical de llenado a una posición horizontal de curado sin que se presente pérdida de mortero o daño en el espécimen de ensayo.

- 5.2.2** Los moldes cilíndricos para el procedimiento D deben presentar las siguientes características:

5.2.2.1 Ser hechos de acero inoxidable.

5.2.2.2 Estar equipados con tapas metálicas removibles en los extremos y empaques anulares de caucho.

5.2.2.3 Estar equipados con un elemento de calentamiento capaz de elevar la temperatura del conjunto, concreto y molde, hasta

150 ± 3° C (300 ± 5° F) en un tiempo de 30 min ± 5 min y de mantener esa temperatura durante el tiempo requerido para la realización del ensayo.

5.2.2.4 Estar equipados con elementos que midan la temperatura en el molde, para garantizar que la temperatura del concreto satisface los requerimientos del ensayo.

5.2.2.5 Estar equipados con un elemento de carga compañero, capaz de mantener sobre el concreto una presión de 10.3 ± 0.2 MPa (1500 ± 25 lbf/pg²) durante el período de curado.

5.3 Aparatos de curado:

5.3.1 Tanque de curado acelerado para los procedimientos A y B:

5.3.1.1 Se puede utilizar un tanque de cualquier configuración, que resulte apropiado para contener el número de cilindros que se van a ensayar. La disposición de los cilindros debe ser tal, que provea una separación de al menos 50 mm (2") entre el lado de cada cilindro y la pared del tanque y de 100 mm (4") entre cilindros adyacentes, como mínimo. El nivel del agua en el tanque se debe mantener, al menos, 100 mm (4") por encima de las caras superiores de los cilindros.

Nota 1: Es conveniente que el tanque contenga una tubería de rebose para controlar el nivel del agua. Se han usado muchos tipos de tanques con éxito. En el Anexo A se presentan algunas guías al respecto.

5.3.1.2 El tanque debe estar equipado con elementos de control térmico que sean capaces de: (1) proveer la temperatura especificada en el agua, (2) mantener la temperatura del agua dentro de ± 3° C (± 5° F) respecto del valor especificado, en cualquier punto del agua, y (3) limitar la caída de la temperatura del agua, después de la inmersión de los especímenes, a menos de 3° C (5° F), y retornarla al valor especificado en un tiempo de 15 minutos. Además del termostato, se requieren termómetros u otros instrumentos de medición de la temperatura, para verificar la temperatura del agua.

Nota 2: Dependiendo de las características del tanque, podría ser necesario un aislamiento y/o agitación mecánica, para satisfacer el requerimiento especificado de temperatura. Se considera como una forma apropiada de calentamiento, el uso

de calentadores eléctricos de inmersión controlados por un termostato. El tamaño de los elementos de calentamiento requeridos dependerá del tamaño del tanque y del número de especímenes que van a ser curados simultáneamente.

5.3.1.3 La placa de apoyo de los especímenes debe ser perforada, con el fin de permitir la circulación del agua.

5.3.1.4 Para el procedimiento B, se requiere que el tanque tenga una tapa ajustada para reducir la evaporación. Este requisito es opcional en el procedimiento A.

5.3.2 *Recipiente de curado para el procedimiento C:*

5.3.2.1 El recipiente consiste en un aislante térmico que mantiene el calor y rodea de cerca los especímenes de concreto.

5.3.2.2 El recipiente debe tener la posibilidad de ser abierto para permitir la inserción o retiro de los especímenes. Además, debe contener una cubierta externa y un revestimiento interno para proteger el aislante térmico de daños mecánicos.

5.3.2.3 El recipiente debe tener un termómetro que registre máximos y mínimos, el cual no debe estar aislado de los especímenes de concreto (Ver nota 10).

5.3.2.4 El recipiente debe tener una tapa u otros medios para brindar un cierre seguro durante el tiempo de curado especificado. La tapa debe incluir un sello térmico que debe satisfacer los requerimientos del numeral 10.2.2.

5.3.2.5 El recipiente debe tener la capacidad de albergar uno o dos especímenes de concreto.

Nota 3: En el Anexo A se muestran algunos ejemplos de recipientes apropiados. Cualquier configuración es aceptable, siempre que satisfaga los requerimientos del numeral 10.2.

5.3.3 *Aparato de curado para el procedimiento D:*

5.3.3.1 El aparato de curado consiste en un sistema de carga que aplica la presión especificada a los especímenes de concreto y a los moldes especiales para mantener los especímenes a una temperatura determinada durante el período de curado. El aparato de curado puede tener cualquier configuración que

sea adecuada para el número de especímenes de concreto que se van a ensayar. En el Anexo A se describe un aparato adecuado para el curado de tres especímenes.

5.4 *Aparato para el refrentado de los cilindros:*

- 5.4.1 Si los especímenes requieren refrentado, se debe usar el equipo especificado en las normas INV E-403 o INV E-408.

6 MATERIALES

- 6.1 Compuesto para el refrentado o tapas no adheridas, para usar cuando las bases de los cilindros resulten inapropiadas para la ejecución del ensayo sin refrentar.

7 RIESGOS

- 7.1 Se deben aplicar todas las precauciones normales de laboratorio y campo al realizar las operaciones de muestreo, moldeo, curado y ensayo del concreto.
- 7.2 Se deben tomar medidas adicionales de seguridad cuando se use el procedimiento B, con el fin de prevenir escaldados u otras quemaduras como resultado del uso de agua hirviendo como medio de curado.
- 7.3 También, se deben tomar medidas adicionales de seguridad cuando se use el procedimiento D, con el fin de prevenir lesiones debido a las elevadas temperaturas y presiones usadas para el curado.

8 MUESTREO

- 8.1 Se determina el número de ensayos requeridos para un lote de concreto o un proceso de producción. Se usa un plan aleatorio o sistemático que provea el número de ensayos necesarios para caracterizar la resistencia del concreto usado en la construcción.
- 8.2 Si el lote o la producción son estratificados por sub-lotes, las muestras se localizan usando un procedimiento aleatorio estratificado. Si las circunstancias

recomiendan un enfoque no estratificado, se deberá usar un procedimiento aleatorio.

Nota 4: Un procedimiento de muestreo aleatorio estratificado se puede implementar dividiendo cada lote de concreto en un número de sub-lotes de igual tamaño y seleccionando al azar una muestra de cada sub-lote. El número de sub-lotes debe ser igual al número de muestras que se programaron para ser tomadas del lote. Por ejemplo, si los requerimientos de la obra determinan que cada 500 m³ de concreto se deben tratar como un lote y que se deben tomar cinco muestras de cada lote para determinar la resistencia a la compresión, se divide el lote en cinco sub-lotes iguales de 100 m³ cada uno. Luego, se obtiene al azar una muestra de cada sub-lote. Los resultados de los ensayos de las cinco muestras obtenidas de esta manera proveen estimativos no sesgados de la resistencia a la compresión del lote de 500 m³. Este es el enfoque más práctico para asegurar que las muestras obtenidas incluyen el rango entero del concreto en el proceso de producción. Si se presentan sub-lotes de tamaño desigual debido al proceso constructivo, la ponderación de los resultados de los ensayos puede ser un medio apropiado para mantener la imparcialidad y la justificación del procedimiento de muestreo.

Nota 5: La norma INV E-730 contiene una tabla de números aleatorios y las instrucciones para su uso.

9 PREPARACIÓN DE LOS APARATOS

- 9.1** *Métodos A y B* – Se activan los elementos de control térmico al menos una hora antes de comenzar los ensayos programados, para permitir la estabilización de la temperatura del agua y del equipo.
- 9.2** *Método C* – Se deben realizar los ensayos especificados en la Sección 10 antes de dar comienzo a los ensayos programados.
- 9.3** *Método D* – Se limpian y se verifican los moldes y las tapas de cierre antes de comenzar un ensayo. Se normaliza el sistema de carga en concordancia con lo indicado en la Sección 10 antes de dar comienzo a los ensayos programados.

10 NORMALIZACIÓN

- 10.1** Para todos los métodos, se deben verificar en forma periódica la calibración de la medida de la temperatura, el control y los componentes de registro.
- 10.2** *Requerimientos del Método C:*

10.2.1 *Retención de calor* – Se coloca dentro del recipiente de curado autógeno un recipiente cilíndrico hermético con dimensiones internas de 300 mm (12") de altura por 150 mm (6") de diámetro. Se llena el recipiente con agua a una temperatura de 82° C (180° F), hasta una altura dentro los 6 mm (¼") del borde. Se inserta una termocupla en el

agua y se mide la temperatura inicial de ésta con un dispositivo de lectura confiable. A continuación, se sella el recipiente con una cubierta o bolsa plástica y se cierra el recipiente autógeno de curado. Cuando éste es almacenado en un ambiente de aire en calma a $21 \pm 1^\circ \text{C}$ ($70 \pm 2^\circ \text{F}$), los requerimientos de temperatura del agua son los siguientes:

TIEMPO TRANSCURRIDO, HORAS	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{F}$
12	67 ± 3	152 ± 5
24	58 ± 3	136 ± 6
48	45 ± 4	114 ± 7
72	38 ± 4	100 ± 8

10.2.2 *Ensayo de impermeabilidad del sello aislante de calor* – Cuando el recipiente de curado autógeno se sumerge en agua a una profundidad de 150 mm (6") por encima de la junta entre las partes separables, no deberá haber escape de aire a través del sello aislante en un período de 5 minutos.

10.2.3 *Estabilidad del recipiente* – El recipiente, o cualquier parte de él, no podrá presentar fisuras, fracturas o distorsiones cuando se mantiene a una temperatura ambiente de -30°C (-20°F) por 72 horas, ni ablandamientos o distorsiones cuando se mantiene a una temperatura ambiente de 60°C (140°F) por 72 horas. El sello aislante de calor debe recobrar totalmente su espesor original inmediatamente después de un 50 % de compresión bajo las condiciones de temperatura recién indicadas.

10.3 *Requerimientos del Método D:*

10.3.1 Se debe verificar periódicamente la calibración del componente de carga. Si éste se emplea también para someter los especímenes al ensayo de compresión, se deben seguir los requerimientos de la norma INV E-410.

11 ACONDICIONAMIENTO

11.1 Los períodos de curado relativamente cortos usados en este método requieren que se preste una particular atención al acondicionamiento de los equipos y

de los especímenes de ensayo. Se deben cumplir fielmente los requerimientos sobre temperatura y tiempo de cada método.

12 PROCEDIMIENTO

12.1 Procedimiento A – Método del agua caliente:

12.1.1 Preparación de los especímenes de ensayo – Los especímenes se moldean tal como se establece en las normas INV E-402 o INV E-420, la que resulte aplicable.

12.1.2 Curado:

12.1.2.1 Si es necesario, se cubre la parte superior de los especímenes con una placa rígida, para prevenir la pérdida del mortero hacia el baño de agua.

12.1.2.2 Inmediatamente después del moldeo, los especímenes de concreto se colocan en el tanque de curado (nota 6). Se mantiene el agua a una temperatura de $35 \pm 3^\circ \text{C}$ ($95 \pm 5^\circ \text{F}$) durante el instante de la inmersión y durante todo el período de curado.

Nota 6: Si los especímenes son fundidos en moldes que cumplen los requerimientos del numeral 5.2.1, se podrán almacenar horizontalmente; de lo contrario, se deberán almacenar verticalmente en el tanque de curado.

12.1.2.3 Se registra la temperatura del agua de forma continua o periódica durante todo el tiempo de curado.

12.1.2.4 Después de un tiempo de curado de $23.5 \text{ h} \pm 30 \text{ min}$, se retiran los especímenes del tanque y se remueven los moldes.

12.1.3 Refrentado y ensayo:

12.1.3.1 Se refrentan las bases de los especímenes que no sean planas o que se aparten de la perpendicularidad en relación con el eje central en más de 0.5° (aproximadamente el equivalente a 10 mm/m o $1/8''$ en $12''$), como se indica en las normas INV E-403 o INV E-408 (nota 7).

Nota 7: Se permite el esmerilado de cilindros para garantizar superficies planas, siempre y cuando los especímenes se ensayen dentro de los límites especificados.

12.1.3.2 Para capas de refrentado adheridas, se debe usar un material de refrentado que al ser ensayado de acuerdo con la norma INV E-403 desarrolle, en un tiempo de 30 min, una resistencia igual o mayor que la resistencia de los especímenes que se van a ensayar.

12.1.3.3 Si se usan capas de refrentado adheridas, los especímenes no se deberán ensayar antes de los 30 min siguientes al refrentado.

12.1.3.4 Los especímenes se ensayan en un tiempo de 24 h \pm 15 min, según lo establece la norma de ensayo INV E-410.

12.2 Procedimiento B – Método del agua hirviendo:

12.2.1 *Preparación de los especímenes de ensayo* – Los especímenes se deben preparar de acuerdo con lo indicado en el numeral 12.1.1.

12.2.2 *Curado inicial* – Los especímenes se deben cubrir para prevenir la pérdida de humedad y se almacenan para que no presenten alteraciones. Se mantiene el área de almacenamiento a una temperatura de 21 \pm 6° C (70 \pm 10° F). Se deben atender los requerimientos de la norma INV E-420 en relación con la protección y el almacenamiento de los especímenes de ensayo.

Nota 8: Es necesaria una estricta atención en la protección y almacenamiento de los especímenes durante este período inicial para obtener resultados significativos, debido al reducido período de curado total.

12.2.3 *Curado acelerado:*

12.2.3.1 A las 23 h \pm 15 min después del moldeo, se colocan los moldes cubiertos en el tanque de agua (nota 9). Se mantiene en ebullición la temperatura del agua tanto en el instante de la inmersión como durante todo el período de curado (nota 10).

Nota 9: Precaución – Además de otras precauciones, el operador debe usar vestimenta apropiada y protección para los ojos, cara, manos y brazos, para prevenir lesiones por repentinas fugas de vapor cuando se abre el recipiente o se sumergen los cilindros en el agua hirviendo. Se sugiere el uso de tenazas para descender lentamente los moldes en el agua sin producir salpicaduras.

Nota 10: En lugares confinados, la temperatura del agua se puede mantener por debajo del punto de ebullición para evitar una evaporación excesiva. La temperatura a la cual el agua hierve varía según la elevación sobre el nivel del mar. Diferencias en las resistencias, causadas por diferencias en las temperaturas, no se consideran significativas, pero la comparación de resultados entre las áreas así afectadas, debe ser soportada por correlaciones apropiadas e interpretadas con el conocimiento de las variaciones de temperatura.

12.2.3.2 Se debe registrar la temperatura del agua de forma continua o periódica durante el tiempo de curado.

12.2.3.3 Después de un curado de $3.5 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$, se retiran los especímenes del agua hirviendo, se remueven los moldes y se dejan enfriar los especímenes a temperatura ambiente, al menos durante una hora, antes de someterlos a refrentado.

12.2.4 Refrentado y ensayo – Los especímenes se deben refrentar y se ensayar en concordancia con lo indicado en el numeral 12.1.3, excepto que la edad en el instante del ensayo debe ser de $28.5 \text{ h} \pm 15 \text{ min}$.

12.3 Procedimiento C – Método autógeno:

12.3.1 Preparación de los especímenes de ensayo – Los especímenes se deben preparar de acuerdo con lo indicado en el numeral 12.1.1.

Nota 11: Los moldes metálicos reutilizables con placas y mordazas en sus extremos, pueden resultar inaceptables para este procedimiento.

12.3.2 Curado:

12.3.2.1 Inmediatamente después del moldeado, el molde se cubre con una placa metálica o una tapa ajustada y se coloca en una bolsa plástica de trabajo pesado, de la cual se debe expeler tanto aire atrapado como sea posible antes de su cierre. Alternativamente, se puede usar una caja plástica impermeable. La bolsa plástica debe ser suficientemente fuerte para resistir pinchazos y servir como elemento de sujeción para colocar y remover el espécimen del recipiente autógeno.

12.3.2.2 Se ajusta el termómetro de máximas y mínimas y, una vez insertado el espécimen en el recipiente, se asegura la tapa de éste.

12.3.2.3 Se registran el tiempo de moldeado con una precisión de 15 min, y la temperatura de las mezclas frescas de concreto en el molde sobre la parte exterior del recipiente de curado.

12.3.2.4 Se almacena el recipiente de curado durante 12 horas, como mínimo, en un sitio que no esté sometido a perturbaciones o a la luz del sol y, preferiblemente, a una temperatura de $21 \pm 6^\circ \text{C}$ ($70 \pm 10^\circ \text{F}$).

12.3.2.5 A las $48 \text{ h} \pm 15 \text{ min}$ después de moldeado el espécimen, se retira del recipiente de curado y se remueve el molde. Se deja el espécimen en reposo por 30 min a temperatura ambiente.

12.3.2.6 Se registran la temperatura máxima y la temperatura mínima en el recipiente.

Nota 12: La comparación de las temperaturas máxima y mínima registradas por el termómetro en el concreto fresco, proporcionará una indicación de un curado anormal o interrumpido, lo cual puede dar lugar a resultados de resistencias altas o bajas.

12.3.3 Refrentado y ensayo – Los especímenes se deben refrentar y ensayar en concordancia con lo indicado en el numeral 12.1.3, excepto que la edad en el instante del ensayo debe ser de $49 \text{ h} \pm 15 \text{ min}$.

Nota 13: El refrentado y el ensayo se pueden realizar en un tiempo diferente del especificado en el numeral 12.3.3. Algunas entidades que usan este procedimiento han establecido, por conveniencia, relaciones entre los resultados obtenidos a las 24, 72 y 96 h y los obtenidos luego de un curado húmedo convencional. Sin embargo, a las 24 h la relación es menos satisfactoria que las obtenidas mediante curado autógeno acelerado por 48, 72, o 96 h. Cuando el período de curado es diferente al especificado en el numeral 12.3.3, la edad a la cual se realiza el ensayo debe ser la del período de curado más una hora. La tolerancia de $\pm 15 \text{ min}$ es aplicable.

12.4 Procedimiento D – Método de alta temperatura y presión:

12.4.1 Preparación de los especímenes de ensayo:

12.4.1.1 Para los aparatos de curado descritos en el Anexo A, los moldes son cilindros de $75 \times 150 \text{ mm}$ ($3 \times 6''$). Se sellan los moldes con sus tapones de base antes de ser llenados con el concreto.

12.4.1.2 El procedimiento D está limitado a concretos que contengan un agregado de tamaño máximo de 25 mm (1"). Si contiene

partículas de mayor tamaño, se deberá realizar un tamizado húmedo de acuerdo con la norma INV E-401.

12.4.1.3 Se vierte el concreto en los moldes en dos capas iguales y se golpea cada capa 10 veces con una varilla. Se enrasa la superficie superior del concreto con una herramienta especial (ver Figura 412A - 3) para lograr una superficie con la nivelación requerida para recibir el tapón metálico superior que transmite al concreto en el molde la presión designada de 10.3 ± 0.2 MPa (1500 ± 25 lbf/pg²).

12.4.2 Curado:

12.4.2.1 Inmediatamente después del moldeo, se cubre cada molde con un tapón de metal para sellar el concreto dentro del molde durante el proceso de curado.

12.4.2.2 Se apilan los moldes verticalmente y se colocan en el aparato de carga descrito en la Sección 5.3.3.1. Se aplica y mantiene una presión de 10.3 ± 0.2 MPa (1500 ± 25 lbf/pg²) sobre el concreto en los moldes.

12.4.2.3 Se activa el elemento calentador especificado en el numeral 5.2.2.3, para elevar la temperatura del espécimen a $150 \pm 3^\circ$ C ($300 \pm 5^\circ$ F) en un tiempo de $30 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$. El período de curado comienza cuando se activa el calentador.

12.4.2.4 El período de curado dura $5 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$. Durante las primeras tres horas se mantiene la temperatura del espécimen en $150 \pm 3^\circ$ C ($300 \pm 5^\circ$ F). Después de las tres horas se apaga el elemento calefactor y se mantiene la presión en 10.3 ± 0.2 MPa (1500 ± 25 lbf/pg²) durante el tiempo restante de curado.

12.4.2.5 Al finalizar el período de curado se libera la presión, se remueven los moldes del aparato de carga y se extraen los especímenes de los moldes.

*Nota 14: **Precaución:** El uso de altas temperaturas y presiones impone la necesidad de medidas de seguridad para prevenir escozor o quemaduras en los ojos, como resultado de escapes súbitos de vapor al remover los tapones de los moldes. Adicionalmente, se requieren otras precauciones como protección de ojos, cara y manos mientras se remueven los especímenes de los moldes. Se sugiere remover los tapones en una dirección opuesta a la del operador.*

Nota 15: Se pueden usar revestimientos plásticos de polipropileno dentro de los moldes, para facilitar la extracción del concreto curado de los moldes.

12.4.3 Refrentado y ensayo:

12.4.3.1 Normalmente, los especímenes no necesitan ser refrentados para el ensayo, por cuanto los tapones metálicos producen superficies planas de contacto. Si las superficies de las bases no cumplen con los requerimientos establecidos en el numeral 12.1.3.1, los especímenes se deben refrentar en concordancia con lo indicado en el numeral 12.1.3.

12.4.3.2 Se ensayan los especímenes a la compresión de acuerdo con la norma INV E-410, dentro de los 15 min posteriores a su remoción de los moldes. Si se requiere refrentarlos, se ensayarán 30 min después del refrentado.

Nota 16: El aparato de carga usado para el periodo de curado también puede ser diseñado como una máquina de ensayo de compresión. (Ver Anexo A).

13 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

13.1 Los requerimientos sobre resistencia en códigos y especificaciones existentes no se basan en los resultados de curados acelerados; por lo tanto, se debe tener gran precaución al aplicar los resultados de este método en la predicción de las resistencias futuras. Como se establece en la Sección 15, la variación de resultados por este método es similar a la obtenida por los métodos tradicionales. Por lo tanto, los resultados se pueden usar en una evaluación rápida de la variabilidad del proceso de control y para señalar la necesidad de hacer ajustes en el mismo. Por otra parte, la magnitud de los valores de resistencia obtenidos es afectada por la combinación específica de materiales, de manera que el uso de los resultados, ya sea de ensayos convencionales a cualquier edad o de este método, debe ser soportado por la experiencia o por correlaciones desarrolladas por los laboratorios para las condiciones y materiales locales.

13.2 Cuando este ensayo se usa como un medio para estimar la resistencia de un espécimen curado por un método tradicional a una edad específica, se deben emplear métodos estadísticos que tengan en cuenta las incertidumbres asociadas con la elaboración de estos estimativos. El Anexo B provee un método aceptable para este propósito. Antes de usar este método para determinar resistencias futuras bajo condiciones de curado normal, todas las

partes interesadas deberán estar de acuerdo sobre el método estadístico que se usará y sobre la manera como se van a interpretar los resultados. Si el método es empleado con fines de aceptación, en los documentos del proyecto se deberá dejar la constancia del criterio de aceptación.

Nota 17: Un criterio recomendado para la aceptación del concreto sobre la base de un ensayo acelerado de resistencia, consiste en que el límite inferior del intervalo de confianza del 90 % de la resistencia promedio estimada de la muestra ensayada debe cumplir el criterio de aceptación de los cilindros curados en húmedo de forma convencional.

14 INFORME

14.1 Se debe reportar la siguiente información para cada espécimen ensayado:

14.1.1 Número de identificación.

14.1.2 Diámetro y longitud, mm (pg.).

14.1.3 Sección transversal, mm² (pg²).

14.1.4 Carga máxima, N (lbf).

14.1.5 Resistencia a la compresión, calculada con redondeo a 0.10 MPa (10 lbf/pg²).

14.1.6 Tipo de fractura.

14.1.7 Defectos en el espécimen y en el refrentado.

14.1.8 Edad del espécimen.

14.1.9 Procedimiento usado para el curado acelerado .

14.1.10 Temperaturas máxima y mínima, con aproximación a 1° C (1° F) si se utiliza el procedimiento C.

14.1.11 Si es aplicable, el método de transporte usado para el envío del espécimen al laboratorio.

14.1.12 Temperatura ambiente del espécimen durante el curado inicial en el procedimiento B, o del recipiente durante el almacenamiento en el procedimiento C.

15 PRECISIÓN Y SESGO

- 15.1** *Precisión* – La información usada para preparar las siguientes declaraciones de precisión fue obtenida usando medidas del sistema inglés.
- 15.2** Se determinó que el coeficiente de variación de un solo laboratorio para especímenes fabricados de una misma amasada es de 3.6 % para cilindros de dimensiones 150 × 300 mm (6 × 12") en los procedimientos A, B y C y de 6.7 % para cilindros de dimensiones 75 × 150 mm (3 × 6"), en el procedimiento D. En consecuencia, para cilindros de 150 × 300 mm (6 × 12") ensayados en correspondencia con los Procedimientos A, B y C, los resultados de dos ensayos de resistencia conducidos individualmente, en un mismo laboratorio y elaborados de una misma amasada, no deben diferir en más del 10.1 % de su promedio. Para cilindros de 75 × 150 mm (3 × 6") ensayados con el procedimiento D, la diferencia máxima aceptable entre tres pruebas individuales es 22.1 %.
- 15.3** Se determinó que el coeficiente de variación de un solo laboratorio para los resultados de ensayos entre amasadas fabricadas en días diferentes es de 8.7 % para cilindros de dimensiones 150 × 300 mm (6 × 12") usados en los procedimientos A, B y C, y de 20 % para cilindros de 75 × 150 mm (3 × 6"), usados en el procedimiento D. El resultado de un ensayo es el promedio de las resistencias de dos especímenes para los procedimientos A, B y C. Si se usa el procedimiento D, el resultado es el promedio de las resistencias de tres especímenes. En consecuencia, los resultados de resistencia de dos ensayos apropiadamente conducidos a partir de diferentes amasadas con los mismos materiales y fabricadas en días diferentes, no deben diferir en más de 24.4 % de su valor promedio para cilindros de 150 × 300 mm (6 × 12"), ni en más de 56 % para cilindros de 75 × 150 mm (3 × 6").

16 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 684–99 (2003) (retirada 2012)

ANEXO A (Informativo)

APARATOS DE CURADO

A.1 Tanque de curado acelerado (Procedimientos A y B).

A.1.1 Se han empleado satisfactoriamente tanques de curado similares a los mostrados en la Figura 412A - 1.

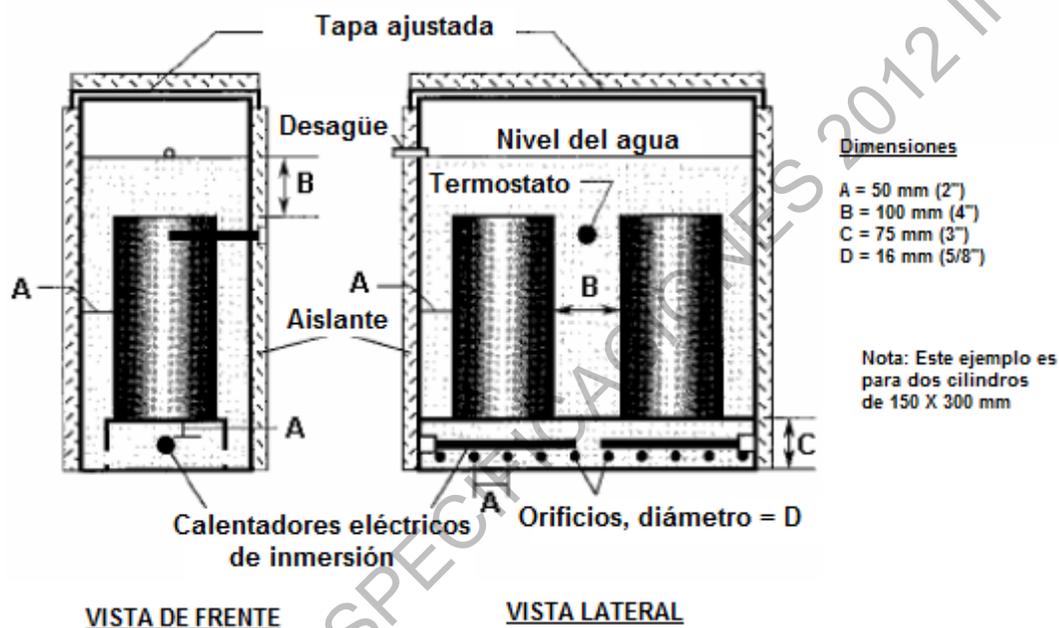


Figura 412A - 1. Diseño sugerido para un tanque de curado acelerado (Procedimientos A o B)

A.1.2 Un diseño adecuado de tanques asegurará una propagación casi totalmente uniforme de la temperatura en ellos, sin necesidad de agitación mecánica. Los calentadores de inmersión se localizan en la parte central y tan cerca del fondo del tanque como sea posible. El agua por encima del calentador se debe mantener en circulación mediante corrientes de convección.

A.1.3 Para un tanque que contenga dos o tres especímenes, se ha determinado que dos elementos acoplados (1500 y 5000 W) son satisfactorios para su uso en el procedimiento B. Mientras el elemento de menor tamaño mantiene la temperatura especificada de curado, el más grande funciona como un elevador para restablecer la ebullición en el tiempo especificado una vez que los especímenes han sido

sumergidos. Si el tanque se emplea solamente para el procedimiento A, los calentadores ya mencionados son también adecuados, pero es suficiente un solo calentador de 3000 W, con el cual el tanque puede ser de mayores dimensiones para albergar más de dos o tres especímenes cuando se usa para el Procedimiento A.

A.1.4 El rebosadero situado cerca de la tapa y el aislante exterior no son esenciales en los tanques de curado que se emplean únicamente para el Procedimiento A.

A.2 *Recipiente autógeno de curado (Procedimiento C).*

A.2.1 Se han usado satisfactoriamente recipientes similares a los mostrados en la Figura 412A - 2.

A.2.2 En la figura no se muestra el espacio para el termómetro de máxima y mínima, ni los elementos para la apertura del recipiente, para asegurarlo cuando está cerrado y para levantarlo.

A.2.3 Se requiere un sello térmico en la cara de unión situada entre las partes separables del recipiente. El sello puede ser de los tipos laberinto o empaque, que cumpla los requerimientos descritos en los numerales 10.2.1, 10.2.2, y 10.2.3. Un empaque apropiado puede ser espuma de poliuretano (32 kg/m^3 o 2 lb/pe^3) mantenida al 50 % de compresión cuando se cierra.

A.2.4 Se ha determinado que la espuma de poliuretano de celda cerrada, con una densidad entre 32 y 48 kg/m^3 y un coeficiente de conductividad térmica igual o menor a $0.02 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ($0.15 \text{ BTU}\cdot\text{pg/h}\cdot\text{pie}^3\cdot\text{F}$), es un material aislante adecuado con los espesores especificados para satisfacer la retención de calor, según se indica en el numeral 10.2.1.

A.2.5 El termómetro de máxima y mínima debe cubrir un rango entre -10 y $+65^\circ \text{ C}$ (20 a 150° F) con incrementos de 1° .

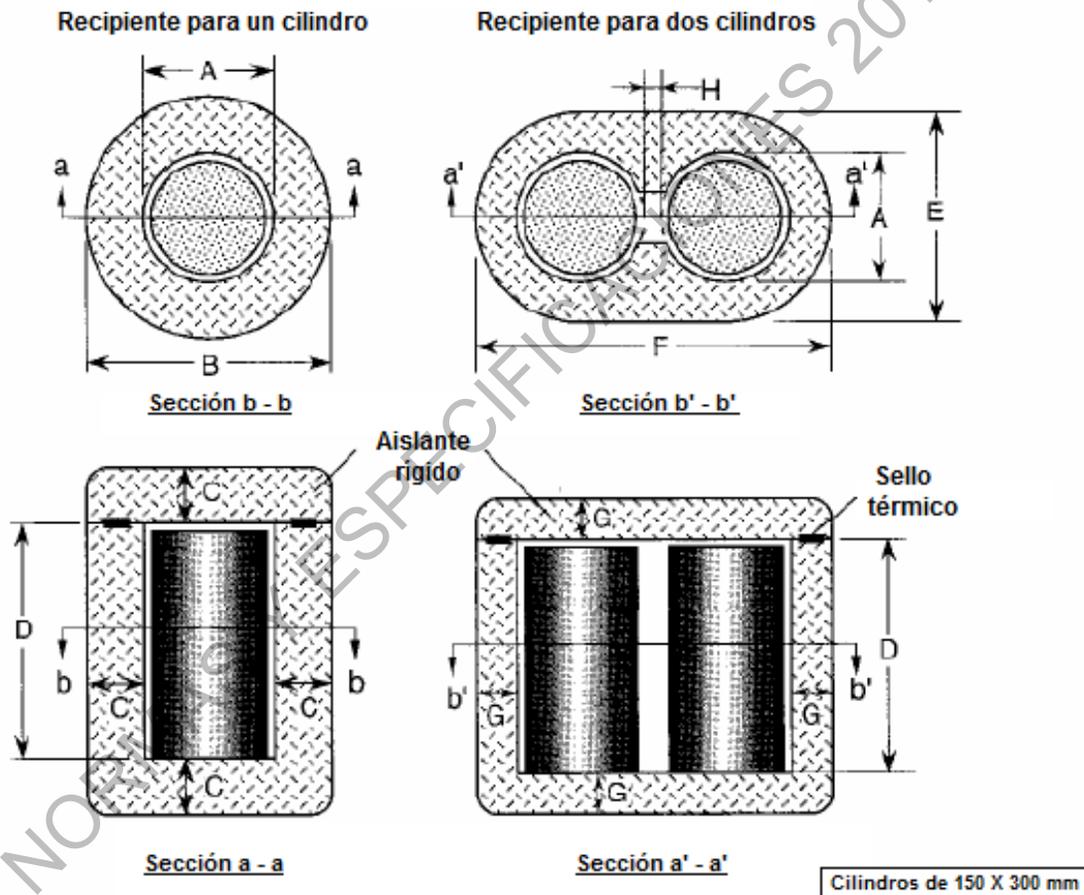
A.3 *Equipo de alta presión y temperatura (Procedimiento D).*

A.3.1 En la Figura 412A - 3 se muestra un equipo para la realización del Procedimiento D.

A.3.2 Moldes apropiadamente diseñados asegurarán una distribución casi uniforme de la temperatura a través del concreto. Las resistencias

están menos espaciadas cerca de los bordes del molde, y más espaciadas en la parte central.

A.3.3 Para un molde cilíndrico de 75 × 150 mm (3 × 6"), un calentador de 100 W elevará y mantendrá la temperatura especificada durante el período de curado. El aislamiento de fibra de vidrio R20 es suficiente para el elemento calefactor sugerido y el ciclo de curado requerido. Cada molde tiene su propio circuito eléctrico, de modo que si uno deja de funcionar, permanecerán dos moldes para curar satisfactoriamente dos especímenes. El sistema eléctrico debe tener indicadores de corriente, un temporizador y una alarma para lograr un proceso de curado automático y de sencilla verificación.

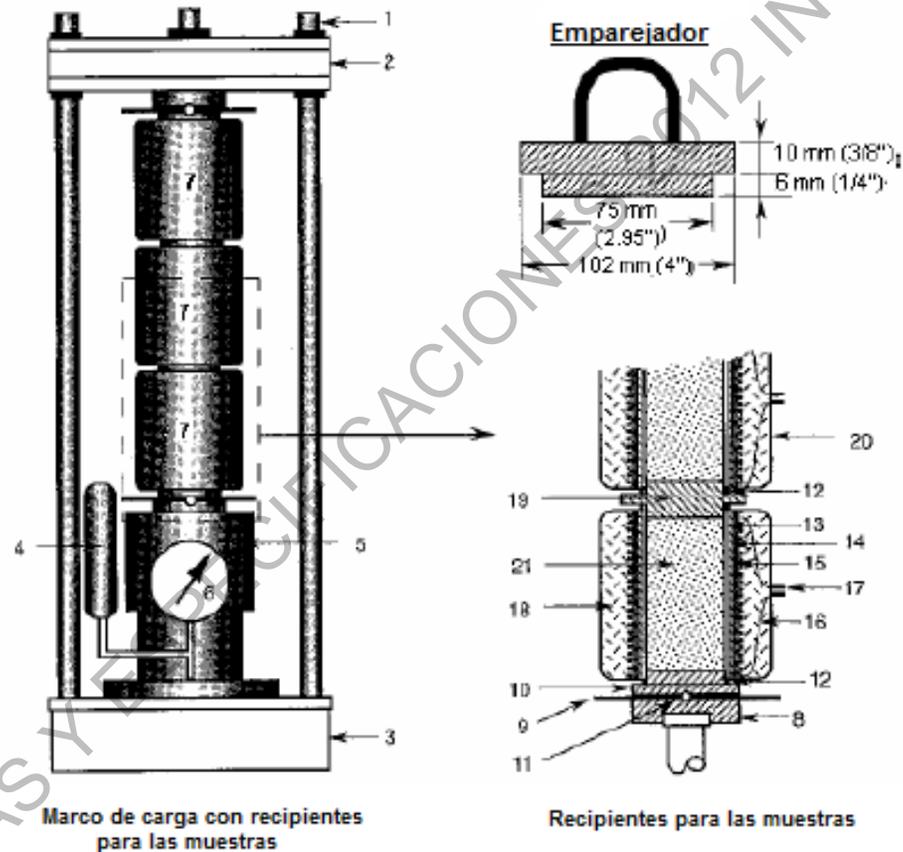


Dimensiones

A = 162 a 165 mm (6-3/8 a 6-1/2")	E = 290 a 293 mm (11-3/8 a 11-1/2")
B = 314 a 317 mm (12-3/8 a 12-1/2")	F = 464 a 483 mm (18-1/4 a 19")
C = 76 mm (3")	G = 64 mm (2-1/2")
D = 311 mm (12-1/4")	H = 13 a 25 mm (1/2 a 1")

Figura 412A - 2. Recipiente de curado autógeno para uno o dos cilindros (Procedimiento C)

- A.3.4** El gato hidráulico y el acumulador deben estar equipados con un medidor de presión que indique la presión que se está aplicando al concreto en los moldes. El acumulador debe estar calibrado de manera que mantenga la presión requerida de 10.3 ± 0.2 MPa (1500 ± 25 lbf/pg²).
- A.3.5** Es deseable usar el aparato para ensayar los especímenes; en tal caso, deberá estar diseñado para funcionar como una máquina para ensayos de compresión, como se describe en la norma INV E-410.



Nomenclatura

- | | | |
|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1. Barras de conexión | 8. Cabezal del disco de soporte | 15. Aislante de alambre |
| 2. Cabezal del equipo | 9. Pantalla térmica | 16. Alambre de calefacción |
| 3. Base | 10. Cubierta y émbolo | 17. Conector eléctrico |
| 4. Acumulador | 11. Esfera de carga | 18. Aislante de fibra de vidrio |
| 5. Gato hidráulico | 12. Anillo-O | 19. Émbolo |
| 6. Medidor de presión | 13. Revestimiento plástico | 20. Revestimiento del contenedor |
| 7. Contenedor de muestras | 14. Molde cilíndrico | 21. Especímen de concreto |

Figura 412A - 3. Esquema del aparato de curado de alta presión y temperatura (Procedimiento D)

ANEXO B (Informativo)

ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA FUTURA A LA COMPRESIÓN

B.1 Ecuación de regresión.

B.1.1 Para estimar la probable resistencia futura a la compresión de especímenes de concreto a partir de los resultados de ensayos acelerados, el laboratorio debe conducir suficientes ensayos, con el propósito de encontrar la relación entre los dos tipos de resistencia. Esto requiere, generalmente, la preparación de una serie de seis a diez mezclas, con relaciones de agua/cemento variando en el rango máximo verosímil que se pueda encontrar durante la construcción. Dichas mezclas deben incluir materiales similares a los que serán utilizados en la obra. Para obtener la ecuación de la recta que relaciona las resistencias obtenidas por métodos convencionales de curado con las obtenidas a partir de ensayos de curado acelerado, es suficiente un análisis de regresión de mínimos cuadrados. Esta relación es aplicable sólo para los materiales específicos y el procedimiento de ensayo acelerado utilizado. Se deben establecer franjas de confianza a la línea de regresión establecida, con el fin de tener en cuenta la incertidumbre de la recta resultante. Así, para un nuevo ensayo de resistencia acelerada, se puede estimar el intervalo de confianza de la resistencia futura. El procedimiento descrito en los numerales siguientes y el ejemplo ilustrativo se basan en trabajos de Wills¹ y Carino².

B.1.2 Se asume que la relación entre las resistencias obtenidas por métodos de curado convencional, las cuales se denominarán como Y, y las halladas por métodos de curado acelerado, que se denominarán como X, es una línea recta que se representa por la siguiente ecuación:

$$Y = a + b X \quad [412.1]$$

B.1.2.1 Sin embargo, para algunas clases de mezclas, la relación entre ambas resistencias no es lineal recta. En estos casos, los

¹ Wills M. H., "Early assessment of concrete quality by accelerating compressive strength development with heat (Results of ASTM Cooperative Test Program)", Journal of Testing and Evaluation, Vol 3, No. 4, July 1975, pp 251 – 262 .

² Carino N. J., "Prediction of potential strength at later ages", ASTM STP 169 C, Significance of tests and properties of concrete and concrete making materials, Paul Klieger and Joseph F. Lamond eds., 1994, pp 140 – 152 .

valores de las resistencias calculadas deben ser transformados tomando los respectivos logaritmos naturales. Los logaritmos naturales de las resistencias se deben usar para obtener los valores promedios de X y Y los cuales, a su vez, serán usados en cálculos posteriores. La última etapa de este procedimiento consiste en aplicar la exponenciación para convertir los intervalos de confianza calculados en valores de resistencia.

- B.1.3** Se asume que “n” pares de valores (X_i , Y_i) han sido obtenidos de ensayos de laboratorio, donde X_i y Y_i son, respectivamente, las resistencias promedios de los especímenes sometidos a curado acelerado y a curado convencional. Los valores de la ordenada al origen “a”, y de la pendiente “b”, de la línea recta, se determinan usando el análisis corriente de mínimos cuadrados:

$$b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad [412.2]$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad [412.3]$$

Donde:

$$S_{xy} = \sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \quad [412.4]$$

$$S_{xx} = \sum (X_i - \bar{X})^2 \quad [412.5]$$

$$\bar{X} = \sum \frac{X_i}{n} \quad [412.6]$$

$$\bar{Y} = \sum \frac{Y_i}{n} \quad [412.7]$$

- B.1.3.1** La desviación estándar residual de la recta de mejor ajuste, s_e , se obtiene con la siguiente expresión:

$$s_e = \sqrt{\frac{1}{n-2} \left[S_{yy} - \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}} \right]} \quad [412.8]$$

Donde:

$$S_{yy} = \sum (Y_i - \bar{Y})^2 \quad [412.9]$$

B.1.4 Para ilustrar el procedimiento, considérense las doce parejas de resistencias mostradas en las dos primeras columnas de la Tabla 412B - 1. Cada valor de resistencia es el promedio de las obtenidas en dos cilindros. Utilizando las ecuaciones antes descritas, se obtienen los siguientes valores:

$$\bar{X} = 16.30 \text{ MPa}$$

$$\bar{Y} = 38.90 \text{ MPa}$$

$$S_{xx} = 105.32 \text{ (MPa)}^2$$

$$S_{yy} = 164.14 \text{ (MPa)}^2$$

$$S_{xy} = 125.22 \text{ (MPa)}^2$$

B.1.4.1 La pendiente de la recta, b , y su ordenada al origen, a , se obtienen, respectivamente, como sigue:

$$b = 125.22/105.32 = 1.19$$

$$a = 38.90 - 1.19 \times 16.30 = 19.50 \text{ MPa}$$

B.1.4.2 En consecuencia, la ecuación que relaciona las resistencias obtenidas de un curado acelerado (X) con las de un curado convencional (Y), está dada por:

$$Y = 19.50 + 1.19 X \text{ (MPa)}$$

B.1.4.3 La Figura 412B - 1 muestra los doce pares datos y la línea recta de mejor ajuste. La desviación estándar residual de la recta, s_e , se obtiene como sigue:

$$s_e = \sqrt{\frac{1}{12 - 2} \left[164.14 - \frac{(125.22)^2}{105.32} \right]} = 1.23 \text{ MPa}$$

Tabla 412B - 1. Valores usados en un problema tipo para ilustrar el cálculo del intervalo de confianza para resistencias a los 28 días de curado

RESISTENCIA ACCELERADA, X_i , MPa	RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS, Y_i , MPa	RESISTENCIA ESTIMADA, Y , MPa	W_i , MPa	LÍMITE INFERIOR DE CONFIANZA, MPa	LÍMITE SUPERIOR DE CONFIANZA, MPa
12.06	33.71	33.85	1.50	32.35	35.35
12.15	34.33	33.96	1.48	32.48	35.44
12.96	35.23	34.92	1.30	33.62	36.22
13.85	35.05	35.98	1.12	34.86	37.10
15.19	37.74	37.58	0.92	36.66	38.50
16.09	37.21	38.65	0.86	37.79	39.51
17.08	40.71	38.92	0.89	38.93	40.71
18.15	40.97	41.10	1.02	40.08	42.12
18.24	41.96	41.20	1.03	40.17	42.23
18.42	41.60	41.42	1.06	40.36	42.48
20.12	45.73	43.44	1.41	42.03	44.85
21.28	42.50	44.82	1.69	43.13	46.51
Intervalo de confianza para estimar la resistencia a partir de una resistencia acelerada de 17.00 MPa					
17.00		39.73	0.89	38.84	40.62
16.40		39.01	0.86	38.15	
17.60		40.44	0.94		41.38

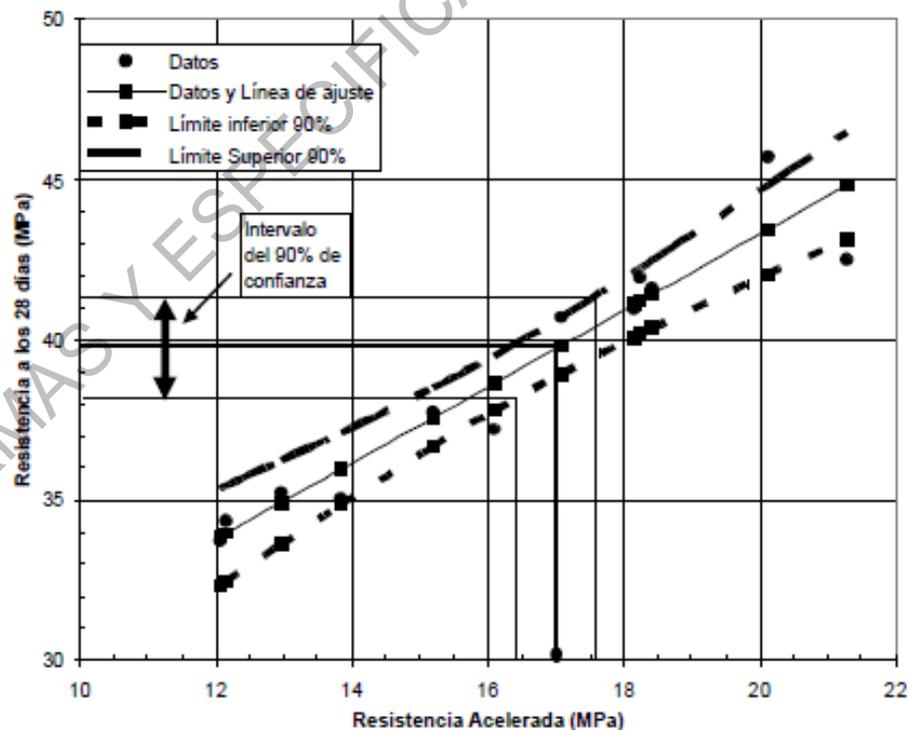


Figura 412B - 1. Franja de confianza para estimar la resistencia a los 28 días a partir de la medida de la resistencia acelerada, e intervalo del 90 % de confianza para una resistencia acelerada de 17 MPa

B.2 Franja de confianza para la recta de regresión.

B.2.1 Debido a las incertidumbres en la estimación de la pendiente y de la ordenada al origen de la recta, hay incertidumbre cuando la recta se usa para estimar la resistencia promedio bajo curado convencional, a partir de la resistencia medida bajo curado acelerado. Esta incertidumbre se puede expresar construyendo la franja del 90 % de confianza para la recta de regresión. Esta franja se obtiene calculando Y_i para valores seleccionados de X_i , usando la ecuación de la línea recta y graficando $Y_i \pm W_i$ contra X_i . El término W_i es la mitad del ancho de la franja de confianza de X_i , el cual se obtiene con la siguiente ecuación:

$$W_i = s_e \sqrt{2F \left[\frac{1}{n} + \frac{(X_i - \bar{X})^2}{S_{xx}} \right]} \quad [412.10]$$

- Donde: s_e : Desviación estándar residual para la línea de mejor ajuste (ecuación 412.8);
- F: Valor de la distribución-F para 2 y $(n - 2)$ grados de libertad y nivel de significación de 0.10;
- n: Número de puntos usados para establecer la línea de regresión;
- X_i : Valor seleccionado de resistencia acelerada;
- \bar{X} : Valor promedio de la resistencia acelerada para todos los datos usados para establecer la línea de regresión-

B.2.2 La tercera columna en la Tabla 412B - 1 presenta las resistencias promedio estimadas a los 28 días a partir de las resistencias aceleradas anotadas en la columna 1. El valor de W_i para cada valor de X_i se incluye en la cuarta columna de la tabla. Finalmente, las columnas 5 y 6 registran los valores de los límites de confianza inferior y superior del 90 %, los cuales se muestran en la Figura 412B - 1. Se debe anotar que el ancho de la banda de confianza es más angosto cuando X_i es igual a \bar{X} , porque el último término bajo la raíz cuadrada de la fórmula de W_i se hace igual a cero.

B.3 *Estimación de la resistencia futura.*

16.1.1 A manera de ejemplo, supóngase que el promedio de resistencia acelerada de dos cilindros hechos en la obra con un mismo concreto es de 17.0 MPa. A partir de la ecuación de regresión antes calculada, la resistencia promedio estimada a los 28 días de los cilindros curados de forma convencional es 39.7 MPa. Si la resistencia acelerada fue conocida sin error, el intervalo del 90 % de confianza para el promedio de resistencia a los 28 días debería variar entre 38.8 y 40.6 MPa (Ver parte inferior de la Tabla 412B - 1). Sin embargo, la resistencia acelerada tiene una incertidumbre que es descrita por la desviación estándar de una amasada, la cual se puede estimar a partir de las diferencias entre las resistencias aceleradas de pares de cilindros. Se asume que las resistencias a la compresión medidas sobre los cilindros preparados en la obra por el método específico de ensayo acelerado tienen un coeficiente de variación del 3 % dentro de la amasada. Por lo tanto, la desviación estándar, s , a una resistencia promedio de 17.0 MPa, es 0.51 MPa. El intervalo del 90 % de confianza para el promedio de resistencia acelerada de los dos cilindros es el siguiente:

$$17.0 \pm z_{0.05} \frac{s}{\sqrt{2}} = 17.0 \pm 1.645 \times 0.51 \times 0.707 = 17.0 \pm 0.6 \text{ MPa}$$

B.3.1.1 El valor de $z_{0.05}$ corresponde al 5% del área bajo la curva de la distribución normal estándar. Así, entonces, el intervalo de confianza de 90 % para la resistencia acelerada promedio varía entre 16.4 y 17.6 MPa. Proyectando los límites de este intervalo a las líneas de confianza inferior y superior de la recta de regresión, corresponderán a valores entre 38.2 y 41.4 MPa para un intervalo de confianza aproximado del 90 % para las resistencias de cilindros curados en forma convencional durante 28 días. Cada medida diferente de resistencia acelerada produce un nuevo intervalo de confianza para la resistencia promedio a los 28 días.

B.3.2 Una vez que la ecuación de regresión comience a ser usada en el proyecto, se deben preparar cilindros compañeros a la par con los cilindros que se usarán en pruebas de curado acelerado. Los cilindros compañeros serán sometidos a un curado convencional y se ensayarán a la compresión en el tiempo previsto. Las resistencias medidas en condiciones normales se deben comparar con los intervalos de confianza para las resistencias estimadas basadas en los valores

obtenidos de resistencia acelerada. Si las resistencias medidas caen por fuera de los intervalos de confianza estimados, resultan cuestionables la confiabilidad de la línea de regresión y los parámetros estadísticos asociados con la misma. Los resultados de nuevos cilindros compañeros se deben agregar al juego de datos de laboratorio para calcular una nueva recta de regresión y sus correspondientes parámetros estadísticos. Esta nueva recta se debe usar para las estimaciones posteriores de las resistencias futuras. La fabricación de nuevos cilindros compañeros para ambas condiciones de curado (acelerada y normal) deberá continuar hasta que las resistencias medidas caigan de manera consistente en los intervalos de confianza correspondientes. Una vez que ha sido demostrada la confiabilidad del procedimiento, los cilindros compañeros se deberán elaborar a intervalos aleatorios para reconfirmar que el procedimiento continúa siendo confiable.

B.4 *Resumen.*

- B.4.1** Se ha descrito un procedimiento para estimar la resistencia promedio a los 28 días de cilindros sometidos a curado convencional, a partir de los resultados de ensayos de resistencia acelerada. El procedimiento tiene en cuenta las incertidumbres de la recta de regresión y de la resistencia acelerada medida. Es insuficiente usar simplemente la recta de regresión para convertir la resistencia acelerada en una resistencia equivalente a los 28 días. Finalmente, se enfatiza que una ecuación de regresión particular sólo es válida para un procedimiento específico de ensayo acelerado y una combinación de materiales. En consecuencia, cada laboratorio debe realizar suficientes ensayos con una serie de materiales dados y un procedimiento seguro para establecer la línea de regresión y las franjas de confianza, antes de que sea posible realizar estimaciones de las resistencias bajo curado convencional.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE REBOTE (ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO) EN EL CONCRETO ENDURECIDO

INV E – 413 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este método de ensayo presenta el procedimiento para determinar el número de rebote o índice esclerométrico del concreto endurecido, empleando un martillo de acero impulsado por un resorte.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-413-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Un martillo de acero impacta, con una energía predeterminada, un émbolo de acero en contacto con una superficie de concreto, midiéndose la longitud de rebote del martillo.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Este método de ensayo se puede emplear para evaluar la uniformidad del concreto in-situ, delimitar áreas de concreto pobre o deteriorado en las estructuras y estimar la resistencia del concreto en el sitio.
- 3.2 Las relaciones que suministran los fabricantes del instrumento entre el número de rebote (índice esclerométrico) y la resistencia del concreto se deben tomar únicamente como indicativas de la resistencia relativa del concreto en diferentes puntos de la estructura. El uso de este método con el fin de estimar la resistencia requiere el establecimiento de una relación entre la resistencia y el índice esclerométrico para una determinada mezcla de concreto y un equipo determinado, dentro del rango de resistencias de interés. La relación se establece correlacionando los números de rebote medidos sobre la estructura con las resistencias de núcleos extraídos de los mismos lugares. Se deben tomar, al menos, muestras duplicadas en cada uno de seis lugares con números de rebote diferentes. Los sitios de ensayo se deben escoger de manera de obtener un amplio rango de números de rebote en la estructura. Los núcleos se deben obtener, acondicionar y ensayar de acuerdo con la norma INV E-418.

- 3.3** Para un concreto dado, el índice esclerométrico es afectado por factores tales como la humedad de la superficie de ensayo, el método usado en la construcción para obtener la superficie de ensayo, la distancia vertical desde el punto inferior de colocación del concreto, y la profundidad de carbonatación. Estos factores requieren ser tenidos en cuenta en el instante de obtener los datos para preparar la relación.
- 3.4** El empleo de diferentes martillos del mismo diseño nominal, puede dar índices que difieren de entre 1 y 3 unidades. Por lo tanto, las pruebas se deben hacer con el mismo martillo, si se quieren comparar los resultados. Si se usa más de un martillo, se deben realizar ensayos sobre un rango de superficies típicas de concreto, con el fin de determinar la magnitud de las diferencias esperables.
- 3.5** Debido a la incertidumbre inherente en la resistencia estimada, los resultados obtenidos con este método de ensayo no se pueden emplear como base para la aceptación o el rechazo del concreto.

4 EQUIPO

- 4.1** *Martillo de rebote (esclerómetro)* – Es un martillo de acero impulsado por un resorte que al dispararse golpea un émbolo de acero en contacto con la superficie del concreto (Figura 413 - 1). Debe funcionar con una velocidad consistente y reproducible. La distancia de rebote del martillo se mide en una escala lineal adosada a la carcasa del instrumento.

Nota 1: En el mercado se consiguen diferentes tipos y tamaños de esclerómetros, adaptados al ensayo de obras de concreto de diferentes tipos y tamaños.

- 4.2** *Piedra abrasiva* – Pieza de carburo de silicio con una textura de grado medio, o un material equivalente (Figura 413 - 1).



Figura 413 - 1. Martillo de rebote y piedra abrasiva

- 4.3** *Yunque de ensayo* – Cilindro de unos 150 mm (6") de diámetro y 150 mm (6") de altura, elaborado en acero maquinado con un área de impacto endurecida a 66 ± 2 HRC (escala Rockwell). El yunque incluye un elemento guía para centrar el martillo de rebote sobre el área de impacto y mantenerlo perpendicular a su superficie (Figura 413 - 2).



Figura 413 - 2. Yunque de ensayo

5 VERIFICACIÓN

- 5.1** Los esclerómetros se deben someter a revisión y verificación anualmente, y siempre que haya motivo para dudar de su correcta operación. El funcionamiento se verifica con el yunque de ensayo descrito en el numeral 4.3. Durante la verificación, el yunque deberá estar apoyado sobre un piso expuesto de concreto o una losa del mismo material. El fabricante debe informar el número de rebote que se debe obtener con un martillo operando apropiadamente sobre un yunque de la dureza especificada.

Nota 2: Típicamente, se debe obtener un número de rebote de 80 ± 2 al hacer el ensayo sobre el yunque descrito en el numeral 4.3. El yunque se debe encontrar sobre un soporte rígido para obtener valores confiables. La verificación sobre el yunque no garantiza que el martillo vaya a suministrar valores repetibles en otros puntos de su escala. El martillo se puede verificar a menores números de rebote, utilizando bloques de piedra pulida de dureza uniforme. Algunos usuarios comparan varios martillos sobre superficies de concreto o piedra que abarquen el rango usual de números de rebote que se obtienen en las obras.

6 ÁREA DE ENSAYO E INTERFERENCIAS

6.1 Selección de la superficie de ensayo:

6.1.1 Los elementos de concreto a ensayar deben tener un espesor mínimo de 100 mm (4") y estar fijos dentro de la estructura. Si el espesor es menor, se debe asegurar que se encuentren soportados de manera rígida. Se deben evitar las áreas atípicas que presenten panales, escamaduras, texturas ásperas o alta porosidad. Para poder comparar los resultados, se deben elegir áreas de ensayo con una misma terminación superficial, producto de formaletas similares (nota 3).

6.1.2 Las superficies terminadas con llana exhiben, por lo general, números de rebote mayores que las terminadas con enrasadora o que hayan quedado contra la formaleta. De ser posible, las losas se deben ensayar por la cara inferior para evitar la superficie terminada.

6.2 Preparación de la superficie de ensayo:

6.2.1 El área de ensayo debe tener, al menos, 150 mm (6") de diámetro. Las superficies ásperas, blandas o con mortero suelto se deben pulir con la piedra abrasiva mencionada en el numeral 4.2 (Figura 413 - 3). Las superficies lisas se pueden ensayar sin pulir (nota 3). No se deben comparar resultados obtenidas en superficies pulidas y sin pulir. Si hay agua libre presente, se deberá remover.



Figura 413 - 3. Superficie pulida y ensayo con el esclerómetro

Nota 3: Se han encontrado aumentos del número de rebote donde las superficies formadas con formaleta se han pulido. Se han reportado incrementos de 2.1 en superficies formadas con madera laminada normal y de 0.4 en superficies formadas con madera laminada de alta densidad. Las superficies de concreto secas dan números de rebote mayores que las superficies húmedas. La existencia de carbonatación superficial también se traduce en mayores números de rebote. En los casos en que la capa de concreto carbonatado es espesa, puede ser necesario

removerla en el área de ensayo empleando una pulidora eléctrica de operación manual, para obtener números de rebote representativos del concreto del interior. No hay información disponible sobre una relación entre el número de rebote y el espesor de la capa carbonatada; en consecuencia, el usuario debe aplicar su buen criterio profesional al ensayar concreto carbonatado.

6.3 No se debe ensayar concreto congelado.

Nota 4: El concreto húmedo a 0° C (32° F) o menos puede exhibir valores de rebote muy altos. El concreto se debe ensayar solo después del descongelamiento. La temperatura del martillo puede afectar los resultados. Un martillo a - 18° C (0° F) puede presentar índices reducidos en 2 o 3 unidades.

6.4 Las lecturas con fines de comparación se deben realizar con la misma dirección de impacto (horizontal, hacia arriba, hacia abajo, o en otro ángulo) o, de lo contrario, se deberán establecer factores de corrección a las lecturas.

6.5 No se deben realizar ensayos sobre concretos con armadura situada a menos de 20 mm (¾") de profundidad.

Nota 5: La localización del refuerzo se puede establecer empleando detectores de armaduras o de metales. Se deben seguir las instrucciones de sus fabricantes para la operación de estos dispositivos.

7 PROCEDIMIENTO

7.1 El instrumento se debe sujetar firmemente en una posición que permita golpear perpendicularmente la superficie por ensayar (Figuras 413 - 3 y 413 - 4). Se aumenta gradualmente la presión hasta que el martillo dispare. Después del impacto, se mantiene la presión sobre el aparato y, si es necesario, se oprime el botón lateral del aparato para bloquear el émbolo en la posición replegada. Se lee el número de rebote en la escala (o en la pantalla si el aparato tiene registro digital) redondeando al entero y se hace la anotación correspondiente.



Figura 413 - 4. Ensayo con el esclerómetro

- 7.2** Se repite la operación realizando impactos uniformemente repartidos en la superficie de ensayo, hasta completar 10 valores registrados. La separación entre los impactos debe ser, al menos, de 25 mm (1"). Se examina la impresión dejada por cada impacto; si éste produce trituración superficial o rompe a través de un vacío de aire cercano a la superficie, se descarta la lectura y se toma otra.

8 CÁLCULOS

- 8.1** Se descarta cualquier lectura que difiera en más de 6 unidades del promedio de los 10 valores registrados, y se determina el promedio de las restantes. Si fuese necesario descartar 3 o más de los 10 valores obtenidos, se deberá descartar todo el juego de lecturas y se determinarán los números de rebote (índices esclerométricos) en 10 nuevas ubicaciones.

9 INFORME

- 9.1** *Se debe incluir la siguiente información general (si se dispone de ella):*
- 9.1.1** Fecha y hora del ensayo.
 - 9.1.2** Temperatura del aire en el instante del ensayo.
 - 9.1.3** Edad del concreto.
 - 9.1.4** Identificación y ubicación del lugar ensayado en la estructura y tipo y tamaño del miembro ensayado.
- 9.2** *Información sobre el concreto:*
- 9.2.1** Identificación de la mezcla, incluyendo información sobre el tipo de agregado grueso, si se conoce.
 - 9.2.2** Resistencia de diseño del miembro ensayado.
- 9.3** *Descripción del área de ensayo:*
- 9.3.1** Características superficiales del área (terminada con llana, terminada con extendedora, formada por la formaleta).

9.3.2 Indicar si la superficie fue pulida y la profundidad del tratamiento.

9.3.3 Tipo de formaleta usada para el área de ensayo (si aplica).

9.3.4 Condiciones de curado del área de ensayo (si aplica).

9.3.5 Condición de humedad superficial (seca o húmeda).

9.4 *Información del martillo:*

9.4.1 Tipo y número de serie del martillo.

9.4.2 Fecha de la última verificación.

9.5 *Datos del número de rebote:*

9.5.1 Orientación del martillo durante el ensayo.

9.5.2 Sobre superficies verticales (paredes, columnas, etc.), elevación relativa del área de ensayo.

9.5.3 Valores individuales del número de rebote (índice esclerométrico).

9.5.4 Observaciones sobre las lecturas descartadas.

9.5.5 Número de rebote (índice esclerométrico) promedio.

9.5.6 Condiciones inusuales que hayan podido afectar las lecturas.

10 PRECISIÓN Y SESGO

10.1 *Precisión* – La desviación estándar de un solo operador con el mismo equipo y un solo espécimen es de 2.5 unidades (1s). Por lo tanto, el rango de 10 lecturas no debería exceder de 12 unidades.

10.2 *Sesgo* – El sesgo de este método de ensayo no se puede evaluar, por cuanto el número de rebote solo se puede determinar en términos de este método de ensayo.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C805/C805M – 08

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLEMENTE APOYADA Y CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ LIBRE

INV E – 414 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma de ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la flexión del concreto, empleando una viga simplemente soportada, cargada en los tercios de la luz libre.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-414-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 Este método de ensayo se usa para determinar la resistencia a la flexión de especímenes preparados y curados de acuerdo con las normas INV E-402, INV E-418 o INV E-420. El resultado se calcula e informa como "módulo de rotura". La resistencia determinada puede variar si existen diferencias en el tamaño del espécimen, la preparación, la condición de humedad, el curado o las condiciones bajo las cuales se ha moldeado o aserrado la viga al tamaño de ensayo.
- 2.2 Los resultados de este método de ensayo se pueden emplear para determinar el cumplimiento de las especificaciones o como base para las operaciones de dosificación, mezcla y colocación del concreto.
- 2.3 El ensayo se usa, también, en la evaluación de concretos para la construcción de losas estructurales y para el diseño y el control de la construcción de pavimentos rígidos.

3 EQUIPO

- 3.1 *Máquina de ensayo* – La máquina de ensayo debe cumplir con los requisitos establecidos en el Anexo A. No se permite el uso de máquinas de ensayo operadas a mano, con bombas que no suministren una carga continua en un recorrido. Se permite el uso de bombas manuales o motorizadas de

desplazamiento positivo, que tengan suficiente volumen en un solo recorrido continuo para completar un ensayo sin requerir recarga, y que sean capaces de aplicar las cargas a una velocidad uniforme, sin sacudidas o interrupciones.

3.2 *Aparato de carga* – Se debe utilizar el método de carga en los tercios al realizar ensayos de flexión de concretos, empleando bloques de aplicación de carga que aseguren que las fuerzas aplicadas a la viga sean perpendiculares a la cara del espécimen y sin excentricidad. En la Figura 414 - 1 se muestra un diagrama de un aparato que cumple este propósito.

3.2.1 Todos los aparatos utilizados para realizar ensayos de flexión del concreto deben ser capaces de mantener la longitud especificada de luz entre apoyos, y distancias constantes entre los bloques de aplicación de carga y los bloques de soporte, con una tolerancia de ± 1.0 mm (± 0.05 ").

3.2.2 La distancia horizontal entre el punto de aplicación de la carga y el punto de aplicación de la reacción más cercana, dividida por la altura de la viga, deberá dar como resultado 1.0 ± 0.03 .

3.2.3 Si se usa un aparato similar al mostrado en la Figura 414 - 1, se deberá tener en cuenta lo siguiente:

3.2.3.1 Los bloques de aplicación de carga y de soporte no deben tener más de 65 mm ($2 \frac{1}{2}$ ") de altura, medida desde el centro o eje del pivote, y se deben extender completamente a través o más allá del ancho total del espécimen. Cada superficie endurecida de aplicación de carga en contacto con el espécimen no se debe separar de un plano en más de 0.05 mm (0.002") y debe ser una porción de un cilindro cuyo eje debe coincidir con el eje de la barra o con el centro de la esfera donde pivotea el bloque. El ángulo subtendido por la superficie curva de cada bloque debe ser, al menos, de 45° (0.80 rad).

3.2.3.2 Los bloques de aplicación de carga y de soporte se deberán mantener en posición vertical y en contacto con la barra o esfera por medio de tornillos accionados por resorte, que los mantienen en contacto con la barra pivote o esfera.

3.2.3.3 La placa superior de carga y la esfera del punto central mostrados en la Figura 414 - 1 se pueden omitir cuando se

use un bloque apoyado sobre una rótula, siempre que a los bloques superiores de aplicación de carga se les provea de una barra y una esfera como pivotes.

4 ESPÉCIMEN DE ENSAYO

- 4.1** El espécimen de ensayo debe cumplir con los requisitos de la norma que le sea aplicable entre las siguientes: INV E-402, INV E-418 o INV E-420. Además, debe tener una luz libre entre apoyos igual a tres veces su altura, con una tolerancia del 2 %. Los lados de la viga deben formar ángulos rectos con las caras superior e inferior. Todas las superficies deben ser lisas y libres de huellas, muescas, agujeros o inscripciones.

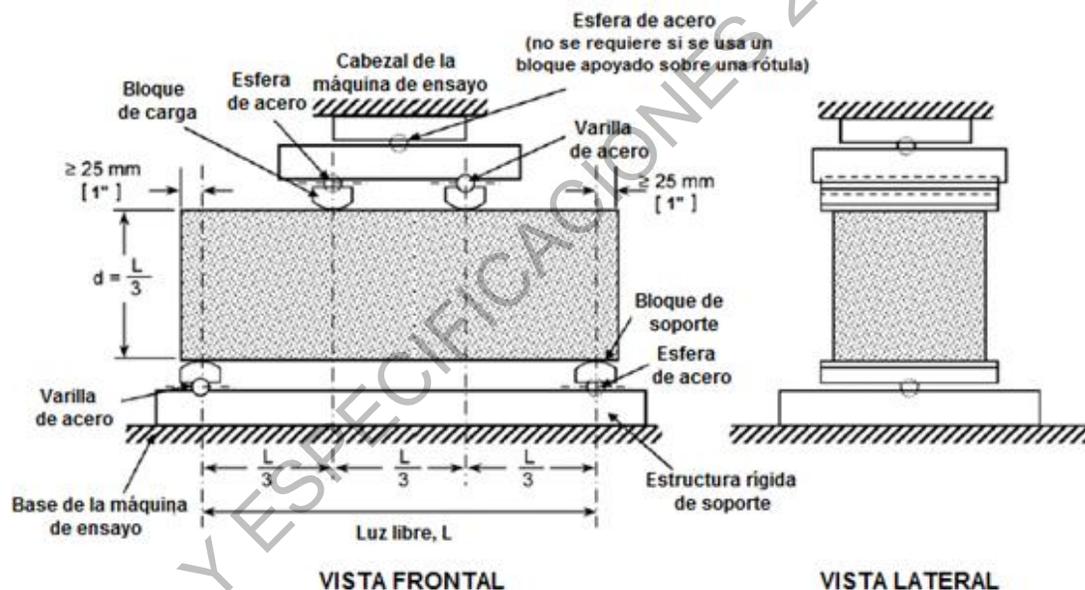


Figura 414 - 1. Diagrama de un equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga simplemente apoyada, cargada en los tercios de la luz libre

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** Los ensayos de flexión sobre especímenes curados en húmedo se deben realizar tan pronto como sea posible luego de su remoción del sitio de curado. El secado de las superficies del espécimen se traduce en una reducción de la resistencia a flexión medida.

- 5.2** Cuando se ensayen especímenes moldeados, se gira la muestra sobre un lado con respecto a su posición de moldeo y se centra sobre los bloques de soporte. Cuando se ensayen especímenes aserrados, se deben colocar de manera que la cara sometida a tensión coincida con la parte superior o inferior del espécimen, tal como fue cortado del material de donde proviene. Se centra el sistema de carga con relación a la fuerza aplicada. Se ponen los bloques de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen en los puntos tercios entre los bloques de soporte y se aplica una carga entre el 3 % y el 6 % de la carga última estimada. Utilizando calibradores normalizados de lámina, de 0.1 mm (0.004") y de 0.40 mm (0.015"), se determina si se presenta algún vacío entre el espécimen y los bloques de carga o de soporte, mayor o menor al espesor de los calibradores, en una longitud de 25 mm (1") o mayor. Mediante esmerilado, refrentado o la colocación de láminas de cuero sobre la superficie del espécimen, se elimina cualquier vacío mayor de 0.1 mm (0.004"). Las láminas de cuero deben tener un espesor uniforme de 6 mm (¼") y un ancho de 25 a 50 mm (1 a 2"), y se deben extender a través del ancho total del espécimen. Los vacíos mayores de 0.40 mm (0.015") se deben eliminar solo por refrentado o esmerilado de la superficie. El esmerilado de las superficies laterales del espécimen se debe minimizar, ya que puede variar sus características físicas y afectar los resultados del ensayo. Si se opta por el refrentado, se deberá aplicar de acuerdo con la norma INV E-403.
- 5.3** La carga se debe aplicar de manera continua sin cambios bruscos de velocidad, a una velocidad que incremente constantemente el esfuerzo sobre la cara en tensión entre 0.9 y 1.2 MPa/min (125 y 175 lbf/pg²/min), hasta que ocurra la rotura (Figura 414 - 2). La velocidad de carga se calcula con la siguiente ecuación:

$$r = \frac{S b d^2}{L} \quad [414.1]$$

- Donde: r: Velocidad de carga, N/min (lbf/min);
- S: Rata de incremento en el esfuerzo máximo sobre la cara en tensión, MPa/min (lbf/pg²/min);
- b: Ancho promedio del espécimen, mm (pg.);
- d: Altura promedio del espécimen, mm (pg.);
- L: Longitud de la luz libre del espécimen, mm (pg.).

6 MEDICIÓN DE LOS ESPECÍMENES DESPUÉS DEL ENSAYO

- 6.1** Para determinar las dimensiones de la sección transversal del espécimen a usar en el cálculo del módulo de rotura, las medidas se deben tomar luego del ensayo, a través de una de las caras fracturadas. El ancho y la altura se miden con el espécimen orientado en la posición del ensayo. Para cada dimensión, se toma una medida en cada borde y otra en el centro de la sección transversal. Se usan las tres medidas en cada dirección, para determinar los valores promedio del ancho y de la altura. Todas las medidas se deben tomar con aproximación a 1 mm (0.05").
- 6.2** Si la fractura ocurre en una sección refrentada, el espesor de refrentado se deberá incluir en la medida.



Figura 414 - 2. Instante de la falla de la viga

7 CÁLCULOS

- 7.1** Si la fractura se inicia en la zona de tensión, dentro del tercio medio de la luz libre, el módulo de rotura se calcula con la ecuación:

$$R = \frac{P L}{b d^2} \quad [414.2]$$

Donde: R: Módulo de rotura, MPa (lb/pg²);

P: Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo, N (lbf);

L: Luz libre entre apoyos, mm (pg.);

- b: Ancho promedio del espécimen en el sitio de la fractura, mm (pg.);
- d: Altura promedio de la muestra en el sitio de la fractura, mm (pg.).

7.2 Si la fractura ocurre en la zona de tensión, fuera del tercio medio de la luz libre, pero a una distancia no mayor de 5 % de la luz libre, el módulo de rotura se calcula con la ecuación:

$$R = \frac{3 P a}{b d^2} \quad [414.3]$$

Donde: a: Distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano, medida sobre la superficie de tensión de la viga, mm (pg.).

7.3 Si la fractura ocurre en la superficie de tensión y fuera del tercio medio de la luz libre en más del 5 % de ésta, los resultados del ensayo se deberán descartar.

8 INFORME

8.1 El informe de resultados debe incluir lo siguiente:

8.1.1 Número de identificación del espécimen.

8.1.2 Ancho promedio, redondeado a 1.0 mm (0.05").

8.1.3 Altura promedio, redondeada a 1.0 mm (0.05").

8.1.4 Longitud de la luz libre, en mm (pg.).

8.1.5 Máxima carga aplicada, en N (lbf).

8.1.6 Módulo de rotura calculado, redondeado a 0.05 MPa (5 lbf/pg²).

8.1.7 Datos relativos al historial de curado y a la condición de humedad aparente del espécimen en el momento del ensayo.

8.1.8 Datos relativos al esmerilado, refrentado, o uso de láminas de cuero.

8.1.9 Defectos del espécimen y si éste fue moldeado o aserrado.

8.1.10 Edad del espécimen.

9 PRECISIÓN Y SESGO

9.1 *Precisión* – Se ha observado que el coeficiente de variación de los resultados del ensayo depende del nivel de resistencia de las vigas.

9.1.1 El coeficiente de variación hallado para un solo operador es 5.7 %. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizados apropiadamente por el mismo operador sobre vigas hechas de la misma amasada de concreto, no deben diferir en más de 16 %.

9.1.2 El coeficiente de variación hallado para ensayos multilaboratorio es 7 %. Por lo tanto, los resultados de los ensayos efectuados en dos laboratorios sobre vigas elaboradas a partir de la misma amasada de concreto, no deben diferir en más de 19 %.

9.2 *Sesgo* – Debido a que no hay ninguna norma aceptada para la determinación del sesgo para este método de ensayo, no se hace ninguna declaración al respecto.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C78/C78M – 10

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

VERIFICACIÓN DE LA CARGA APLICADA POR LAS MÁQUINAS DE ENSAYO

A.1 *Bases de verificación.*

A.1.1 El porcentaje de error de las cargas dentro del rango de carga de la máquina de ensayo no debe exceder de ± 1.0 %. La diferencia algebraica entre los errores de dos aplicaciones de la misma fuerza

(repetibilidad) no debe ser superior a 1.0 %. Esto quiere decir que el informe de verificación de una máquina de ensayo indicará el rango de carga verificado dentro del cual se puede utilizar, en lugar de informar su aceptación o rechazo. En máquinas que tengan múltiples rangos de capacidad, se debe indicar cada rango de carga verificado.

A.1.2 En ningún caso, el rango de carga verificado se establecerá incluyendo las cargas por debajo del rango de fuerzas aplicadas durante el ensayo de verificación.

A.1.3 Las máquinas de ensayo pueden ser más o menos exactas que el porcentaje permitido de error del 1 %. Los sistemas con exactitudes de error mayores de este valor no cumplen los requerimientos de esta norma.

A.2 *Correcciones.*

A.2.1 La carga indicada por una máquina de ensayo que exceda la variación admisible no se podrá corregir mediante cálculos ni diagramas de calibración, con el fin de obtener valores dentro de la variación permisible requerida.

A.3 *Intervalos de tiempo entre verificaciones.*

A.3.1 Se recomienda que las máquinas de ensayo se verifiquen anualmente o con mayor frecuencia si se requiere. En ningún caso, el intervalo de tiempo entre verificaciones debe exceder de 18 meses, excepto en máquinas en las que se está realizando una prueba con duración mayor a 18 meses. En este caso, la máquina se debe verificar después de terminar el ensayo.

A.3.2 Las máquinas de ensayo se deben verificar inmediatamente después de una reparación (incluye partes nuevas o reparadas o ajustes mecánicos o eléctricos) que pueda afectar de cualquier manera la operación del sistema de pesaje o los valores desplegados por ellas.

A.3.2.1 Ejemplos de partes nuevas o de reemplazo que pueden no afectar la operación del sistema de pesaje son los siguientes: impresoras, monitores de computador, teclados y módems.

A.3.3 Se requiere una verificación inmediatamente después de que la máquina sea relocalizada (excepto si las máquinas están diseñadas para ser movidas de un lugar a otro en su uso normal), y siempre que exista un motivo para dudar de la exactitud de los resultados de la

carga indicados por la máquina, sin importar el tiempo transcurrido desde la última verificación.

A.4 *Aseguramiento de la exactitud entre verificaciones.*

- A.4.1** Algunos procedimientos de ensayo de productos pueden requerir revisiones cortas diarias, semanales o mensuales, para determinar que la máquina de ensayo es capaz de entregar valores exactos de carga entre las verificaciones especificadas en el numeral A.3.
- A.4.2** Las revisiones cortas se efectúan aproximadamente en el 20 y el 80 % del rango de interés, a menos que se acuerde de otra manera entre el proveedor del material y el cliente.
- A.4.3** El error de la máquina de ensayo no debe exceder del ± 1.0 % de las cargas aplicadas para la revisión corta. Si los errores son mayores de ± 1.0 % en cualquiera de los niveles de carga usados en la revisión corta, la máquina de ensayo se debe verificar inmediatamente (Ver numeral A.3.3).
- A.4.4** Se debe mantener un registro de las revisiones cortas.
- A.4.5** La máquina de ensayo se considera verificada hasta la fecha de la última revisión corta exitosa (Ver numeral A.4.3), siempre que sea verificada de acuerdo con el numeral A.3 o con una programación regular. De otro modo, no se permiten las revisiones cortas.
- A.4.6** Cuando se hacen revisiones cortas, se debe mantener un registro claro y conciso de lo acordado entre el proveedor y el usuario. El registro debe contener, también, información sobre los datos de las verificaciones regulares y la programación.

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLEMENTE APOYADA CARGADA EN EL PUNTO CENTRAL

INV E – 415 – 13

1 OBJETO

1.1 Este método de ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la flexión del concreto, empleando una viga simplemente soportada, cargada en el punto central. Este método no constituye una alternativa al descrito en la norma INV E-414.

1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-415-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

2.1 Este método de ensayo se usa para determinar el módulo de rotura de especímenes preparados y curados de acuerdo con las normas INV E-402 o INV E-420. La resistencia determinada puede variar si existen diferencias en el tamaño del espécimen, la preparación, la condición de humedad o el curado.

2.2 Los resultados de este método de ensayo se pueden emplear para determinar el cumplimiento de las especificaciones o como una base para las operaciones de dosificación, mezcla y colocación del concreto.

2.3 Este método de ensayo da lugar a valores de resistencia a la flexión significativamente mayores que los obtenidos mediante el ensayo descrito en la norma INV E-414.

3 EQUIPO

3.1 *Máquina de ensayo* – La máquina de ensayo debe cumplir con los requisitos establecidos en el Anexo A de la norma INV E-414. No se permite el uso de máquinas de ensayo operadas a mano, con bombas que no suministren una carga continua en un recorrido. Se permite el uso de bombas manuales o motorizadas de desplazamiento positivo, que tengan suficiente volumen en un solo recorrido continuo para completar un ensayo sin requerir recarga, y que

sean capaces de aplicar las cargas a una velocidad uniforme, sin sacudidas o interrupciones.

3.2 *Aparato de carga* – El mecanismo mediante el cual se aplican las fuerzas al espécimen emplea un bloque de aplicación de carga y dos bloques de soporte del espécimen, de manera de asegurar que todas las fuerzas se aplican perpendicularmente a la cara del espécimen sin excentricidad. En las Figuras 415 - 1 y 415 - 2 se muestran un diagrama y una fotografía de un aparato que cumple con este propósito.

3.2.1 Todos los aparatos para realizar el ensayo de resistencia a la flexión por el método de carga en el punto central deberán ser similares al de la Figura 415 - 1 y deberán mantener constante la longitud de luz libre y la posición del bloque central de carga con respecto a los bloques de soporte, con una tolerancia de ± 1.0 mm (± 0.05 ").

3.2.2 En todo momento durante el ensayo, las reacciones deberán ser paralelas a la dirección de la carga aplicada. La distancia horizontal entre el punto de aplicación de la carga y la reacción más cercana, dividida por la altura de la viga, deberá dar como resultado 1.5 ± 2 %.

3.2.3 Los bloques de aplicación de carga y de soporte no deben tener más de 65 mm (2 ½") de altura, medida desde el centro o eje del pivote, y se deben extender completamente a través o más allá del ancho total del espécimen. Cada superficie endurecida en contacto con el espécimen no se debe separar de un plano en más de 0.05 mm (0.002") y debe ser una porción de un cilindro cuyo eje debe coincidir con el eje de la varilla o con el centro de la esfera donde pivotea el bloque. El ángulo subtendido por la superficie curva de cada bloque debe ser, al menos, de 45° (0.80 rad).

Los bloques de aplicación de carga y de soporte se deberán mantener en posición vertical y en contacto con la varilla o esfera por medio de tornillos accionados por resorte, que los mantienen en contacto con la barra pivote o esfera. La varilla en el centro del bloque de aplicación de carga, mostrada en la Figura 415 - 1, se puede omitir cuando se use un bloque con rótula.

4 ESPÉCIMEN DE ENSAYO

4.1 El espécimen de ensayo debe cumplir los requisitos de la norma que le sea aplicable entre las siguientes: INV E-402 o INV E-420. Además, debe tener una

luz libre entre apoyos igual a tres veces su altura, con una tolerancia de 2 %. Los lados de la viga deben formar ángulos rectos con las caras superior e inferior. Todas las superficies deben ser lisas y libres de huellas, muecas, agujeros o inscripciones.

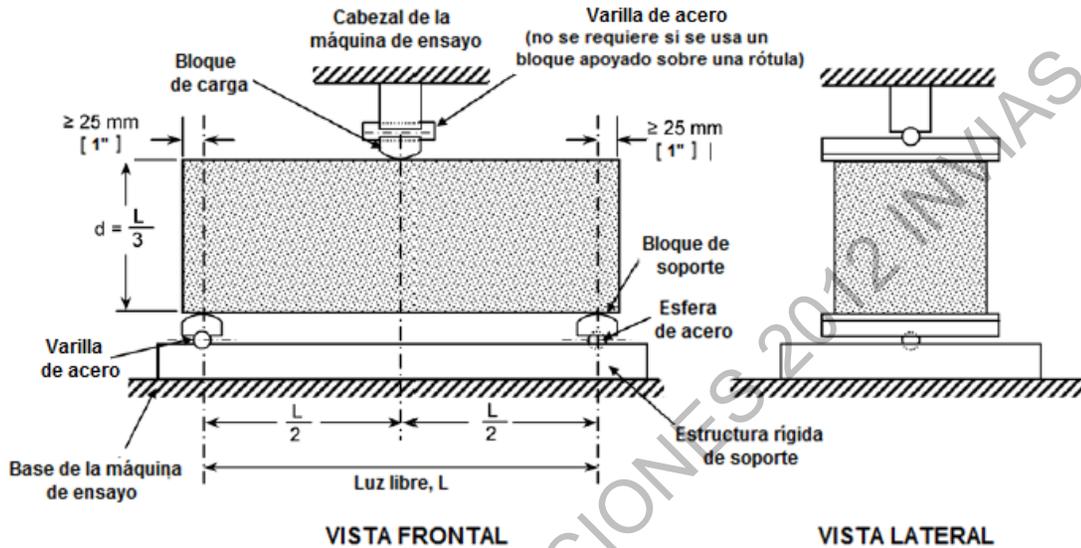


Figura 415 - 1. Diagrama de un equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga cargada en el centro de la luz



Figura 415 - 2. Equipo para el ensayo de flexión del concreto usando una viga cargada en el centro de la luz

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** Los ensayos de flexión sobre especímenes curados en húmedo se deben realizar tan pronto como sea posible luego de su remoción del sitio de curado. El secado de la superficie del espécimen se traduce en una reducción de la resistencia a flexión medida.
- 5.2** Se gira la muestra sobre un lado con respecto a su posición de moldeo y se centra sobre los bloques de soporte. Se centra el sistema de carga con relación a la fuerza aplicada. Se pone el bloque de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen en el punto medio entre los bloques de soporte y se aplica una carga entre el 3 % y el 6 % de la carga última estimada. Utilizando calibradores normalizados de lámina, de 0.1 mm (0.004") y de 0.40 mm (0.015"), se determina si se presenta algún vacío entre el espécimen y los bloques de carga o de soporte, mayor o menor al espesor de los calibradores, en una longitud de 25 mm (1") o mayor. Mediante esmerilado, refrentado o la colocación de láminas de cuero sobre la superficie del espécimen, se elimina cualquier vacío mayor de 0.1 mm (0.004"). Las láminas de cuero deben tener un espesor uniforme de 6 mm (¼") y un ancho de 25 a 50 mm (1 a 2"), y se deben extender a través del ancho total del espécimen. Los vacíos mayores de 0.40 mm (0.015") se deben eliminar solo por refrentado o esmerilado de la superficie. El esmerilado de las superficies laterales del espécimen se debe minimizar, ya que puede variar sus características físicas y afectar los resultados del ensayo. Si se opta por el refrentado, se deberá aplicar de acuerdo con la norma INV E-403.
- 5.3** La carga se debe aplicar de manera continua sin cambios bruscos de velocidad, a una rata que incremente constantemente el esfuerzo sobre la cara en tensión entre 0.9 y 1.2 MPa/min (125 y 175 lbf/pg²/min), hasta que ocurra la rotura. La velocidad de carga se calcula con la siguiente ecuación:

$$r = \frac{2 S b d^2}{3 L} \quad [415.1]$$

- Donde: r: Velocidad de carga, N/min (lbf/min);
- S: Rata del incremento en el esfuerzo máximo sobre la cara en tensión, MPa/min (lbf/pg²/min);
- b: Ancho promedio del espécimen como se ha orientado para el ensayo, mm (pg.);
- d: Altura promedio del espécimen como se ha orientado para el ensayo, mm (pg.);

L: Longitud de la luz libre del espécimen, mm (pg.).

6 MEDICIÓN DE LOS ESPECÍMENES DESPUÉS DEL ENSAYO

- 6.1** Para determinar las dimensiones de la sección transversal del espécimen a usar en el cálculo del módulo de rotura, las medidas se deben tomar luego del ensayo, a través de una de las caras fracturadas. El ancho y la altura se miden con el espécimen orientado en la posición del ensayo. Para cada dimensión, se toma una medida en cada borde y otra en el centro de la sección transversal. Se usan las tres medidas en cada dirección, para determinar los valores promedio del ancho y de la altura. Todas las medidas se deben tomar con aproximación a 1 mm (0.05").
- 6.2** Si la fractura ocurre en una sección refrentada, el espesor de refrentado se deberá incluir en la medida.

7 CÁLCULOS

7.1 El módulo de rotura se calcula con la ecuación:

$$R = \frac{3 P L}{2 b d^2} \quad [415.2]$$

Donde: R: Módulo de rotura, MPa (lbf/pg²);

P: Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo, N (lbf);

L: Luz libre entre apoyos, mm (pg.);

b: Ancho promedio del espécimen en el sitio de la fractura, mm (pg.);

d: Altura promedio de la muestra en el sitio de la fractura, mm (pg.).

8 INFORME

8.1 El informe de resultados debe incluir lo siguiente:

8.1.1 Número de identificación del espécimen.

- 8.1.2 Ancho promedio, redondeado a 1.0 mm (0.05").
- 8.1.3 Altura promedio, redondeada a 1.0 mm (0.05").
- 8.1.4 Longitud de la luz libre, en mm (pg.).
- 8.1.5 Máxima carga aplicada, en N (lbf).
- 8.1.6 Módulo de rotura calculado, redondeado a 0.05 MPa (5 lbf/pg²).
- 8.1.7 Datos relativos al historial de curado y a la condición de humedad aparente del espécimen en el momento del ensayo.
- 8.1.8 Datos relativos al esmerilado, refrentado, o uso de láminas de cuero.
- 8.1.9 Defectos del espécimen y si éste fue moldeado o aserrado.
- 8.1.10 Edad del espécimen.

9 PRECISIÓN Y SESGO

- 9.1 *Precisión* – Se ha observado que el coeficiente de variación de los resultados del ensayo depende del nivel de resistencia de las vigas.
 - 9.1.1 El coeficiente de variación hallado para un solo operador es 4.4 %. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizados apropiadamente por el mismo operador sobre vigas hechas de la misma amasada de concreto, no deben diferir en más de 12 %.
 - 9.1.2 El coeficiente de variación hallado para ensayos multilaboratorio es 5.3 %. Por lo tanto, los resultados de los ensayos efectuados en dos laboratorios sobre vigas elaboradas a partir de la misma amasada de concreto, no deben diferir en más de 15 %.
- 9.2 *Sesgo* – Debido a que no hay ninguna norma aceptada para la determinación del sesgo para este método de ensayo, no se hace ninguna declaración al respecto.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C293/C293 M – 10

FLUJO PLÁSTICO DEL CONCRETO EN COMPRESIÓN

INV E – 416 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Este método de ensayo se emplea para la determinación del flujo plástico (*creep*) de cilindros de concreto moldeados, sometidos a la acción de una carga longitudinal compresiva. El método está limitado a concretos con agregados de tamaño máximo no mayor de 50 mm (2").
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-416-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Este método de ensayo mide la deformación por compresión inducida durante el tiempo por una carga, para edades escogidas del concreto, bajo una serie arbitraria de condiciones ambientales controladas.
- 2.2** Este método se puede usar para comparar los potenciales de flujo plástico de distintos concretos. Un procedimiento posible, consiste en utilizar la ecuación (o gráfica) desarrollada, para calcular esfuerzos a partir de los datos de deformación unitaria en estructuras de concreto masivo sin refuerzo. Para la mayoría de las aplicaciones de diseño específicas, las condiciones del ensayo fijadas en esta norma se deben modificar para simular de la manera más aproximada las condiciones anticipadas de curado, de temperatura, de exposición y de duración de la carga para el prototipo de estructura. Las teorías actuales y los efectos del material y de los parámetros del medio ambiente se encuentran en el documento ACI SP-9, Simposio sobre el flujo plástico del concreto, disponible en el Instituto Americano del Concreto.
- 2.3** Ante la ausencia de una hipótesis satisfactoria que gobierne el fenómeno del flujo plástico, se han desarrollado algunas suposiciones que, generalmente, se han confirmado a través de ensayos y de la práctica.
- 2.3.1** El flujo plástico (*creep*) es proporcional al esfuerzo para valores comprendidos entre 0 y 40 % de la resistencia a la compresión del concreto.

- 2.3.2** Se ha demostrado concluyentemente, que el flujo plástico es directamente proporcional al contenido de pasta, en el rango normal de contenidos de pasta utilizados en el concreto. Por lo tanto, las características de flujo plástico de mezclas de concreto que tienen agregados con tamaño máximo mayor de 50 mm (2"), se pueden determinar a partir del flujo plástico de la porción de menos de 50 mm (< 2"), obtenida por tamizado húmedo. El valor de esta característica se multiplica por la relación entre el contenido de pasta de cemento (en volumen) en la mezcla completa y el que tiene la muestra tamizada.
- 2.4** El uso de una expresión logarítmica (Sección 7), no implica que la relación entre el flujo plástico y el tiempo de deformación sea necesariamente una función logarítmica exacta; sin embargo, para un período de un año, la expresión se acerca al comportamiento normal de flujo plástico con la exactitud suficiente para hacer posible el cálculo de parámetros que son útiles para la comparación de concretos.
- 2.5** No hay datos que puedan fundamentar la extrapolación a la torsión o a la tensión de los resultados de este ensayo de compresión.

3 EQUIPO

- 3.1** *Moldes* – Deben ser cilíndricos y cumplir los requerimientos de la norma INV E-402. Si se requiere, se pueden hacer provisiones para instalar insertos y contactos para medidores, así como para fijar placas de soporte integral a los extremos del espécimen a medida que se funde.
- 3.1.1** Los moldes horizontales deben cumplir los requerimientos del numeral 3.2.2 de la norma INV E-402. Un molde horizontal satisfactorio se muestra en la Figura 416 - 1.

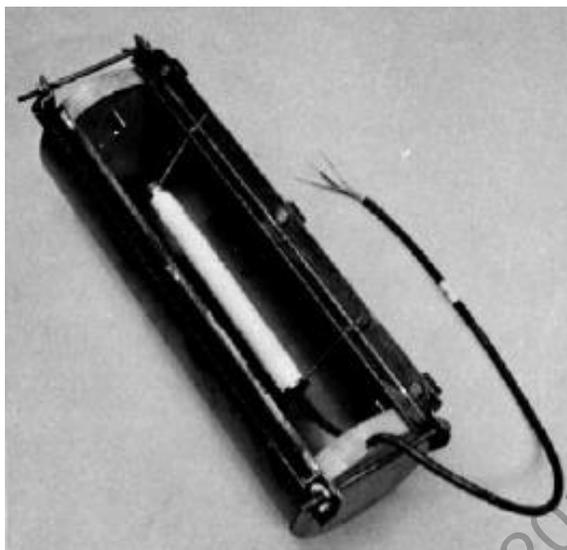


Figura 416 - 1. Molde horizontal para especímenes de creep

3.2 Marco de carga – Capaz de aplicar y mantener la carga requerida sobre el espécimen, independientemente de cualquier cambio en las dimensiones de éste. En su forma más simple, el marco de carga consiste en placas cabezales apoyadas sobre los extremos de los especímenes cargados, un elemento para mantener la carga que puede ser un resorte, una cápsula hidráulica o un pistón, y varillas roscadas para tomar la reacción del sistema cargado. Las superficies de apoyo de las placas cabezales no se deben apartar de la planitud en más de 0.025 mm (0.001"). En cualquier marco de carga se pueden apilar varios especímenes para cargarlos simultáneamente. La longitud entre las placas cabezales no debe exceder de 1780 mm (70"). Cuando se utiliza un elemento hidráulico para mantener la carga, se pueden cargar simultáneamente varios marcos de carga por medio de una unidad central hidráulica de regulación de presión, integrada por un acumulador, un regulador, manómetros y una fuente de alta presión, tal como un cilindro de nitrógeno o una bomba de alta presión. Se pueden utilizar resortes, como los del sistema amortiguador de los vagones de ferrocarril, para mantener la carga sobre los marcos, de manera similar a la recién descrita. La compresión inicial se debe aplicar por medio de un gato portátil o una máquina de ensayo. Cuando se usen resortes, se deberá cuidar que se disponga de una cabeza esférica o una junta de bola y que las placas de los extremos sean suficientemente rígidas para asegurar una carga uniforme sobre los cilindros. Las Figuras 416 - 2 y 416 - 3 muestran marcos de carga con resortes que resultan aceptables. Se debe disponer de medios para medir la carga con una exactitud del 2 % de la carga total aplicada. Se puede usar un manómetro hidráulico con instalación fija o un gato hidráulico y una celda de carga insertada en el marco cuando se aplica o se ajusta la carga.

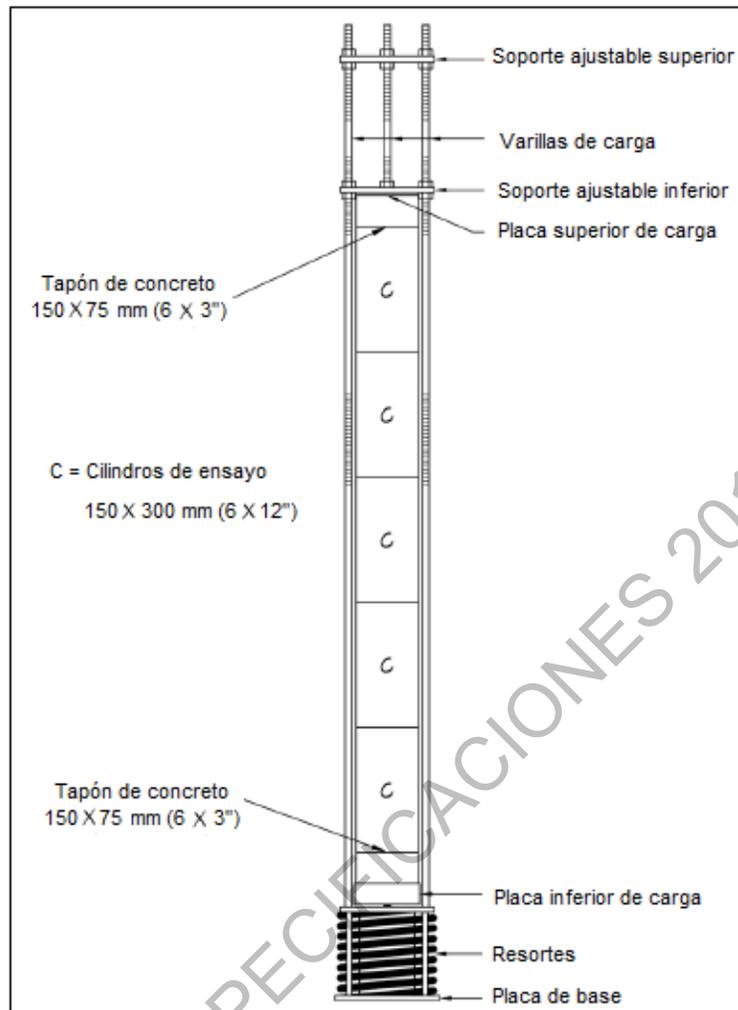


Figura 416 - 2. Esquema de marco de carga con resorte para el ensayo de *creep*

- 3.3** *Dispositivo para medir la deformación* – Los aparatos utilizados deberán medir la deformación unitaria longitudinal en el espécimen, con aproximación a 10 millonésimas. El dispositivo puede estar integrado al aparato, puede ser instalado, o ser portátil. Si se utiliza uno portátil, los puntos de contacto se deberán marcar sobre el espécimen en forma notoria. No se permitirá el uso de deformímetros que dependan del contacto por fricción. Si se utiliza un medidor embebido, deberá estar situado de manera que su movimiento de deformación ocurra a lo largo del eje longitudinal del cilindro. Si se utilizan dispositivos externos, las deformaciones unitarias se deben medir sobre no menos de dos líneas de medidores, espaciadas uniformemente alrededor de la periferia del espécimen. Los medidores se pueden instrumentar de modo que la deformación promedio sobre todas las líneas se pueda leer directamente. La longitud de medida efectiva debe ser, al menos, tres veces el tamaño máximo del agredado del concreto. El dispositivo medidor de deformaciones debe ser

capaz de medirlas durante un lapso mínimo de un año sin requerir cambios en la calibración.

Nota 1: Los sistemas en los cuales las variaciones de las deformaciones se comparan con una barra normalizada de longitud constante son los más confiables, aunque los medidores eléctricos de deformación son apropiados.



Figura 416 - 3. Marcos de carga con resorte para el ensayo de flujo plástico

4 ESPECÍMENES DE ENSAYO

- 4.1** *Tamaño del espécimen* – El diámetro de cada espécimen debe ser de 150 ± 1.5 mm ($6 \pm 1/16$ ") y la longitud será, por lo menos, de 290 mm ($11 \frac{1}{2}$ "). Cuando los extremos del espécimen están en contacto con las placas de carga de acero, la longitud del espécimen debe ser, por lo menos, igual a la longitud del aparato medidor de deformaciones más el diámetro del espécimen. Cuando los extremos del espécimen están en contacto con otros especímenes de concreto similares al que se está ensayando, la longitud del espécimen debe ser, por lo menos, igual a la del medidor de longitudes del dispositivo de medición de deformaciones más 40 mm ($1 \frac{1}{2}$ "). Entre el espécimen de ensayo y la placa de carga de acero en cada extremo de una pila se debe instalar un cilindro adicional no instrumentado, cuyo diámetro sea igual al del cilindro que se ensaya y cuya longitud sea, al menos, igual a la mitad de su diámetro.
- 4.2** *Fabricación de especímenes* – El tamaño máximo del agregado no deberá exceder de 50 mm (2") (Sección 2). Los cilindros fundidos verticalmente se deben fabricar conforme a lo indicado en la norma INV E-402. Los extremos de cada cilindro deberán cumplir los requisitos de planitud de la norma INV E-403 (nota 2). Los cilindros fundidos horizontalmente se deben consolidar por

un método adecuado a la consistencia del concreto, como se indica en el numeral 6.4 de la norma INV E-402. Se deberá poner mucha atención para que la varilla apisonadora o el vibrador no golpeen el medidor de deformación. Cuando se utilice vibración, el concreto se debe colocar en una sola capa y el elemento vibrador no deberá tener más de 35 mm (1.3") de diámetro. Si la compactación se hace por apisonado, el concreto se debe colocar en dos capas aproximadamente iguales y cada capa se deberá someter a 25 golpes de varilla, uniformemente distribuidos a cada lado del medidor de deformación. Después de la consolidación, el concreto se debe enrasar con un palustre o llana, manipulándolo lo menos posible para conformar el concreto en la abertura concéntricamente con el resto del espécimen. Se puede usar una plantilla curvada con el mismo radio del espécimen como emparejadora, para darle forma y acabado más precisos al concreto en la abertura.

Nota 2: Los requisitos de planitud de las bases de los especímenes cilíndricos se pueden lograr por refrentado, recubrimiento o, al momento de fundir, fijando los extremos con placas de soporte normales al eje del cilindro.

- 4.3 Número de especímenes** – Para cada condición de ensayo, se deberán elaborar no menos de seis (6) especímenes (nota 3) de una amasada de concreto; dos se ensayan por resistencia a la compresión, dos se cargan para observar la deformación total y dos permanecerán sin carga para usarlos como controles para indicar deformaciones debidas a causas diferentes a las cargas. Cada uno de los especímenes para resistencia y control se deberá someter a los mismos tratamientos de almacenamiento y curado que el espécimen cargado.

Nota 3: Se recomienda que los especímenes se ensayen por triplicado, aunque resulta aceptable ensayar solamente dos.

5 CURADO Y ALMACENAMIENTO DE LOS ESPECÍMENES

- 5.1 Curado normal** – Antes de desmoldarlos, los especímenes se deben almacenar a $23 \pm 2.0^{\circ} \text{ C}$ ($73.5 \pm 3.5^{\circ} \text{ F}$) y cubrir para evitar la evaporación. Los especímenes se deben extraer de los moldes no antes de 20 horas ni después de 48 horas después de su fabricación, y se deben almacenar en un ambiente húmedo a una temperatura de $23 \pm 2.0^{\circ} \text{ C}$ ($73.5 \pm 3.5^{\circ} \text{ F}$) hasta que cumplan 7 días. Un ambiente húmedo es aquel en el cual se mantiene permanentemente agua libre sobre toda la superficie de los especímenes. Los especímenes no se deben someter a chorros de agua corriente ni almacenar sumergidos en agua. Una vez terminado el curado húmedo, los especímenes se deben almacenar a una temperatura de $23.0 \pm 1.0^{\circ} \text{ C}$ ($73.5 \pm 1.8^{\circ} \text{ F}$) y con una humedad relativa del $50 \pm 4\%$, hasta la terminación del ensayo.

- 5.2** *Curado básico para flujo plástico* – Si se desea prevenir la pérdida o la ganancia de agua durante el almacenamiento y el período de ensayo, los especímenes se deben guardar y sellar dentro de envolturas impermeables (por ejemplo, de cobre o de caucho de butilo) en el momento de su fabricación o desmolde para evitar pérdidas de humedad por evaporación, y deberán permanecer sellados durante todo el período de almacenamiento y curado.
- 5.3** *Régimen de temperatura variable de curado* – Cuando se desee introducir el efecto de la temperatura sobre las propiedades elásticas e inelásticas del concreto (como, por ejemplo, las condiciones de temperatura adiabática que se presentan en el concreto masivo o las condiciones de temperatura a las cuales se ve sometido el concreto durante el curado acelerado), se debe controlar la temperatura del lugar de almacenamiento del espécimen, para que corresponda a la temperatura histórica deseada. El usuario es el responsable de establecer la historia tiempo-temperatura que se debe seguir y el rango admisible de la desviación resultante.
- 5.4** *Otras condiciones de curado* – Se pueden utilizar otras condiciones sobre edades de ensayo y ambientes de curado, cuando se requiera esta información para aplicaciones específicas. En este caso, dichas condiciones se deberán detallar ampliamente en el informe.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** *Edad para el ensayo* – Cuando el propósito del ensayo sea comparar el potencial de flujo plástico de diferentes concretos, los especímenes se cargan durante 28 días. Cuando se quiera conocer el comportamiento completo del flujo plástico de un concreto dado, se deberán preparar especímenes para una carga inicial a los 2, 7, 28 y 90 días, y a un año. Si se necesita información para otras edades de carga, ellas se deberán incluir en el informe.
- 6.2** *Detalles de carga* – Inmediatamente antes de cargar los especímenes en condiciones de flujo plástico, se determina la resistencia a la compresión de los cilindros de resistencia, de acuerdo con la norma INV E-410. En el momento de colocar en el dispositivo de carga los especímenes sin sellar para flujo plástico, se cubren los extremos de los cilindros de control para evitar pérdidas de humedad (nota 4). Se cargan los especímenes con una intensidad de carga no mayor al 40 % de la resistencia a la compresión a la edad de carga. Se toman lecturas de deformación inmediatamente antes y después de la carga, 2 y 6 horas más tarde y, después, diariamente durante 1 semana, semanalmente hasta cumplir 1 mes y mensualmente hasta cumplir 1 año.

Antes de tomar cada lectura de deformación, se debe medir la carga. La carga se deberá ajustar siempre que varíe en más de 2% en relación con el valor correcto (nota 5). Las lecturas de deformación sobre los especímenes de control se toman siguiendo el mismo calendario de los especímenes cargados.

Nota 4: Al colocar en el marco los especímenes para el ensayo de flujo plástico, se debe tener cuidado en alinearlos para evitar la excentricidad de la carga. Cuando los cilindros están apilados y se usan medidores externos, puede ser conveniente aplicar una pequeña precarga que produzca un esfuerzo que no exceda de 1380 kPa (200 lbf/pg²) y se anota la variación de la deformación alrededor de cada espécimen, luego de lo cual se puede remover la carga y realinear los especímenes para una mayor uniformidad en la deformación.

Nota 5: Cuando se usen resortes para mantener la carga, el ajuste se puede llevar a cabo aplicando la carga correcta y apretando las tuercas en las varillas roscadas de reacción.

7 CÁLCULOS

- 7.1** Se calcula la deformación unitaria total inducida por la carga por unidad de esfuerzo en cualquier momento, como la diferencia entre los valores promedio de deformación unitaria de los especímenes cargados y de los de control, dividida por el esfuerzo promedio. Para determinar la deformación unitaria por flujo plástico por unidad de esfuerzo [MPa (lbf/pg²)] a cualquier edad, se resta de la deformación unitaria por unidad de esfuerzo inducida por la carga total a esa edad, la deformación unitaria por unidad de esfuerzo inmediatamente después de la carga. Si se desea, se puede graficar la deformación unitaria total por unidad de esfuerzo en coordenadas semilogarítmicas, donde el eje logarítmico representa el tiempo (Figura 416 - 4), para determinar las constantes 1/E y F(K) de la siguiente ecuación:

$$\epsilon = \frac{1}{E} + F(K) \ln(t + 1) \quad [416.1]$$

Donde: ϵ : Deformación unitaria total por unidad de esfuerzo, MPa⁻¹, (lbf/pg²)⁻¹;

E: Módulo elástico instantáneo MPa, (lbf/pg²);

F(K): Velocidad de flujo plástico (*creep*), calculada como la pendiente de la recta que representa la curva de flujo plástico en el gráfico semilogarítmico;

t: Tiempo a partir de la aplicación de la carga, días.

- 7.1.1** El valor $1/E$ es la deformación unitaria elástica inicial por unidad de esfuerzo, la cual se determina a partir de las lecturas de deformación tomadas inmediatamente antes y después de cargar el espécimen. Si la carga no se llevó a cabo de manera expedita, se puede producir algo de flujo plástico (*creep*) antes de que se observe la deformación después de aplicar la carga, caso en el cual se puede usar la extrapolación al tiempo cero por el método de los mínimos cuadrados para determinar esta cantidad.

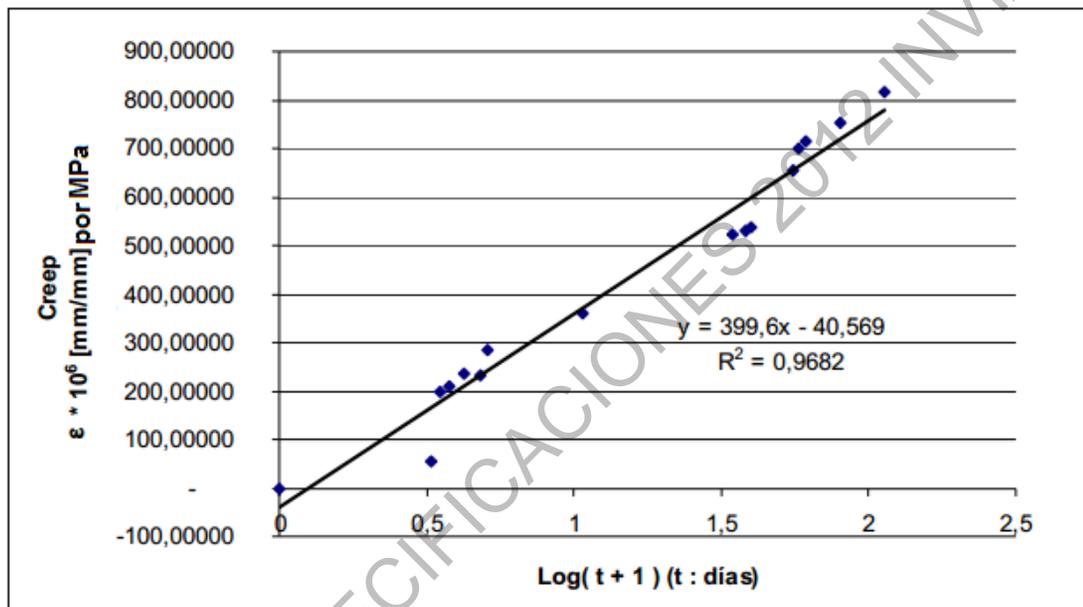


Figura 416 - 4. Ejemplo de relación deformación por flujo plástico vs tiempo para muestras de 90 días de edad

8 INFORME

- 8.1** El informe deberá incluir lo siguiente:
- 8.1.1** Contenido de cemento, relación agua/cemento, tamaño máximo del agregado, asentamiento, y contenido de aire.
 - 8.1.2** Tipo y origen del cemento, de los agregados, del aditivo y del agua de mezclado.
 - 8.1.3** Posición del cilindro cuando fue fundido.
 - 8.1.4** Condiciones de almacenamiento antes y después de la carga.

- 8.1.5 Edad del espécimen en el instante de someterlo a la carga.
- 8.1.6 Resistencia a la compresión a la edad de carga.
- 8.1.7 Tipo de dispositivo para medir deformaciones.
- 8.1.8 Magnitud de cualquier precarga.
- 8.1.9 Intensidad de la carga aplicada.
- 8.1.10 Deformación elástica inicial.
- 8.1.11 Deformación de flujo plástico (*creep*) por unidad de esfuerzo, a las edades especificadas hasta un año.
- 8.1.12 Velocidad de flujo plástico (*creep*), $F(K)$, si se ha determinado.

9 PRECISIÓN Y SESGO

- 9.1 *Precisión* – Se ha determinado que el coeficiente de variación para un solo operador y una sola amasada se encuentra alrededor de 4 %, y que el coeficiente de variación para un solo operador y varias amasadas de concreto se encuentra alrededor del 9 %, sobre un rango de deformaciones unitarias por flujo plástico (*creep*) de 250 a 2000 millonésimas. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos conducidos adecuadamente por el mismo operador sobre el mismo material, no deben diferir en más de 6 % de su promedio. Los resultados de dos ensayos conducidos adecuadamente por el mismo operador sobre material fundido de diferentes amasadas no deben diferir en más de 13 % de su promedio.
- 9.2 *Sesgo* – Este método de ensayo no tiene sesgo, por cuanto los valores determinados sólo se pueden definir en términos del método de ensayo.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C512/C512 M – 10

CALIDAD DEL AGUA PARA CONCRETOS

INV E – 417 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación de la acidez o alcalinidad del agua que se va a emplear en la elaboración de una mezcla de concreto hidráulico.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–417–07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Los valores determinados mediante la aplicación de esta norma y de aquellas a las cuales hace referencia, se emplean para verificar si el agua que se pretende emplear en la fabricación de concretos cumple los requisitos impuestos por las especificaciones de construcción.
- 2.2** La presencia de sustancias nocivas en el agua utilizada para la elaboración de mezclas de concreto produce diversos problemas de comportamiento y estéticos en las estructuras fabricadas con ellas.
- 2.3** Las aguas muy ácidas pueden crear problemas de manejabilidad y, en lo posible, se deben evitar. Los ácidos orgánicos, como el ácido tánico, en altas concentraciones, pueden tener un fuerte efecto sobre la resistencia. Las aguas con una concentración alta de hidróxido de sodio pueden reducir la resistencia del concreto. Se debe considerar, además, la posibilidad del aumento de la reactividad álcali–agregado.
- 2.4** El efecto adverso de los iones cloruro sobre la corrosión de la armadura (refuerzo) es la principal razón de preocupación respecto del contenido de cloruros en el agua usada para la preparación del concreto. Los iones cloruro atacan la capa de óxido protectora que se forma sobre el acero, resultante de la alta alcalinidad presente en el concreto.
- 2.5** La preocupación respecto del alto contenido de sulfatos en el agua usada para la preparación del concreto, se debe a las reacciones expansivas potenciales y al deterioro por el ataque de sulfatos, principalmente en áreas donde el concreto quedará expuesto a suelos o aguas con alto contenido de sulfatos.

- 2.6** Las sales inorgánicas, como las de manganeso, estaño, zinc, cobre y plomo en el agua de mezclado pueden causar una reducción significativa de la resistencia y grandes variaciones en el tiempo de fraguado. De éstas, las de zinc, cobre y plomo son las más activas. Las sales yodato de sodio, fosfato de sodio, arseniato de sodio y borato de sodio son especialmente activas como retardadores. Todas ellas pueden retardar tanto el tiempo de fraguado como el desarrollo de la resistencia.
- 2.7** El efecto de sustancias orgánicas sobre el tiempo de fraguado del cemento portland y sobre la resistencia última del concreto es un problema muy complejo. Tales sustancias se pueden encontrar en aguas naturales. Las aguas muy coloridas, con un olor apreciable o con algas verdes o marrones visibles, se deben considerar sospechosas y, por lo tanto, hay que analizarlas.

3 MUESTREO

- 3.1** Las muestras deben ser representativas del agua tal como se va a emplear. Se debe tener presente que una sola muestra de agua, tomada de un determinado lugar, puede no ser representativa, si existen variaciones de la composición en función del tiempo como consecuencia de una variación de las condiciones climáticas, variaciones estacionales, influencia de las mareas o por otros motivos. Cuando se producen variaciones de composición como consecuencia de ello, es necesario tomar muestras periódicas a distintas horas del día y en días diferentes.
- 3.2** Es muy importante el conocimiento local de las fuentes de agua, especialmente en los casos en que, por tratarse de zonas industriales, exista la posibilidad de modificación en la composición. Las muestras extraídas de distintas fuentes o lugares, se deben analizar separadamente sin mezclarlas.
- 3.3** Es suficiente tomar 10 litros de cada muestra, envasarlos en recipientes o botellas de polietileno o vidrio incoloro, perfectamente limpios. Se debe tener la precaución de enjuagar el recipiente, al igual que su tapa, repetidas veces con el agua cuya muestra se desea obtener. En los ríos o arroyos, la muestra se debe tomar a la profundidad a que se va a colocar la boca de extracción; en caso de aguas subterráneas, la bomba se debe dejar funcionar previamente el tiempo necesario para lavar los conductos antes de extraer la muestra.
- 3.4** Las muestras se deben identificar con un número de orden, la procedencia, la fuente de provisión (superficial o subterránea), el uso al cual se destina, la profundidad a la cual fue extraída y la fecha de extracción.

4 DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ Y LA ALCALINIDAD

4.1 La acidez o alcalinidad se deben determinar por alguno de los métodos A o B que se describen a continuación. Si se requiere gran precisión, se deberá emplear el método B.

4.1.1 *Método A* – La acidez o la alcalinidad se deben determinar con soluciones patrón 0.1.N alcalina o ácida, respectivamente, usando no menos de 200 ml del agua sometida a control. Se deben usar fenolftaleína o naranja de metilo como indicadores. La acidez o la alcalinidad excesivas indican la necesidad de realizar ensayos adicionales.

4.1.2 *Método B:*

4.1.2.1 Se debe determinar la concentración del ión hidrógeno por los métodos electrométrico o colorimétrico, en conjunto con el indicador adecuado. La concentración se deberá expresar en unidades de pH [$\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$]. Cuando el pH sea inferior a 4.5 o mayor de 8.5, se requiere la ejecución de ensayos adicionales. (El valor pH de la solución es el logaritmo del inverso de la concentración del ión hidrógeno (H^+) en moles por litro. Por ejemplo, una solución con $\text{pH} = 4.5$ tiene una concentración de ión hidrógeno de $10^{-4.5}$).

4.1.2.2 El procedimiento para asegurar los valores de pH deberá ser controlado totalmente por el método empleado, sea el electrométrico o el colorimétrico. El procedimiento a seguir en la determinación, se basará en el tipo de aparato usado y estará de acuerdo con los métodos e instrucciones suministrados por el fabricante del aparato en uso. Los aparatos empleados, sean electrométricos o colorimétricos, deberán tener un rango de trabajo aceptable para el ensayo que se esté realizando.

4.2 *Concentración del ión cloruro* – Se deberá determinar conforme lo establece la norma ASTM D 512.

5 MÉTODO B DE REFERENCIA

- 5.1 *Concentración del ión sulfato* – Se determinará de acuerdo con el método de referencia (gravimétrico) de la norma ASTM D 516.

6 SÓLIDOS TOTALES Y MATERIA INORGÁNICA

- 6.1 Se evaporan, hasta la sequedad, 500 ml de agua en una cápsula de incineración de masa conocida. Para este propósito, resulta apropiada una cápsula de platino de 100 a 200 ml de capacidad. La cápsula se debe llenar con agua casi en su totalidad y se coloca en un baño de agua, adicionando periódicamente porciones de la muestra de agua, hasta completar los 500 ml. El contenido de la cápsula se evapora hasta la sequedad. La cápsula se coloca luego en un horno a 132° C (270° F) durante una hora. Se retira del horno, se deja enfriar en un desecador y se determina la masa. La masa del residuo en gramos, dividida por 5, será el porcentaje de sólidos totales en el agua.
- 6.2 Los sólidos totales obtenidos pueden estar constituidos por materia orgánica, materia inorgánica o una combinación de ellas. El recipiente de platino se deberá calentar a bajo calor rojo. El oscurecimiento del residuo durante la primera etapa del calentamiento suele indicar la presencia de materia orgánica. El porcentaje de pérdida por la ignición a bajo calor rojo es, generalmente, una indicación del contenido de materia orgánica, pero se debe tener presente que algunas sales minerales se tienden a volatilizar o descomponer parcialmente con el calor.

Nota 1: La temperatura de bajo calor rojo es aquella a la cual se observa un color rojo bajo la luz diurna sin exposición directa al sol.

- 6.3 La determinación de la composición de la materia mineral en el agua requiere un análisis químico completo que no se suele efectuar, a no ser que la proporción de sólidos totales sea muy elevada o que el agua tienda a dar resultados anormales en otros ensayos. Cuando se desee efectuar el análisis mineral, se debe emplear el método descrito en la página 2388 de los "Métodos normalizados de análisis químico de Scott". Los resultados se deberán presentar de manera separada por componentes, en partes por millón. Si se desea la combinación hipotética entre las sales, se podrá usar el método de Scott o el descrito en la página 336, volumen V, número 5, del libro "Industrial and Engineering Chemistry".

- 6.4** Se puede hacer una comparación entre el agua bajo ensayo y el agua destilada, mediante los ensayos de expansión del cemento en autoclave (norma ASTM C 151), tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante la aguja de Vicat (norma ASTM C 191) o mediante la aguja de Gillmore (norma ASTM C 266) y la resistencia a compresión de los morteros de cemento hidráulico (norma ASTM C 109), empleando el mismo cemento de calidad certificada con cada agua. Los límites sugeridos de estos ensayos, son los siguientes: cualquier indicación de falta de sanidad, cambios marcados en los tiempos de fraguado, o una reducción de más de 10 % en la resistencia con respecto a las mezclas elaboradas con el agua destilada, deben ser motivos suficientes para rechazar el agua bajo ensayo.

7 NORMAS DE REFERENCIA

AASHTO T 26 – 79 (2008)

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

OBTENCIÓN Y ENSAYO DE NÚCLEOS DE CONCRETO ENDURECIDO

INV E – 418 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere al procedimiento de obtención, preparación y ensayo de núcleos extraídos de estructuras de concreto para determinaciones de longitud o resistencia a la compresión o a la tracción por hendimiento (tracción indirecta).
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-418-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Esta norma de ensayo proporciona procedimientos normalizados para obtener y ensayar núcleos de estructuras de concreto, para someterlos posteriormente a determinaciones de resistencia de acuerdo con las normas aplicables. A los núcleos se les puede determinar la longitud de acuerdo con la norma INV E-419.

Nota 1: En el Anexo A se presentan recomendaciones para obtener y ensayar a la flexión vigas aserradas.

- 2.2** Generalmente, los especímenes se toman cuando existen dudas sobre la calidad del concreto en la estructura, debido a la existencia de bajos valores de resistencia durante la construcción o a la presencia de deterioros en ella. Otro uso posible es el relacionado con la obtención de información sobre la resistencia de estructuras antiguas.
- 2.3** La resistencia del concreto se ve afectada por su ubicación dentro del elemento estructural. El concreto colocado en el fondo tiende a ser más resistente que el colocado en la parte superior. La resistencia de los núcleos se ve afectada, también, por su orientación en relación con el plano horizontal de colocación del concreto, encontrándose que la resistencia tiende a ser menor cuando el núcleo se obtiene en dirección paralela al plano horizontal. Estos factores deben ser considerados al elaborar el programa para la toma de muestras y al comparar los resultados de los ensayos de resistencia.

2.4 La resistencia obtenida al ensayar núcleos se ve afectada por la cantidad y distribución de la humedad en el espécimen en el instante del ensayo. No hay un procedimiento normalizado para acondicionar un espécimen de manera de asegurar que, en el instante del ensayo, presente una condición de humedad idéntica a la del concreto en la estructura. Los procedimientos de acondicionamiento de la humedad en este método de ensayo intentan proporcionar condiciones de humedad reproducibles que minimicen las variaciones tanto en un laboratorio como entre laboratorios y que reduzcan los efectos de la humedad que se introduce durante la preparación del espécimen.

2.5 La resistencia a compresión medida sobre un núcleo es, por lo general, menor que la de un cilindro equivalente, moldeado apropiadamente, curado por el procedimiento normalizado y ensayado a la misma edad. Sin embargo, no existe una relación única entre las resistencias de estos dos tipos de especímenes para un concreto dado (nota 2). La relación se ve afectada por factores tan diversos como el nivel de resistencia del concreto, el historial de temperatura y humedad en el lugar, el grado de consolidación, la variabilidad entre amasadas, las características del desarrollo de resistencia del concreto, la condición del equipo extractor de núcleos y el cuidado que se tiene para extraerlos.

Nota 2: El ACI tiene un procedimiento para estimar la resistencia equivalente del concreto a partir de la resistencia medida sobre un núcleo¹.

Nota 3: A falta de requisitos sobre la resistencia de especímenes de núcleos en un código aplicable o en los documentos legales que gobiernen el proyecto, el prescriptor de los ensayos deberá establecer en una especificación particular los criterios de aceptación con base en la resistencia de los especímenes de núcleos. Un ejemplo de criterio de aceptación a partir de la resistencia de los especímenes de núcleos se presenta en el ACI 318, el cual se usa para evaluar núcleos tomados para investigar resultados de ensayos de baja resistencia sobre cilindros sometidos a curado normal durante la construcción. De acuerdo con el ACI 318, el concreto representado por los núcleos se considera estructuralmente adecuado si la resistencia promedio de 3 especímenes de núcleos es igual o mayor al 85 % de la resistencia especificada y ningún núcleo presenta una resistencia inferior al 75 % de la especificada.

2.6 El “prescriptor de los ensayos” al cual se hace referencia en esta norma de ensayo, es el individuo responsable del análisis o de la revisión y aceptación de los resultados de los ensayos sobre los especímenes de núcleos.

Nota 4: Para la investigación de los resultados de ensayos de baja resistencia, el ACI 318 define al prescriptor de los ensayos como el profesional de diseño con matrícula profesional.

2.7 La resistencia a compresión aparente del concreto, medida mediante especímenes de núcleos, es afectada por la relación longitud/diámetro de los

¹ “Guide for obtaining cores and interpreting compressive strength results”, ACI 214.4R, www.concrete.org

especímenes, hecho que se debe tener en cuenta al prepararlos y al evaluar los resultados de los ensayos.

3 EQUIPO

- 3.1** *Taladro saca-núcleos* – Para obtener núcleos cilíndricos con brocas de diamante.
- 3.2** *Sierra* – Para cortar los extremos de los núcleos. La sierra debe tener un borde cortante de diamante o de carburo de silicio y deberá poder cortar los especímenes sin producir grietas ni desalojar partículas del agregado.
- 3.3** *Balanza* – Con una exactitud mínima de 5 g (0.01 lb).

4 MUESTREO

4.1 Generalidades:

- 4.1.1** Las muestras de concreto endurecido para uso en la preparación de especímenes para ensayos de resistencia, no se deben tomar hasta que el concreto haya endurecido lo suficiente para permitir la remoción de la muestra sin alterar la adhesión entre el mortero y el agregado grueso (notas 5 y 6). Al preparar los especímenes para ensayos de resistencia de muestras de concreto endurecido, se deberán descartar aquellos que presenten defectos o que se hayan deteriorado durante el proceso de extracción, a menos que al remover las porciones deterioradas la longitud remanente del espécimen satisfaga los requisitos mínimos indicados en el numeral 6.2 para la relación longitud/diámetro. Las muestras del concreto defectuoso o deteriorado que no se puedan ensayar, se deben informar junto con el motivo que las inhabilita para preparar los especímenes de ensayo.

Nota 5: La Práctica C 823 de la ASTM suministra una guía para el desarrollo de un plan de muestreo del concreto en la construcción.

Nota 6: No es posible especificar una edad mínima a la cual el concreto presente suficiente resistencia para soportar la extracción sin daño, por cuanto la resistencia a cualquier edad depende de la historia de curado y del grado de resistencia del concreto. Si la disponibilidad de tiempo lo permite, el concreto deberá tener una edad de catorce (14) días antes de la extracción de los núcleos. Si esto no resulta práctico, el concreto se podrá remover si las superficies de corte no presentan erosión del mortero y las partículas del agregado grueso expuesto están embebidas fuertemente dentro del mortero. Se pueden usar métodos de ensayo en el sitio para estimar el nivel de desarrollo de la resistencia antes de intentar la extracción de las muestras de la estructura.

- 4.1.2** Con excepción de lo indicado en el numeral 4.1.3, los núcleos que contengan refuerzo u otros objetos embebidos, con excepción de fibras, no se deberán emplear en la determinación de la resistencia del concreto.
- 4.1.3** Si no resulta posible preparar un espécimen de ensayo que cumpla los requisitos indicados en los numerales 6.1 y 6.2 y que se encuentre libre de refuerzo u otro metal, el prescriptor de los ensayos podrá permitir el uso de núcleos con metal embebido (nota 7). Si un núcleo ensayado en resistencia contiene metal embebido, en el informe del ensayo se deberá dejar constancia del tamaño, la forma y la ubicación del metal.

Nota 7: La presencia de acero de refuerzo u otro metal embebido diferente a las fibras en un núcleo, puede afectar la resistencia medida. No hay datos suficientes para obtener factores de corrección confiables que se puedan aplicar a la resistencia medida para considerar la presencia de acero de refuerzo perpendicularmente al eje del núcleo. Si se permite la presencia de refuerzo en los núcleos de ensayo, se requiere juicio ingenieril para evaluar el significado de los resultados. El prescriptor de los ensayos no debe permitir el ensayo de un espécimen de núcleo si hay varillas de refuerzo u otros objetos metálicos alargados embebidos, que se encuentren orientados en dirección paralela o aproximadamente paralela al eje del núcleo.

- 4.2** *Extracción de núcleos* – Cuando el núcleo se vaya a emplear en un ensayo para medir la resistencia del concreto, se deberá taladrar perpendicularmente a la superficie y, al menos, a 150 mm (6") de juntas formadas o bordes obvios del elemento estructural (nota 8). Esta distancia mínima no aplica a límites formados de miembros estructurales. Se debe anotar el ángulo aproximado entre el eje longitudinal del núcleo taladrado y el plano horizontal de colocación del concreto. Si se extrae un espécimen perpendicularmente a una superficie vertical o inclinada, la toma se deberá realizar cerca del centro del elemento estructural, siempre que sea posible. Si los núcleos se van a tomar con fines diferentes a la determinación de la resistencia, el taladrado se deberá realizar de acuerdo con las instrucciones del prescriptor de los ensayos. Se deberán anotar la fecha en la cual se extrajo el núcleo y la de colocación del concreto, si esta última se conoce.

Nota 8: La idea es evitar la extracción de núcleos de concreto no representativo que se pueda encontrar cerca de las juntas o de los bordes del elemento estructural.

- 4.3** *Remoción de losas* – Se deberá remover una losa de tamaño suficiente para asegurar los especímenes de ensayo deseados, excluyendo todo concreto agrietado, astillado, mal cortado o con cualquier otra irregularidad.

NÚCLEOS PERFORADOS

5 MEDIDA DE LA LONGITUD DE LOS NÚCLEOS

- 5.1** Los núcleos para determinar el espesor de pavimentos, losas, muros u otros elementos estructurales deberán tener un diámetro de, cuando menos, 94 mm (3.70") cuando se estipula que sus longitudes sean medidas según la norma INV E-419. Si no se requiere medir la longitud del núcleo de acuerdo con esta norma para determinar el espesor del miembro estructural, el diámetro del núcleo será establecido por el prescriptor de los ensayos.
- 5.2** En el caso de núcleos que no se vayan a emplear para determinar las dimensiones de la estructura, se miden las longitudes mayor y menor sobre la superficie cortada, a lo largo de líneas paralelas al eje del núcleo. La longitud promedio se anota redondeada a 5 mm (¼").

6 NÚCLEOS PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

6.1 *Diámetro:*

- 6.1.1** Con excepción de lo indicado en el numeral 6.1.2, los diámetros de los núcleos para la determinación de la resistencia a compresión deberán ser, como mínimo, de 94 mm (3.70"), o al menos el doble del tamaño máximo nominal del agregado grueso, el que sea mayor de los dos.
- 6.1.2** Si el limitado espesor del miembro estructural hace imposible la obtención de núcleos con una relación longitud /diámetro al menos igual a 1.0, o si la distancia libre entre las varillas de refuerzo es limitada, se permite la toma de núcleos con diámetros menores de 94 mm (3.70"). Cuando se presente esta situación, se deberá dejar constancia de ella en el informe del ensayo.

Nota 9: Se sabe que las resistencias a compresión de núcleos de 50 mm (2") de diámetro nominal son un poco menores y más variables que las obtenidas sobre núcleos de 100 mm (4") de diámetro nominal. Además, los núcleos de poco diámetro parecen ser más sensibles al efecto de la relación longitud /diámetro.

6.2 *Longitud:*

- 6.2.1** Con excepción de lo indicado en el numeral 6.2.2, la longitud preferida del espécimen refrentado o nivelado es de 1.9 a 2.1 veces el diámetro.

Si la relación es mayor de 2.1, se deberá reducir la longitud del núcleo para que quede dentro de dicho rango. Los especímenes cuya relación longitud /diámetro sea menor o igual a 1.75 requieren la aplicación de factores de corrección a la resistencia a compresión obtenida (Ver numeral 6.9.1). Cuando la relación es mayor de 1.75, no se requiere aplicar ninguna corrección. No se deberá ensayar ningún núcleo cuya longitud máxima sea inferior al 95 % de su diámetro antes del refrentado o inferior al diámetro después del refrentado u otra operación de emparejamiento.

6.2.2 Si las resistencias a la compresión de los especímenes de núcleos se van a comparar con las resistencias especificadas a partir de cubos normalizados de concreto, los núcleos se deberán ensayar con una relación longitud /diámetro, luego de la preparación de sus extremos, entre 1.00 y 1.05, a menos que el prescriptor de los ensayos establezca otro valor. Si las resistencias de núcleos con relación longitud /diámetro igual a 1.00 se van a comparar con la resistencia especificada para cubos de concreto, no se deberá aplicar el factor de corrección mencionado en el numeral 6.9.1.

6.3 *Acondicionamiento húmedo* – Los núcleos se deben ensayar luego de su acondicionamiento húmedo conforme se especifica en este método de ensayo o como lo establezca el prescriptor de los ensayos. Los procedimientos de acondicionamiento especificados en esta norma están orientados a preservar la humedad del núcleo y a proporcionar una condición de humedad reproducible que minimice los efectos de los gradientes de humedad introducidos por el humedecimiento que se produce durante el taladrado y la preparación del espécimen.

6.3.1 Luego de extraer los núcleos, se seca el agua de perforación de su superficie y se permite la evaporación de la humedad superficial remanente. Cuando las superficies luzcan secas, pero no después de una hora de la extracción, los núcleos se colocan en bolsas plásticas separadas o en recipientes no absorbentes y se sellan para prevenir pérdidas de humedad. Se mantienen a temperatura ambiente y se protegen de la exposición directa a los rayos del sol. Se transportan al laboratorio tan pronto como sea posible. Solo se podrá sacar de los recipientes en el instante de la preparación de sus extremos y por un máximo de 2 horas para permitir el refrentado antes de someterlos a ensayo.

6.3.2 Si se emplea agua durante el aserrado o la rectificación de los extremos del núcleo, estas operaciones se deberán completar, por tarde, dos días después de la extracción, salvo que el prescriptor de los ensayos haya dispuesto algo diferente. Luego de completar la preparación de los extremos, se seca la humedad superficial, se permite que se seque la superficie del núcleo y se vuelve a colocar en una bolsa plástica o un recipiente no absorbente. Se debe minimizar la exposición al agua durante la preparación de los extremos.

6.3.3 Los núcleos deberán permanecer en las bolsas plásticas o en los recipientes no absorbentes por un término mínimo de 5 días después de la última vez que fueron humedecidos y antes del ensayo, a menos que el prescriptor de los ensayos haya dispuesto algo diferente.

Nota 10: El período de espera de 5 días pretende reducir los gradientes de humedad introducidos cuando se extrajo el núcleo o cuando se humedeció para aserrar o rectificar sus extremos.

6.3.4 Si se dan instrucciones para ensayar los núcleos en una condición de humedad diferente a la alcanzada mediante el acondicionamiento descrito en los numerales 6.3.1 a 6.3.3, se debe dejar constancia de ello en el informe del ensayo.

6.4 *Aserrado de los extremos* – Las bases de los especímenes de núcleos que se van a ensayar a la compresión, deberán ser sensiblemente planas y perpendiculares a su eje longitudinal de acuerdo con lo especificado en la norma INV E-410. De ser necesario, los extremos que se van a refrentar se aserran hasta cumplir los siguientes requisitos:

6.4.1 Las protuberancias, si las hay, no se deberán extender a más de 5 mm (0.2") de la superficie terminada de cualquiera de las bases.

6.4.2 Las superficies terminadas de las bases no se podrán apartar de la perpendicular al eje longitudinal en más de 1:8d o 1:0.3d, donde d es el diámetro promedio del cilindro, en milímetros o pulgadas, respectivamente.

6.5 *Cálculo de la densidad* – Se mide la masa del espécimen inmediatamente antes de ser refrentado o inmediatamente antes del ensayo si las bases no se van a refrentar. Se calcula el volumen del núcleo a partir del diámetro promedio y de la longitud, determinados como se indica en el numeral 6.7. Dividiendo la masa por el volumen, se calcula la densidad del núcleo redondeada a 20 kg/m³ (1 lb/pe³).

Nota 11: Con el procedimiento descrito en el numeral 6.5 se intenta obtener una densidad aproximada del espécimen que complemente el valor de resistencia. Debido a que no se conoce la humedad del núcleo y dado que el volumen calculado es aproximado, no se pretende que el valor calculado de densidad se emplee para evaluar el cumplimiento de una especificación sobre densidad. Se deben tomar núcleos adicionales con este propósito y el prescriptor de los ensayos debe indicar el procedimiento a seguir para medir la densidad.

- 6.6 Refrentado** – Si las bases de los núcleos no cumplen los requisitos de perpendicularidad de la norma INV E-410, se deberán aserrar o rectificar, o refrentar con una capa adherida de acuerdo con la norma INV E-403, o con tapas no adheridas según se especifica en la norma INV E-408. Si los especímenes se refrentan con una capa adherida, el dispositivo para el refrentado se debe acomodar a los diámetros reales y producir capas que sean concéntricas con las bases de los núcleos. La longitud de los núcleos se deberá medir aproximada a 1 mm (0.1") antes del refrentado. Si se usan tapas no adheridas, el espacio entre el núcleo y los anillos de retención deberá cumplir lo establecido en la norma INV E-408.

Nota 12: Para satisfacer el límite de vacío máximo indicado en la norma INV E-408, el diámetro interior de los anillos de retención no debe exceder de 107 % del diámetro promedio del núcleo. Se pueden necesitar anillos de retención de menor diámetro para ensayar núcleos con diámetros menores que los de los cilindros estándar. Por ejemplo, si el diámetro del núcleo es 95 mm (3.75"), el diámetro interior de los anillos no podrá exceder de 102 mm (4.01").

- 6.7 Medidas** – Antes de efectuar el ensayo, se deberá medir la longitud del núcleo con aproximación a 1 mm (0.1"), de acuerdo con la norma INV E-419. Esta longitud se empleará para el cálculo de la relación longitud/diámetro. Para los núcleos que van a ser ensayados con tapas adheridas, se mide la longitud del núcleo refrentado. Para los núcleos a ser ensayados con tapas no adheridas o con las bases rectificadas, la longitud se mide sobre el espécimen preparado. El diámetro se determina promediando dos (2) medidas tomadas en ángulos rectos entre sí, aproximadamente en la mitad del espécimen. Las medidas del diámetro se deben realizar aproximadas a 0.2 mm (0.01") si la diferencia entre ellas no excede de 2 % de su promedio; de lo contrario, se deberán medir aproximadas a 1 mm (0.1"). Los núcleos no se deberán ensayar si la diferencia entre los diámetros mayor y menor es superior al 5 % de su promedio.
- 6.8 Ensayo** – El ensayo a compresión de los núcleos se debe efectuar como se describe en la norma INV E-410. Los núcleos se deberán ensayar dentro de los siete días siguientes a la extracción si no se especifica de otra manera.
- 6.9 Cálculos** – El cálculo de la resistencia a la compresión de cada espécimen se realizará utilizando su sección transversal basada en el diámetro medio determinado según se indica en el numeral 6.7.

6.9.1 Si la relación longitud/diámetro es menor o igual a 1.75, la resistencia a compresión calculada se deberá multiplicar por un factor de corrección, como se indica en la Tabla 418 - 1 (notas 13 y 14). Los factores de corrección por aplicar a relaciones longitud/diámetro diferentes a las indicadas en la tabla se deben determinar por interpolación.

Tabla 418 - 1. Factores de corrección para el cálculo de la resistencia a la compresión según la relación longitud/diámetro

L/D	FACTOR DE CORRECCIÓN				
0.50	-	-	0.59	-	0.53
1.00	0.87	0.80	0.81	0.82	0.83
1.25	0.93	0.87	-	-	0.92
1.50	0.96	0.92	0.92	0.98	0.97
1.75	0.98	0.97	-	-	0.99
2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.00	-	-	-	1.03	-
Referencia	ASTM	BSI	Lewandowski	Sangha	Chung

Nota 13: Los factores de corrección dependen de varias condiciones, entre ellas la condición de humedad, el nivel de resistencia y el módulo elástico. Los valores recomendados por la ASTM son promedios y aplican a concretos livianos con densidades entre 1600 y 1920 kg/m³ (100 a 120 lb/pie³) y a concretos de densidad normal. Son aplicables a concretos secos o húmedos en el momento de la carga y a concretos con una resistencia nominal entre 14 y 42 MPa (2000 a 6000 lbf/pg²). Para concretos de resistencia superior a 42 MPa (6000 lbf/pg²), los factores de corrección pueden ser mayores que los mostrados en la tabla. Ver referencia: Barlett, F.M. | y J.G. MacGregor. "Effect of Core Length-to-Diameter Ratio on Concrete Core Strength", ACI Materials Journal, Vol. 91, No. 4, July-August, 1994, pp. 339-348.

Nota 14: Los factores de corrección propuestos por otros investigadores han sido obtenidos bajo condiciones que pueden coincidir o no con las que sirvieron de base a la ASTM para establecer sus factores. Es responsabilidad del usuario elegir el factor de corrección apropiado en cada caso, dependiendo de las condiciones que prevalezcan en los cilindros que está sometiendo a ensayo.

6.10 Informe – Los resultados se deben informar como lo exige la norma INV E-410, adicionando los siguientes datos:

6.10.1 Longitud del núcleo tal como fue extraído, aproximada a 5 mm (¼").

6.10.2 Si el diámetro del núcleo es menor de 94 mm (3.70"), se debe indicar el motivo por el cual se utilizó dicho diámetro.

6.10.3 Longitud del espécimen antes y después del refrentado o de la preparación de las bases, aproximada a 1 mm (0.1"), y diámetro promedio del núcleo aproximado a 0.2 mm (0.01") o 2 mm (0.1").

- 6.10.4** Resistencia a la compresión redondeada a 0.1 MPa (10 lbf/pg²) cuando el diámetro se haya medido con una aproximación de 0.2 mm (0.01"), y a 0.5 MPa (50 lbf/pg²) cuando el diámetro se haya medido aproximado a 1 mm (0.1"), luego de la corrección de la relación longitud/diámetro, si ella se requiere.
- 6.10.5** Dirección de aplicación de la carga sobre el espécimen con respecto al plano horizontal de colocación del concreto en la obra.
- 6.10.6** El historial de acondicionamiento húmedo:
- 6.10.6.1** Fecha y hora de obtención del núcleo, y del instante en que colocó por primera vez en la bolsa sellada o el recipiente no absorbente.
 - 6.10.6.2** Si se usó agua para la preparación de las bases de los núcleos, se debe anotar la fecha y la hora en que se completaron las bases y se empacó de nuevo el espécimen.
- 6.10.7** Fecha en la cual se colocó el concreto en la obra, si se conoce.
- 6.10.8** Fecha y hora de ensayo del espécimen.
- 6.10.9** Tamaño máximo nominal del agregado pétreo del concreto.
- 6.10.10** Densidad calculada, redondeada a 20 kg/m³ (1 lb/pe³).
- 6.10.11** Ubicación, forma y tamaño del metal embebido, si el prescriptor de los ensayos permitió ensayar los núcleos con metal embebido.
- 6.10.12** Si aplica, descripción de los defectos de los núcleos que no se pudieron ensayar.
- 6.10.13** Si se produjo alguna desviación en relación con el procedimiento de ensayo indicado en esta norma, describirla, explicando los motivos por los cuales fue necesaria.

6.11 *Precisión*

- 6.11.1** Se ha encontrado que el coeficiente de variación en núcleos para un solo operador es 3.2 %, para un rango de resistencia a la compresión comprendido entre 32.0 MPa (4500 lbf/pg²) y 48.3 MPa (7000 lbf/pg²).

Por consiguiente, los resultados de dos ensayos realizados apropiadamente por el mismo operador en núcleos de la misma muestra de material, no deben diferir el uno del otro en más de 9 % de su promedio.

6.11.2 Se ha encontrado que el coeficiente de variación en núcleos ensayados en varios laboratorios es 4.7 %, para un rango de resistencia a la compresión comprendido entre 32.0 MPa (4500 lbf/pg²) y 48.3 MPa (7000 lbf/pg²). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizados apropiadamente sobre núcleos obtenidos del mismo concreto endurecido (donde un ensayo simple se define como el promedio de dos observaciones (núcleos) realizadas en perforaciones adyacentes de 100 mm (4") diámetro), y ensayados por dos laboratorios diferentes, no deben diferir el uno del otro en más de 13 % de su promedio.

6.12 *Sesgo* – Como no hay un material de referencia aceptado para la determinación del sesgo en este método de ensayo, no se presenta una declaración al respecto.

7 NÚCLEOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR HENDIMIENTO (TRACCIÓN INDIRECTA)

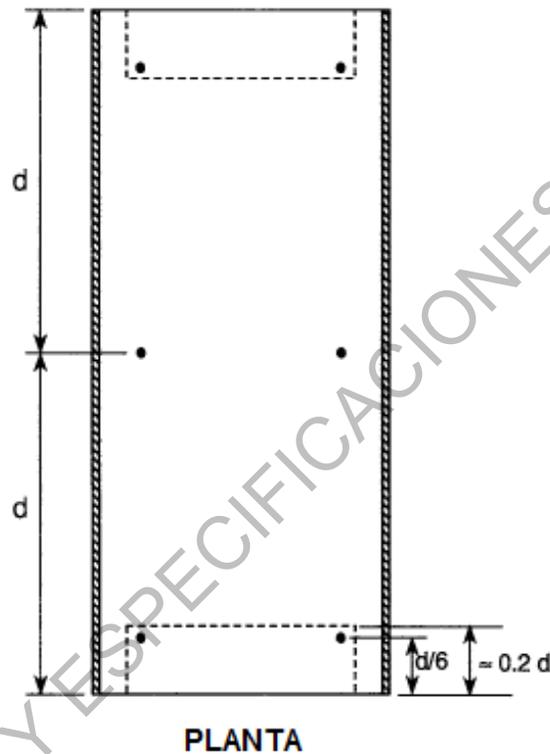
7.1 *Especímenes para ensayo* – Deben estar de acuerdo con los requisitos sobre dimensiones indicados en los numerales 6.1, 6.2, 6.4.1 y 6.4.2. Las bases no se deberán refrentar.

7.2 *Acondicionamiento húmedo* – Antes de ensayarlos, los núcleos se deben acondicionar como se describe en el numeral 6.3 o como lo indique el prescriptor de los ensayos.

7.3 *Superficies de apoyo* – La línea de contacto entre el espécimen y cada pieza de apoyo deberá ser recta y libre de salientes o depresiones mayores de 0.2 mm (0.01"). En caso contrario, el espécimen deberá ser rectificado o refrentado de manera de producir líneas de apoyo que cumplan estos requisitos. No se deberán emplear especímenes con salientes o depresiones mayores de 2 mm (0.1"). Cuando se emplee refrentado, las capas deberán ser tan delgadas como sea posible y deberán estar formadas con pasta de yeso de alta resistencia.

Nota 15: La Figura 418 - 1 muestra un dispositivo adecuado para aplicar el refrentado a las superficies de apoyo de los núcleos.

- 7.4 Ensayo** – Los especímenes se deben ensayar de acuerdo con lo indicado en la norma INV E-411.
- 7.5 Cálculos e informe** – El cálculo de la resistencia a la tracción indirecta y el informe con los resultados se harán conforme lo indica la norma INV E-411. Cuando se haya requerido la rectificación o el refrentado de las bases de los especímenes, el diámetro se deberá medir entre las superficies terminadas. Se deberá indicar que el espécimen es un núcleo y la manera como se acondicionó su humedad, de la manera que se indica en el numeral 6.10.6.



d = diámetro nominal del núcleo

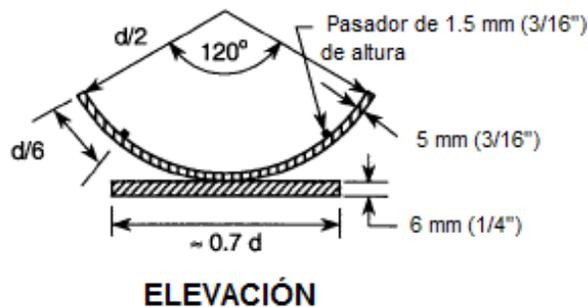


Figura 418 - 1. Dispositivo apropiado de refrentado para el ensayo de tracción indirecta

7.6 *Precisión:*

7.6.1 Se ha encontrado que el coeficiente de variación de un solo operador es 5.3 %, para un rango de resistencia a la tracción indirecta de núcleos, comprendido entre 3.6 MPa (520 lbf/pg²) y 4.1 MPa (590 lbf/pg²). Por consiguiente, los resultados de dos ensayos realizados apropiadamente por el mismo operador en núcleos de la misma muestra de material, no deben diferir el uno del otro en más de 14.9 % de su promedio.

7.6.2 Se ha encontrado que el coeficiente de variación de varios laboratorios es 15.0 %, para un rango de resistencia a la tracción indirecta de núcleos, comprendido entre 3.6 MPa (520 lbf/pg²) y 4.1 MPa (590 lbf/pg²). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizados apropiadamente sobre núcleos obtenidos de la misma muestra de material, y ensayados por dos laboratorios diferentes, no deben diferir el uno del otro en más de 42.3 % de su promedio.

7.7 *Sesgo* – Como no hay un material de referencia aceptado para la determinación del sesgo en este método de ensayo, no se presenta una declaración al respecto.

8 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 42/ C42M – 12

ANEXO A (Informativo)

VIGAS ASERRADAS PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

A.1 *Generalidades*

A.1.1 Hay datos insuficientes en relación con los efectos de las diferentes variables que pueden afectar la resistencia a la flexión de vigas aserradas. Se requieren recursos considerables para obtener los datos necesarios para desarrollar un método definitivo de ensayo y los datos complementarios sobre precisión. Mientras no se generen dichos

datos, se pueden emplear las siguientes recomendaciones generales para obtener y ensayar las vigas aserradas.

A.1.2 El ensayo de vigas aserradas de un concreto existente no es un método preferido para evaluar la resistencia flexural in-situ, debido a la dificultad existente para obtener la geometría correcta y debido al riesgo de daño de los especímenes a causa del proceso de aserrado, del manejo subsecuente y de un acondicionamiento húmedo incorrecto. Si se requiere evaluar la resistencia flexural in-situ, se puede medir la resistencia a la tracción por hendimiento (tracción indirecta) sobre núcleos de acuerdo con la Sección 7 y aplicar luego las relaciones publicadas en la literatura técnica entre la resistencia a la flexión y la resistencia a la tracción indirecta. Si es necesario ensayar las vigas aserradas, el prescriptor de los ensayos debe entregar instrucciones sobre el tamaño de las vigas, las tolerancias en sus dimensiones y sobre la manera como ellas se deben orientar en la máquina de ensayo.

A.2 *Especímenes de ensayo*

A.2.1 *Dimensiones* – Una viga para el ensayo de resistencia a la flexión deberá tener una sección transversal cuadrada, la cual puede ser de 100 × 100 mm (4 × 4") si el tamaño máximo nominal del agregado es 25 mm (1") o menos; de lo contrario, la sección debe ser de 150 × 150 mm (6 × 6"). Las dimensiones reales de la sección transversal se deben encontrar dentro de $\pm 2\%$ de estas dimensiones nominales. Si la altura de la viga está controlada por el espesor del elemento estructural, el prescriptor de los ensayos debe especificar las dimensiones de la viga. La longitud de la viga debe ser al menos 50 mm (2") mayor que el triple de la altura nominal. Cuando las vigas se requieran para medir propiedades diferentes a la resistencia a la flexión, como la rigidez, sus dimensiones deberán cumplir las exigencias de la norma de ensayo aplicable.

A.2.2 *Aserrado e inspección* – Las vigas se deben cortar con sierras para concreto, enfriadas con agua. Los especímenes de ensayo se pueden deteriorar si no se aserran cuidadosamente. Se debe asegurar un suministro permanente de agua para conservar la hoja de la sierra a baja temperatura. Las superficies aserradas deben ser paralelas y cuadradas y rectangulares, dentro de los límites suministrados por el prescriptor de los ensayos. La viga se debe marcar de manera que se pueda identificar su orientación en la estructura. Se debe verificar la

existencia de grietas, las cuales se pueden ver secando la superficie y observando si hay líneas oscuras que delatan las grietas llenas con agua. La viga no se deberá ensayar si hay una grieta en la luz de carga o si hay desportilladuras en la cara que será sometida a tensión. Se debe tener mucho cuidado al manejar las vigas, para evitar que se presenten estos deterioros. Las vigas podrán ser rechazadas por el prescriptor de los ensayos, si no cumplen las tolerancias en las dimensiones o los requisitos de contacto (en el punto de aplicación de carga y en los puntos de soporte) cuando se colocan en la máquina de ensayo.

A.3 *Acondicionamiento húmedo*

A.3.1 Las superficies de los especímenes aserrados deben ser protegidas contra el secado, cubriéndolas con una arpillera húmeda y una lámina plástica durante su transporte y almacenamiento. Cantidades relativamente pequeñas de secado de la superficie de vigas para el ensayo de resistencia a la flexión, pueden inducir esfuerzos de tensión en las fibras extremas, los cuales reducen notoriamente la resistencia a la flexión. Los especímenes se deben ensayar dentro de los 7 días siguientes al aserrado o como lo exija el prescriptor de los ensayos. Las vigas se deberán sumergir en agua saturada de cal a $23 \pm 2^\circ \text{C}$ ($73.5^\circ \pm 3.5^\circ \text{F}$) por un período no inferior a 40 horas antes de efectuar el ensayo a flexión. El ensayo se deberá efectuar con la mayor prontitud luego de sacar las vigas del agua. Durante el lapso transcurrido entre la remoción del agua y el ensayo, se deberán cubrir con una manta de arpillera húmeda u otra tela húmeda absorbente que resulte adecuada.

A.4 *Ensayo*

A.4.1 Las vigas se deberán ensayar de acuerdo con las disposiciones de la norma INV E-414, excepto que su orientación en el aparato de ensayo debe estar de acuerdo con los requerimientos del prescriptor de los ensayos. Idealmente, la superficie sometida a tensión durante el ensayo debe ser una superficie sometida a tensión al ser colocada en la estructura. Esto requiere, típicamente, que la superficie de tensión sea una superficie cortada y, por lo tanto, la resistencia a flexión que se mide sea inferior a la real. Por otra parte, puede ser preferible que la superficie no cortada sea la superficie sometida a tensión en el ensayo, si cumple las tolerancias dimensionales. Por lo tanto, el prescriptor de los ensayos debe establecer cuál de las superficies será sometida a tensión durante el ensayo. La ubicación de la superficie en tensión con

respecto a la que tenía en el concreto cuando se colocó, deberá quedar registrada en el informe del ensayo.

A.5 *Informe*

A.5.1 Los resultados se deberán informar de acuerdo con lo que resulte aplicable de la norma INV E-414 y los requerimientos de este método de ensayo, incluyendo:

A.5.1.1 La condición de humedad de las vigas en el momento de ensayo.

A.5.1.2 La orientación de las caras en tensión en el ensayo, con respecto a su posición en la estructura

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MEDIDA DEL ESPESOR DE ELEMENTOS DE CONCRETO EMPLEANDO NÚCLEOS

INV E – 419 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma de ensayo se refiere a la determinación del espesor de un pavimento rígido, una losa u otro elemento estructural de concreto, midiendo la longitud de un núcleo extraído de la estructura.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-419-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Este método de ensayo se usa para determinar si una construcción de concreto cumple las especificaciones de diseño, y es especialmente importante en la verificación del espesor de las losas para pavimentos y otros usos.

3 EQUIPO

- 3.1** El aparato de medida es un calibrador que mide la longitud de los elementos axiales del núcleo de concreto. Los detalles de su diseño mecánico no se prescriben, pero debe cumplir los requisitos indicados en los numerales 3.2 a 3.6. La Figura 419 - 1 muestra un aparato de medida típico.
- 3.2** El aparato debe estar diseñado de manera que el núcleo pueda ser sostenido con su eje axial en posición vertical por tres (3) soportes colocados simétricamente en la base inferior del aparato. Los soportes consisten en pequeños pies o espárragos de acero endurecido cuyos extremos, sobre los cuales descansa el núcleo, deben ser redondeados con un radio de 6 a 13 mm ($\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ ").
- 3.3** El aparato debe permitir el acomodo de núcleos de diferente longitud en un rango de, cuando menos, 100 a 250 mm (4 a 10").

- 3.4** El calibrador debe estar diseñado de manera que sea posible hacer una medida de longitud en el centro del extremo superior del núcleo y en ocho puntos adicionales espaciados a iguales intervalos a lo largo de la circunferencia de un círculo, cuyo centro coincida con el del área de la base del espécimen y cuyo radio no sea menor de un medio ($\frac{1}{2}$) ni mayor de tres cuartos ($\frac{3}{4}$) del radio del espécimen.
- 3.5** El extremo de la vara de medida u otro dispositivo que haga contacto con la superficie de la base superior del núcleo debe ser redondeado con un radio de 3 mm ($\frac{1}{8}$ "). La escala sobre la cual se toman las lecturas de longitud debe estar marcada con graduaciones claras, definidas y espaciadas a intervalos exactos. El espaciamiento de las graduaciones debe ser de 1.0 mm (0.10") o menor.
- 3.6** El aparato debe ser estable y suficientemente rígido para mantener su forma y alineamiento sin sufrir una distorsión o deflexión mayor de 0.25mm (0.01") durante las operaciones normales de medida.



Figura 419 - 1. Medidor del espesor de núcleos de concreto

4 ESPECÍMENES DE ENSAYO

- 4.1** Los núcleos usados como especímenes para la medida de la longitud deben ser representativos del concreto en la estructura de la cual se han extraído. El núcleo debe ser taladrado con el eje en posición normal a la superficie de la estructura, y las bases se deben encontrar libres de condiciones que no sean

características de las superficies de la estructura. No se deben emplear núcleos que presenten defectos importantes o que se hayan dañado considerablemente durante el taladrado.

4.1.1 Si un núcleo extraído de un pavimento o de una estructura colocada sobre una base granular de gradación densa tiene adheridas partículas de la base en su parte inferior, éstas se deberán remover mediante corte con una cuña o empleando un cincel y un martillo.

4.1.2 Si el concreto se ha colocado sobre una base granular de gradación abierta, el mortero del concreto puede penetrar en la base y rodear algunas partículas. Se deberá emplear fuerza suficiente con una cuña o un cincel para remover las partículas ligadas, pero no tanta como para fracturar las partículas sustancialmente rodeadas por el mortero. Si durante la remoción del agregado adherido, el concreto se rompe de manera que no se puedan seguir las instrucciones del numeral 5.4, el núcleo no se podrá emplear para la determinación de la longitud.

5 PROCEDIMIENTO

5.1 Antes de medir la longitud del núcleo, el aparato se debe calibrar con un patrón apropiado, de manera que se conozcan los errores debidos a sus imperfecciones mecánicas. Si estos errores exceden de 0.25 mm (0.01"), se deben aplicar correcciones adecuadas a las medidas de longitud.

5.2 El núcleo se coloca en el aparato de medida con su extremo liso, es decir, el que representa la superficie superior de una losa de pavimento o la superficie conformada en el caso de otras estructuras, dirigido hacia abajo para que quede apoyado contra los tres soportes de acero endurecido. El núcleo debe quedar colocado sobre los soportes, de manera que la posición central de medida del aparato quede directamente sobre el punto medio de la base superior del espécimen.

5.3 Se deben efectuar nueve medidas de longitud en cada espécimen, una en la posición central y una en cada una de las ocho posiciones adicionales espaciadas a iguales intervalos a lo largo de la circunferencia del círculo de medida descrito en el numeral 3.4. Cada una de estas nueve (9) medidas se debe leer directamente con una precisión de 1.0 mm (0.05").

5.4 Si en el transcurso de la operación de medida se descubre que en uno o más de los puntos de medida, la superficie del espécimen no es representativa del

plano general de la base del núcleo, debido a una pequeña saliente o depresión, el espécimen se debe rotar levemente alrededor de su eje y, a continuación, se realizan las nueve medidas en la nueva posición. Esta provisión no se puede aplicar frecuentemente en el caso de núcleos tomados de pavimentos sobre bases de gradación abierta, debido al gran número de salientes o depresiones en la superficie inferior del núcleo.

6 INFORME

- 6.1 Las medidas individuales se deben registrar redondeadas a 1.0 mm (0.05"). El promedio de las nueve medidas, redondeado a 1.0 mm (0.05"), se deberá informar como la longitud del núcleo de concreto.

7 PRECISIÓN Y SESGO

- 7.1 *Precisión* – Las estimaciones sobre precisión para este método de ensayo se basan en el análisis de los resultados de ensayos realizados en 11 laboratorios participantes en un estudio del *AASHTO Materials Reference Laboratory* (AMRL). Los datos consistieron en medidas de longitud de 6 núcleos de concreto con diámetros de 4 y 6" y con alturas entre 4 y 10". Los resultados del estudio indicaron que las precisiones de repetibilidad y reproducibilidad son significativamente diferentes para diferentes diámetros de núcleos; por lo tanto, las estimaciones se presentan de manera separada para especímenes de 4 y 6 pulgadas de diámetro (Tabla 419 - 1).

Tabla 419 - 1. Estimaciones de precisión

PROPIEDAD Y TIPO DE ÍNDICE	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s) (mm)	RANGO ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS (d2s) (mm)
<i>Precisión de un solo operador:</i>		
Especímenes de $\Phi = 4''$	0.4	1.0
Especímenes de $\Phi = 6''$	0.7	1.9
<i>Precisión de multi-laboratorio:</i>		
Especímenes de $\Phi = 4''$	0.9	2.4
Especímenes de $\Phi = 6''$	1.8	4.9

- 7.1.1** *Precisión de un solo operador (Repetibilidad)* – Los datos de la columna 2 son las desviaciones estándar que se han hallado apropiadas para la longitud de los núcleos de concreto. Dos resultados obtenidos en el mismo laboratorio por el mismo operador en el menor tiempo posible, empleando el mismo dispositivo, no se considerarán dudosos a menos que la diferencia entre los resultados exceda los límites indicados en la columna 3.
- 7.1.2** *Precisión multilaboratorio (Reproducibilidad)* – Los datos de la columna 2 son las desviaciones estándar que se han hallado apropiadas para la longitud de los núcleos de concreto. Dos resultados obtenidos en diferentes laboratorios por dos operadores, no se considerarán dudosos a menos que la diferencia entre los resultados exceda los límites indicados en la columna 3.
- 7.2** *Sesgo* – No se presenta información sobre el sesgo de este método de ensayo, por cuanto no se han realizado comparaciones con un material que sirva como referencia aceptable.

8 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

ASTM C174/C174M – 06

AASHTO T 148-07 (2011)

HALEH AZARI, "Precision estimates of AASHTO T 148: Measuring length of drilled concrete cores", National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, NCHRP Web-Only Document 165, September 2010

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

ELABORACIÓN Y CURADO EN OBRA DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PARA ENSAYO

INV E – 420 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma cubre el procedimiento para elaborar y curar especímenes cilíndricos y en forma de vigas, de muestras representativas del concreto fresco de un proyecto de construcción.
- 1.2** El concreto usado para moldear los especímenes debe ser muestreado luego de que se hayan realizado todos los ajustes en la dosificación de la mezcla, incluyendo la incorporación del agua y de los aditivos. Esta norma no aplica a la elaboración de especímenes provenientes de concretos que no tengan un asentamiento medible o cuya forma deba ser diferente de la cilíndrica o de prisma cuadrangular.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Esta norma proporciona requerimientos estandarizados para preparar, curar, proteger y transportar especímenes de concreto para ensayo, bajo condiciones de obra.
- 2.2** Si los especímenes se elaboran y curan de manera estandarizada, como lo establece esta norma, los resultados de los ensayos de resistencia se podrán utilizar para los siguientes fines:
- 2.2.1** Ensayos de aceptación para una resistencia especificada.
 - 2.2.2** Verificación de las proporciones de la mezcla para alcanzar una resistencia.
 - 2.2.3** Control de calidad.
- 2.3** Si los especímenes se elaboran y curan en la obra, como lo establece esta norma, los resultados se podrán utilizar para los siguientes propósitos:
- 2.3.1** Determinar si la estructura se puede poner en servicio.

- 2.3.2 Comparación con los resultados de los ensayos de especímenes curados de manera normalizada o con los resultados de varios métodos de ensayos en obra.
- 2.3.3 Determinar la suficiencia del curado y de la protección al concreto en la estructura.
- 2.3.4 Determinar el tiempo requerido para la remoción de las formaletas.

3 EQUIPO

- 3.1 *Moldes (Generalidades)* – Los moldes para preparar los especímenes o las abrazaderas de los moldes que estén en contacto con el concreto deben estar hechos de acero, hierro forjado o cualquier otro material no absorbente, no reactivo con el concreto elaborado con cemento portland u otros cementos hidráulicos. Los moldes deben conservar sus dimensiones y forma bajo cualquier condición de uso. Los moldes deben ser herméticos durante su uso, verificándose por su capacidad para retener el agua que les sea vertida en su interior. Las condiciones para los ensayos de estanqueidad están dadas por los métodos de ensayo de la especificación ASTM C 470/C 470M para elongación, absorción y estanqueidad. Donde sea necesario, se debe usar un sellante adecuado tal como grasa viscosa, arcilla para modelar o cera microcristalina, para evitar fugas en las uniones. Se deben proporcionar los medios adecuados para sujetar firmemente las placas de base a los moldes. Antes de ser utilizados, los moldes reutilizables deben estar recubiertos ligeramente con aceite mineral o con un desmoldante no reactivo.
- 3.2 *Moldes cilíndricos* – Los moldes para preparar los especímenes de ensayo de concreto deben satisfacer los requerimientos de la especificación ASTM C 470/C 470M.
- 3.3 *Moldes para vigas* – Los moldes para vigas deben tener la forma y dimensiones requeridas para producir los especímenes estipulados en el numeral 4.2. Los costados, el fondo y los extremos deben ser perpendiculares entre sí, rectos, alineados y libres de alabeo. La máxima variación de la sección transversal nominal no debe exceder de 3 mm (1/8") para moldes con altura o ancho de 150 mm (6") o más. Los moldes deben producir especímenes no menores en más de 2 mm (1/16") de la longitud requerida en el numeral 4.2.
- 3.4 *Varilla apisonadora* – Una varilla de acero redonda, recta y lisa, con las dimensiones estipuladas en la Tabla 420 - 1 y con, al menos, un extremo

redondeado en forma de semiesfera del mismo diámetro que la barra. Su longitud debe ser por lo menos 100 mm (4") mayor que la altura del molde en el cual se está apisonando, pero no mayor de 600 mm (24") en total.

Nota 1: Una varilla con longitud entre 400 y 600 mm (24 a 36"), cumple los requisitos de las normas INV E-404, INV E-405, INV E-406 e INV E-409.

Tabla 420 - 1. Requisitos para la varilla apisonadora

DIÁMETRO DEL CILINDRO O ANCHO DE LA VIGA, mm (pulgadas)	DIÁMETRO DE LA VARILLA, mm (pulgadas)
< 150 (6)	10 ± 2 (3/8 ± 1/16)
≥ 150 (6)	16 ± 2 (5/8 ± 1/16)

- 3.5 Vibradores** – Se deben emplear vibradores internos, con una frecuencia de vibración de al menos 9000 vibraciones por minuto (150 Hz) mientras se encuentre funcionando dentro del concreto. El diámetro de un vibrador redondo no debe ser superior a una cuarta parte del diámetro del molde cilíndrico o a una cuarta parte del ancho del molde para viga. Los vibradores con otras formas deben tener un perímetro equivalente a la circunferencia de un vibrador redondo adecuado. La longitud total, considerando el eje y el elemento vibrador, debe exceder la profundidad máxima de la sección que se esté vibrando por lo menos en 75 mm (3"). La frecuencia de vibración se debe verificar periódicamente con un tacómetro de lengüeta vibratoria u otro dispositivo apropiado.

Nota 2: Se debe consultar el ACI 309 para obtener más información sobre el tamaño y la frecuencia de los diferentes vibradores y sobre un método para verificar periódicamente su frecuencia.

- 3.6 Mazo** – Se debe utilizar un mazo con cabeza de caucho o cuero con una masa de 0.6 ± 0.2 kg (1.25 ± 0.50 lb).

- 3.7 Herramientas para llenar los moldes** – De tamaño suficientemente grande para que cada cantidad de concreto obtenida del recipiente de muestreo sea representativa, pero a la vez lo suficientemente pequeño para que el concreto no se derrame durante su colocación en el molde. Un cucharón resulta apropiado para colocar el concreto en un molde cilíndrico, mientras que para colocarlo en el molde para viga se pueden emplear una pala o un cucharón.

- 3.8 Herramientas para acabado** – Palustre o llana manual.

- 3.9** *Aparato para verificar el asentamiento* – El equipo para medir el asentamiento debe satisfacer los requerimientos de la norma INV E-404.
- 3.10** *Recipiente para muestreo* – El recipiente adecuado debe ser una bandeja de lámina metálica gruesa, una carretilla, o una superficie plana, limpia y no absorbente, de capacidad suficiente para permitir el mezclado fácil de la muestra completa con una pala o palustre.
- 3.11** *Equipo para medir el contenido de aire* – El equipo para medir el contenido de aire debe satisfacer los requerimientos de las normas de ensayo INV E-406 o INV E-409.
- 3.12** *Elementos para medir la temperatura* – Estos elementos deben cumplir con los requerimientos de la norma de ensayo INV E-423.

4 REQUISITOS DE ENSAYO

- 4.1** *Especímenes cilíndricos* – Los especímenes para determinar la resistencia a la compresión o a la tracción por hendimiento, deben ser cilindros moldeados y fraguados en posición vertical. El número y el tamaño de los moldes se deberán indicar en los documentos del proyecto. Su longitud deberá ser igual al doble del diámetro y éste debe ser, al menos, 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso. Si el tamaño máximo nominal del agregado es mayor de 50 mm (2"), la muestra de concreto se debe tamizar en húmedo como se describe en la norma INV E-401. Para los ensayos de aceptación de la resistencia especificada a la compresión, se deben utilizar especímenes cilíndricos de 150 × 300 mm (6 × 12") o de 100 × 200 mm (4 × 8") (nota 3).

Nota 3: Cuando se requieran moldes con dimensiones en Sistema Internacional y no estén disponibles, se permite usar moldes de tamaño equivalente en unidades pulgada-libra.

- 4.2** *Especímenes en forma de vigas* – Los especímenes para determinar la resistencia a la flexión del concreto deben ser vigas moldeadas y fraguadas en posición horizontal. El número necesario de moldes se deberá indicar en los documentos del proyecto. La longitud debe ser, por lo menos, 50 mm (2") mayor que tres veces la altura de la viga en la posición de ensayo. La relación ancho/altura en la posición de moldeo no debe exceder de 1.5. La viga estándar debe ser de 150 × 150 mm (6 × 6") en su sección transversal, y se debe usar para concreto con agregado grueso cuyo tamaño máximo nominal no exceda de 50 mm (2"). Cuando el tamaño máximo nominal del agregado grueso exceda de 50 mm (2"), la menor dimensión de la sección transversal de

la viga debe ser de, por lo menos, tres veces el tamaño máximo nominal del agregado. A menos que las especificaciones del proyecto lo requieran, las vigas elaboradas en obra no deben tener un ancho o altura menor de 150 mm (6").

- 4.3** *Técnicos de obra* – Los técnicos de obra que elaboren y curen las probetas para los ensayos de aceptación deben estar certificados de acuerdo con la normatividad vigente.

5 MUESTREO DEL CONCRETO

- 5.1** Las muestras utilizadas para elaborar los especímenes de ensayo bajo esta norma, se deben obtener de acuerdo con la norma INV E-401, a menos que se haya aprobado otro procedimiento.
- 5.2** Se debe registrar la identificación de la muestra con respecto a la localización del concreto muestreado y la hora de colocación.

6 ASENTAMIENTO, CONTENIDO DE AIRE Y TEMPERATURA

- 6.1** *Asentamiento* – El asentamiento de cada amasada de concreto con la que se elaboran los especímenes, se debe medir y registrar inmediatamente después de remezclarla en el recipiente, como se indica en la norma de ensayo INV E-404.
- 6.2** *Contenido de aire* – El contenido de aire se debe determinar y registrar de acuerdo con las normas de ensayo INV E-406 o INV E-409. El concreto utilizado en la determinación del contenido de aire no se debe emplear en la elaboración de especímenes de ensayo.
- 6.3** *Temperatura* – La temperatura se debe determinar y registrar de acuerdo con la norma de ensayo INV E-423.

Nota 4: Algunas especificaciones pueden requerir la medición del peso unitario del concreto. En algunos proyectos puede ser deseable conocer el volumen de concreto producido por amasada. También, puede ser deseable disponer de información adicional sobre las mediciones del contenido de aire. La norma INV E-405 se utiliza para medir el peso unitario, el rendimiento y el contenido de aire por el método gravimétrico en mezclas de concreto fresco.

7 MOLDEO DE LOS ESPECÍMENES

- 7.1** *Lugar para el moldeo* – El moldeo de los especímenes se debe realizar con la mayor rapidez posible, sobre una superficie rígida y nivelada, libre de vibraciones y de otras perturbaciones, en un sitio lo más cercano posible al lugar donde se van a almacenar.
- 7.2** *Moldeo de cilindros* – Se selecciona la varilla apisonadora adecuada según lo indicado en el numeral 3.4 y en la Tabla 420 - 1, o el vibrador adecuado según el numeral 3.5. Con la Tabla 420 - 2 se determina el método de consolidación, a menos que se especifique otro método. Si el método de consolidación es por apisonado, los requisitos de moldeo se determinan en la Tabla 420 - 3. Si la consolidación es por vibración, los requisitos de moldeo se determinan en la Tabla 420 - 4. Se elige la herramienta para llenar los moldes, de acuerdo con lo indicado en el numeral 3.7. Mientras se coloca el concreto en el molde, el cucharón se debe mover alrededor del perímetro de la abertura del molde para asegurar una distribución uniforme del concreto y minimizar la segregación. Cada capa de concreto se debe consolidar según se requiera. Al colocar la última capa, se debe agregar una cantidad de concreto tal, que permita mantener lleno el molde después de la consolidación.
- 7.3** *Moldeo de vigas* – Se selecciona la varilla adecuada del numeral 3.4 y la Tabla 420 - 1 o el vibrador apropiado en el numeral 3.5. Se determina en la Tabla 420 - 2 el método de consolidación, a menos que se haya especificado otro. Si el método de consolidación es por apisonado, los requisitos del moldeo se determinan con la Tabla 420 - 3. Si el método de consolidación es por vibración, los requisitos de moldeo se determinan con la Tabla 420 - 4. Se determina el número de penetraciones de la varilla por capa, considerando una penetración por cada 14 cm^2 (2 pg^2) del área de la superficie de la viga. Empleando el cucharón o la pala se coloca el concreto en el molde en la altura requerida para cada capa. El concreto se debe colocar de manera uniforme en cada capa con un mínimo de segregación. Cada capa se debe consolidar según se requiera. Al colocar la última capa, se deberá agregar una cantidad de concreto tal, que permita mantener lleno el molde después de la consolidación.

Tabla 420 - 2. Requisitos sobre el método de consolidación

ASENTAMIENTO, mm (pulgadas)	MÉTODO DE CONSOLIDACIÓN
≥ 25 (1)	Apisonado o vibración
< 25 (1)	vibración

Tabla 420 - 3. Requisitos para el moldeo por apisonado

TIPO Y TAMAÑO DE LA PROBETA	N° DE CAPAS DE APROXIMADAMENTE IGUAL ALTURA	N° DE GOLPES DE VARILLA POR CAPA
<i>Cilindros:</i>		
Diámetro, mm (pulgadas)		
100 (4)	2	25
150 (6)	3	25
225 (9)	4	50
<i>Vigas:</i>		
Ancho, mm (pulgadas)		
150 a 200 (6 a 8)	2	Ver numeral 7.3
> 200 (> 8)	3 o más de igual altura, sin que ninguna exceda de 150 mm (6")	Ver numeral 7.3

Tabla 420 - 4. Requisitos para el moldeo por vibración

TIPO Y TAMAÑO DE LA PROBETA	N° DE CAPAS	N° DE INSERCIONES DEL VIBRADOR EN CADA CAPA	ESPESOR APROXIMADO DE LA CAPA, mm (pulgadas)
<i>Cilindros:</i>			
Diámetro, mm (pulgadas)			
100 (4)	2	1	½ de la altura del espécimen
150 (6)	2	2	½ de la altura del espécimen
225 (9)	2	4	½ de la altura del espécimen
<i>Vigas:</i>			
Ancho, mm (pulgadas)			
150 a 200 (6 a 8)	1	Ver numeral 7.4.2	Espesor del espécimen
> 200 (> 8)	2 o más	Ver numeral 7.4.2	Tan cerca de 200 (8) como sea posible

7.4 Consolidación – Los métodos de consolidación utilizados en esta norma son el apisonado y la vibración interna.

7.4.1 Apisonado – Se coloca el concreto en el molde en el número especificado de capas de aproximadamente igual volumen. Cada capa se apisona uniformemente sobre la sección transversal con el extremo redondeado de la varilla aplicando el número de penetraciones especificadas (Figura 420 - 1). La capa inferior se debe apisonar en todo su espesor. Al apisonarla, se deberá tener cuidado para no causar daño al fondo del molde. Para cada capa superior, se permite que la varilla penetre aproximadamente 25 mm (1") en la capa anterior. Después de que cada capa haya sido apisonada, se golpea ligeramente con el mazo el exterior del molde de 10 a 15 veces para cerrar cualquier orificio dejado durante el apisonado y para liberar las burbujas grandes de aire que hayan quedado atrapadas. Se debe utilizar la palma de la mano para golpear ligeramente los moldes cilíndricos desechables que sean susceptibles de daño si se golpean con el mazo. Después de golpear el molde, se elimina el excedente de concreto en los lados y extremos del molde en forma de viga empleando una llana manual u otra herramienta adecuada. Los moldes que no fueron llenados completamente, se deben ajustar con concreto representativo durante la consolidación de la capa superior. Se retira el exceso de concreto de los moldes sobrellenados.



Figura 420 - 1. Apisonado de una capa de un cilindro y de una viga

7.4.2 Vibración – Se debe mantener un periodo uniforme de vibración para cada tipo de concreto, vibrador y tipo de espécimen. La duración de la vibración requerida depende de la trabajabilidad del concreto y de la efectividad del vibrador. Usualmente, se considera que se ha vibrado lo

suficiente cuando la superficie del concreto comienza a volverse suave y dejan de salir grandes burbujas de aire hacia la superficie. La vibración se debe continuar sólo lo suficiente para lograr una consolidación adecuada del concreto (Ver nota 5). Los moldes se deben llenar y vibrar en el número requerido de capas aproximadamente iguales. Todo el concreto de cada capa debe ser colocado en el molde antes de comenzar la vibración de esa capa. Durante la consolidación, se inserta suavemente el vibrador sin permitir que toque el fondo o las paredes del molde (Figura 420 - 2). Al terminar la consolidación de cada capa se retira cuidadosamente el vibrador para evitar que queden burbujas de aire dentro del espécimen. Cuando se vierta la última capa, se evitará sobrellenar el molde más de 6 mm ($\frac{1}{4}$ ").



Figura 420 - 2. Vibración de una capa de un cilindro

Nota 5: En general, no se requieren más de 5 segundos de vibración en cada inmersión para consolidar adecuadamente un concreto con asentamiento mayor de 75 mm (3"). Se puede requerir más tiempo para un concreto con menor asentamiento, pero el tiempo de vibración rara vez excede de 10 segundos por inserción.

7.4.2.1 Cilindros – El número de inserciones por capa está estipulado en la Tabla 420 - 4. Cuando se requiere más de una inserción por capa, se debe distribuir la inserción uniformemente en cada capa. Se permite que el vibrador penetre en todo el espesor de la capa a vibrar y se introduzca aproximadamente 25 mm (1") en la capa anterior. Después de que cada capa ha sido vibrada, se golpea ligeramente el exterior del molde unas 10 veces con el mazo, para cerrar cualquier orificio dejado por el vibrador y liberar cualquier burbuja de aire que pudiera haber quedado atrapada. Se debe utilizar la palma de la mano para golpear ligeramente los moldes desechables y de cartón que se puedan dañar si se golpean con el mazo.

7.4.2.2 Vigas – Se inserta el vibrador en intervalos que no excedan de 150 mm (6") a lo largo de la línea central en la dimensión mayor de la probeta. Para especímenes con ancho mayor a 150 mm (6") las inserciones se deben realizar de manera alternada a lo largo de dos líneas. Se debe permitir que la sonda del vibrador penetre aproximadamente 25 mm (1") en la capa anterior. Después de vibrar cada capa, se golpea suavemente el exterior del molde unas 10 veces con el mazo para cerrar los orificios que hayan quedado al vibrar y para liberar burbujas de aire atrapadas.

7.5 Acabado – El acabado se debe realizar con la manipulación mínima necesaria para producir una superficie plana y nivelada con el borde del molde y sin depresiones o proyecciones mayores de 3.3 mm (1/8").

7.5.1 Cilindros – Después de la consolidación, se termina la superficie enrasándola con la varilla apisonadora si el concreto lo permite (Figura 420 - 3), o con una llana o un palustre. Si se desea, se puede refrentar el cilindro recién elaborado con una capa delgada de pasta de cemento portland a la cual se le permite fraguar y curar con el espécimen (Ver la sección de materiales para refrentado en la norma INV E-403).



Figura 420 - 3. Enrase del cilindro con la varilla

7.5.2 Vigas – Después de la consolidación del concreto, se enrasa la superficie con una llana o palustre hasta la tolerancia requerida, para producir una superficie plana y nivelada (Figura 420 - 4).

7.6 Identificación – Los especímenes se deben marcar para facilitar su identificación y la del concreto que representan. Se debe emplear un procedimiento que no afecte la superficie superior del hormigón. No se deben marcar las tapas removibles. Al desmoldar, los especímenes de ensayo se deben marcar para conservar sus identidades.



Figura 420 - 4. Enrase de una viga con la llana

8 CURADO

8.1 *Curado estándar* – El curado estándar es el método que se utiliza cuando los especímenes se elaboran y curan para los propósitos indicados en el numeral 2.2.

8.1.1 *Almacenamiento* – En caso de que las probetas no se puedan moldear en el lugar donde recibirán el curado inicial, inmediatamente después del acabado se llevan a un lugar de curado inicial para almacenamiento. La superficie de apoyo sobre la que van a almacenar los especímenes debe estar nivelada con una tolerancia de 20 mm por metro ($\frac{1}{4}$ " por pie). Si se mueven los cilindros elaborados con moldes desechables, se deberán levantar y sostener por su parte inferior, empleando una llana grande o algún otro dispositivo similar. Si la superficie superior del espécimen se daña durante el traslado al lugar de almacenamiento inicial, el acabado se deberá rehacer de inmediato.

8.1.2 *Curado inicial* – Después del moldeo y del acabado, los especímenes se deben almacenar durante un período hasta de 48 horas, en un rango de temperatura entre 16 y 27° C (60 a 80° F) y en un ambiente húmedo para prevenir cualquier pérdida de humedad. Para las mezclas de concreto con una resistencia especificada de 40 MPa (6000 lbf/pg²) o más, la temperatura de curado inicial se debe encontrar entre 20 y 26° C (68 a 78° F). Se pueden emplear diferentes procedimientos para el curado inicial para mantener las condiciones de humedad y temperatura. Se debe utilizar un procedimiento adecuado o una combinación de procedimientos (nota 6). Todos los especímenes se deben proteger de los rayos directos del sol y de las fuentes de calor

radiante, en caso de que se usen. La temperatura de almacenamiento se debe controlar mediante aparatos de refrigeración o de calefacción, siempre que sea necesario. Se anota la temperatura usando un termómetro de máximas y mínimas. Si los moldes son de cartón, se deberá proteger la superficie externa, de manera que no quede en contacto con una arpillera húmeda u otras fuentes de agua.

Nota 6: Se puede crear un ambiente húmedo satisfactorio para el curado inicial de los especímenes usando uno o más de los siguientes procedimientos: (1) los especímenes moldeados con tapas plásticas se pueden sumergir inmediatamente en agua saturada con hidróxido de calcio; (2) almacenarlos en estructuras o cajas de madera adecuadas; (3) colocarlos en pozos de arena húmeda; (4) cubrirlos con tapas plásticas removibles; (5) colocarlos dentro de bolsas de polietileno o (6) cubrirlos con láminas de plástico o placas no absorbentes, si se toman precauciones para evitar el secado y se emplean arpilleras húmedas en el recinto, aunque previniendo el contacto de la arpillera con las superficies de concreto. La temperatura del ambiente se puede controlar satisfactoriamente durante el curado inicial de los especímenes mediante uno o más de los siguientes procedimientos: (1) ventilación; (2) uso de hielo; (3) uso de aparatos con termostatos para frío y calor, o (4) uso de métodos de calefacción como estufas o bombillos. Se pueden emplear otros métodos adecuados siempre que se cumplan los requisitos de humedad y temperatura de almacenamiento. Para las mezclas de hormigón con una resistencia especificada de 40 MPa (6000 lbf/pg²) o más, el calor generado durante las primeras edades puede subir la temperatura por encima del valor requerido para el almacenamiento. La inmersión en agua saturada con hidróxido de calcio puede ser el método más fácil de mantener la temperatura de almacenamiento adecuada. Cuando los especímenes se van a sumergir en agua saturada con hidróxido de calcio, no se deben emplear moldes de cartón u otros que puedan sufrir expansión al ser sumergidos en agua. Los resultados de los ensayos de resistencia a edad temprana pueden ser menores cuando se almacena a 16° C (60° F) y mayores si se almacena a 27° C (80° F). Por otra parte, a edades mayores, los resultados pueden ser menores para temperaturas más altas de almacenamiento inicial.

8.1.3 Curado final:

8.1.3.1 Cilindros – Al finalizar el curado inicial y dentro de los 30 minutos siguientes a la remoción de los moldes, los especímenes se deben curar manteniendo permanentemente agua libre en sus superficies a una temperatura de $23 \pm 2^\circ \text{C}$ ($73.5 \pm 3.5^\circ \text{F}$), usando tanques de almacenamiento de agua o cuartos húmedos que cumplan con los requisitos de la Especificación ASTM C 511, excepto cuando se refrenta con mortero de azufre e inmediatamente antes del ensayo. Cuando se refrenta con un compuesto de mortero de azufre, los extremos del cilindro deben estar suficientemente secos para evitar la formación de vapor o de bolsas de espuma de más de 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") por debajo o en el refrentado, como se describe en la norma INV E-403. Durante un periodo que no exceda de 3 horas inmediatamente antes del ensayo, no se requiere de una temperatura normalizada de curado, siempre

que se mantenga la humedad libre en los cilindros y que la temperatura ambiente se encuentre entre 20 y 30° C (68 a 86° F).

8.1.3.2 Vigas – Las vigas se deben curar de la misma forma que los cilindros (ver numeral 8.1.3.1), con la excepción de que ellas se deben almacenar en agua saturada con hidróxido de calcio a una temperatura de $23 \pm 2^\circ \text{C}$ ($73.5 \pm 3.5^\circ \text{F}$) durante un período no menor de 20 horas antes del ensayo. Se debe evitar el secado de las superficies de la viga durante el lapso que transcurre entre el retiro del almacenamiento en agua y la finalización del ensayo.

Nota 7: Cantidades relativamente pequeñas de superficie seca en los especímenes para ensayos de flexión, pueden inducir esfuerzos de tracción en las fibras extremas, que reducirán significativamente el valor de la resistencia a la flexión.

8.2 Curado en obra – El curado en obra es el método de curado utilizado para los especímenes moldeados y curados como se indica en el numeral 2.3.

8.2.1 Cilindros – Los cilindros se deben almacenar en o sobre la estructura, tan cerca como sea posible del punto de descarga del concreto al que representan. Todas las superficies de los cilindros se deben proteger del ambiente de la misma manera o lo más parecido posible al concreto contenido en las formaletas. Los cilindros se deben mantener en las mismas condiciones de humedad y temperatura que prevalecen en la obra estructural. Los cilindros se deben ensayar en la condición de humedad resultante del tratamiento de curado especificado. Para satisfacer estas condiciones, los cilindros elaborados para determinar el instante en el que una estructura puede ser puesta en servicio, se deben retirar de los moldes al mismo tiempo en que se retiren las formaletas de la obra.

8.2.2 Vigas – Tan pronto como sea posible, las vigas se deben curar de la misma forma que el concreto en la estructura. Transcurridas 48 ± 4 h después del moldeo, se trasladan las vigas moldeadas a su lugar de almacenamiento y se remueven de los moldes. Las vigas que representan losas de pavimento se almacenan colocándolas sobre el suelo, en la misma posición en que fueron moldeadas, con su cara superior hacia arriba. Los lados y los extremos de las vigas se deben cubrir con tierra o arena que debe mantenerse húmeda, dejando la cara superior expuesta al tratamiento de curado especificado. Los especímenes representativos del concreto de una estructura se

almacenan tan cerca como sea posible del elemento o elementos que representan, y se les deben proporcionar la misma protección contra la temperatura y el mismo ambiente húmedo que a la estructura. Al final del periodo de curado, se dejan las probetas en su lugar expuestas al medio ambiente, en igual forma que la estructura. Se retiran todas las vigas del almacenamiento de la obra y se introducen en agua saturada con hidróxido de calcio, a una temperatura de $23 \pm 2^\circ \text{C}$ ($73.5 \pm 3.5^\circ \text{F}$) por un periodo de 24 ± 4 h previo al instante del ensayo, para asegurar condiciones uniformes de humedad entre un espécimen y otro. Se deben observar las precauciones dadas en el numeral 8.1.3.2, para evitar el secado durante el lapso que transcurre entre la remoción de los especímenes del curado y el momento del ensayo.

- 8.3** *Curado del concreto estructural liviano* – Los cilindros de concreto estructural liviano se deben curar de acuerdo con la especificación ASTM C 330.

9 TRANSPORTE DE LOS ESPECÍMENES AL LABORATORIO

- 9.1** Antes de su transporte, los especímenes se deben curar y proteger como se especifica en la Sección 8. Los especímenes no se deben trasladar hasta, al menos, unas 8 horas después del fraguado inicial (Ver nota 8). Durante el transporte, los especímenes se deben proteger con un material de amortiguación adecuado que evite daños debido a las sacudidas. En tiempo frío, se deben proteger del congelamiento usando un material aislante adecuado. La pérdida de humedad durante el transporte se puede prevenir envolviéndolos en plástico, arpillera húmeda, rodeándolos con arena húmeda, o ajustando tapas plásticas en los moldes plásticos. El tiempo de transporte no debe exceder de 4 horas.

Nota 8: El tiempo de fraguado se puede medir con el método de ensayo ASTM C 403.

10 INFORME

- 10.1** Se debe entregar la siguiente información al laboratorio que ensayará los especímenes:

10.1.1 Número de identificación.

10.1.2 Ubicación del concreto representado por las muestras.

- 10.1.3** Día, hora y nombre del técnico que elaboró los especímenes.
- 10.1.4** Asentamiento, contenido de aire y temperatura del concreto; resultados de los ensayos y de cualquier otro ensayo realizado al concreto fresco, así como cualquier desviación en relación con los métodos normalizados de ensayo usados como referencia.
- 10.1.5** Método de curado. Para el método de curado normalizado, se debe mencionar el método de curado inicial, con las temperaturas máximas y mínimas, y el método de curado final. Para el método de curado en obra, se debe mencionar la ubicación del lugar de almacenamiento, la forma de protección, la temperatura y la humedad ambiente, y el tiempo transcurrido hasta el desmolde.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C31/C31M – 12

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012/2015

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO FUNDIDOS IN-SITU

INV E – 421 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión de cilindros moldeados en la obra empleando moldes especiales adosados a las formaletas. El método de ensayo está limitado a losas de concreto cuyo espesor varíe entre 125 y 300 mm (5 y 12").

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Un dispositivo compuesto por un cilindro y un elemento de soporte tubular se adosa a la formaleta antes de vaciar el concreto, como se muestra en las Figuras 421 - 1 y 421 - 2. La elevación del borde superior del molde se debe ajustar para que coincida con el nivel de la superficie de la losa terminada. El elemento de soporte previene el contacto directo de la losa de concreto con la parte exterior del molde y permite extraer fácilmente el molde de la losa. El molde se llena en el instante en que el sitio donde se encuentra es alcanzado durante la colocación normal del concreto para la elaboración de la losa. El espécimen en la condición "curado in-situ" se remueve de su ubicación en la obra inmediatamente antes del retiro de la formaleta, y se refrenta y se ensaya. La resistencia a la compresión se debe corregir dependiendo de la relación longitud/diámetro, empleando los factores de corrección mencionados en la norma INV E-418.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** La resistencia de un cilindro moldeado in-situ está relacionada con la resistencia del concreto de la estructura, debido a la semejanza en las condiciones de curado, ya que el cilindro se cura dentro de la losa. Sin embargo, debido a diferencias en la condición de humedad, en el grado de consolidación, en el tamaño del espécimen y en la relación longitud/diámetro, no hay una relación única entre la resistencia de los cilindros moldeados in-situ y la de los núcleos de la misma edad. Cuando los núcleos se extraen sin daño y se ensayan en la misma condición de humedad de los cilindros

moldeados in-situ, la resistencia de los cilindros moldeados puede ser, en promedio, 10 % mayor que la de los núcleos a edades hasta de 91 días, para especímenes del mismo tamaño y la misma relación longitud/diámetro.

- 3.2** La resistencia de los cilindros moldeados in-situ tiene varias aplicaciones como, por ejemplo, la estimación de la capacidad de carga de las losas, la determinación del tiempo adecuado para la remoción de formaletas y entibados, y la determinación de la efectividad de los sistemas de curado y protección.

4 EQUIPO

- 4.1** Los moldes para fundir in-situ deben tener un diámetro al menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado. La relación longitud/diámetro del espécimen, luego del refrentado, no debe ser menor de 1.0 (nota 1). El molde (miembro interno de la Figura 421 - 1) debe ser construido en una sola pieza en forma de cilindro recto con un diámetro interior no menor de 100 mm (4"), cuyo diámetro promedio no difiera del nominal en más de 1 % y que no presente ningún diámetro individual que difiera de otro en más de 2 %. Los planos del borde y de la base deben ser perpendiculares al eje del molde con una tolerancia de 0.5° equivalente, aproximadamente, a 1 mm en 300 mm (1/8" en 12").

Nota 1: La relación longitud/diámetro se debe encontrar, preferiblemente, entre 1.5 y 2.0.

- 4.2** Los moldes deben ser estancos e impermeables. Tanto los moldes como los elementos auxiliares deben ser elaborados con un material no absorbente y que no reaccione con el concreto de cemento hidráulico. Deben ser suficientemente fuertes y rígidos para permitir su uso bajo las condiciones normales de construcción sin sufrir desgarros, aplastamiento u otras deformaciones permanentes al ser llenados con el concreto fresco. Su resistencia a la deformación debe llegar al extremo de poder producir cilindros de concreto endurecido en los que dos diámetros, medidos ortogonalmente en el mismo plano horizontal no difieran en más de 2 mm (1/16").
- 4.3** La parte superior exterior del molde debe poseer exteriormente perillas centradoras y una pestaña anular que le sirve para apoyarse sobre el miembro estructural del cual se va a tomar la muestra (numeral 4.4) y para sellar el espacio anular que queda entre el molde y la pared del elemento de soporte. La pestaña deberá tener medios para girar y para retirar verticalmente los moldes del elemento de soporte (Figura 421 - 1).

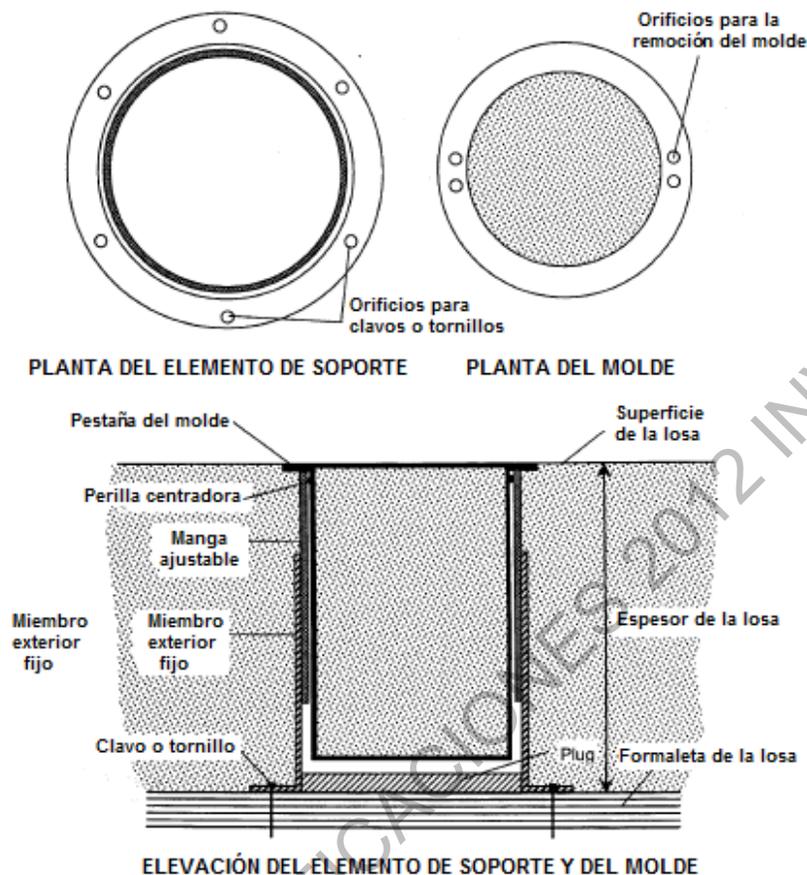


Figura 421 - 1. Esquema del ensamble del molde para fundir cilindros in-situ

- 4.4** El elemento de soporte debe ser un cilindro recto del diámetro requerido para acomodar el molde y para hacer contacto concéntrico y soportar la pestaña anular de éste. Debe disponer de medios para ajustar la altura, y debe tener manera de fijarse a la formaleta por medio de clavos o tornillos, con el fin de impedir la entrada de concreto en el espacio anular entre él y el molde.



Figura 421 - 2. Moldes y elementos de soporte colocados sobre la formaleta

5 INSTALACIÓN DEL EQUIPO

- 5.1** Tras completar la colocación del acero de refuerzo y la preparación restante de la formaleta, se sujeta el elemento de soporte a la formaleta usando clavos o tornillos (Figura 421 - 2). Se ajusta de manera que la parte superior del molde quede alineada con la altura de las guías del elemento usado para enrasar el concreto.

Nota 2: La localización de los ensambles de los moldes para este ensayo debe quedar dibujada en los planos del proyecto, para facilitar su identificación y ubicación después de la colocación del concreto.

- 5.2** Se coloca el molde dentro del elemento de soporte de manera que la pestaña sea soportada uniformemente por la manga ajustable, con el fin de prevenir la penetración de concreto o mortero en el espacio entre el molde y el elemento de soporte.

Nota 3: Se permite la inserción de un material compresible entre el elemento de soporte y el molde, para prevenir la filtración de mortero dentro del espacio anular.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Ante todo, se inspeccionan los moldes para asegurarse de que se encuentran limpios y libres de cualquier materia extraña. En seguida, se llenan simultáneamente con la colocación del concreto en vecindades del sitio donde ellos se encuentran.
- 6.2** *Consolidación* – El concreto se consolida en el molde simulando las condiciones reales de colocación en la obra. En obras corrientes, si el concreto vecino se consolida mediante vibración interna, se usará el vibrador externamente, tocando brevemente el exterior del elemento de soporte del molde. La vibración interna en el molde está prohibida, salvo circunstancias excepcionales que deberán quedar registradas en el informe con los resultados. El terminado superficial del espécimen deberá ser idéntico al del concreto que lo rodea.
- 6.3** *Curado de los especímenes* – Los especímenes se someten al mismo curado y al mismo tratamiento del concreto que lo rodea. Se anotan las temperaturas máxima y mínima de la superficie de la losa durante el período de curado. Los moldes deberán permanecer en el sitio en que se fundieron, hasta el instante en que se requieran su remoción y transporte al sitio de ensayo.

- 6.4** *Remoción del molde* – Los moldes se remueven de los elementos de soporte con el cuidado necesario para no dañar físicamente los especímenes (Figura 421 - 3). Desde el instante en que son removidos de la estructura hasta el instante en que se ensayan, se deberán mantener a una temperatura en un rango de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 10^{\circ}\text{F}$) en relación con la temperatura que tenía la superficie de la losa en el instante de la remoción. Los moldes se deberán transportar al laboratorio en un término no mayor de 4 horas. Durante el transporte, se deberán proteger con un material adecuado para (1) prevenir daños por sacudidas, (2) aislarlos de temperaturas extremas y (3) prevenir pérdidas de humedad
- 6.5** *Ensayo del espécimen* – Se remueve el espécimen del molde. Se determina su diámetro promedio con aproximación a 0.2 mm (0.01"), promediando dos medidas ortogonales en su parte media. Se refrenta de acuerdo con la norma INV E-403 y se mide su altura (longitud) incluyendo el refrentado, con aproximación a 2 mm (0.1"). Alternativamente, se mide su longitud con aproximación a 2 mm (0.1") y se usan tapas no adheridas, de acuerdo con la norma INV E-408. Cada espécimen se deberá ensayar según el procedimiento de la norma INV E-410, en la condición de humedad en que se recibe de la obra, salvo que las especificaciones el proyecto indiquen algo diferente.



Figura 421 - 3. Molde extraído

7 CÁLCULOS

- 7.1** La resistencia a la compresión de cada espécimen se determina usando la sección transversal calculada a partir del diámetro promedio. Si la relación longitud/diámetro es igual o menor de 1.75, la resistencia se deberá corregir empleando el factor aplicable de la norma INV E-418.

8 INFORME

8.1 Se deberá presentar la siguiente información:

- 8.1.1 Identificación de la estructura en la cual se fundieron los cilindros; identificación de cada espécimen y la ubicación del molde dentro de la estructura.
- 8.1.2 Longitud y diámetro de cada espécimen, mm (pg.).
- 8.1.3 Carga máxima aplicada, N (lbf).
- 8.1.4 Factor de corrección longitud/diámetro utilizado.
- 8.1.5 Resistencia a la compresión, aproximada a 0.1 MPa (10 lbf/pg²), luego de multiplicar por el factor de corrección, si fue necesario.
- 8.1.6 Tipo de fractura de cada espécimen (Ver norma INV E-410).
- 8.1.7 Defectos en el espécimen o en el refrentado, si los hubo.
- 8.1.8 Edad del espécimen en el momento del ensayo.
- 8.1.9 Métodos de curado empleados.
- 8.1.10 Temperatura inicial del concreto.
- 8.1.11 Información sobre las temperaturas máxima y mínima en el sitio de la obra, para definir las condiciones de curado de los especímenes in-situ.
- 8.1.12 Descripción detallada de cualquier vibración interna o cualquier otra manipulación interna del concreto fresco en el molde.
- 8.1.13 Cualquier dato adicional pertinente a las condiciones de la obra y que se considere que pudiera afectar los resultados.

9 PRECISIÓN Y SESGO

- 9.1 *Precisión* – Se encontró que el coeficiente de variación de un solo operador es 3.5 % para un rango de resistencias a compresión entre 10 y 41 MPa (1500 y

6000 lbf/pg²). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados por el mismo operador sobre una muestra de concreto de la misma amasada no deben variar en más de 10.0 % de su promedio. Las diferencias se pueden deber a deficiencias en la preparación de los especímenes o a diferencias reales de resistencia a causa de variaciones en las amasadas o en las condiciones de curado.

- 9.2** *Sesgo* – El sesgo de este método no se puede determinar, por cuanto la resistencia de los especímenes moldeados in-situ solamente se puede determinar usando este método de ensayo.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C873/873 M – 10a

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MEDIDA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A EDAD TEMPRANA Y PROYECCIÓN A UNA EDAD POSTERIOR

INV E – 422 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma cubre un procedimiento para elaborar y curar especímenes de concreto para ser ensayados a una edad temprana. Los especímenes se almacenan bajo condiciones normales de curado y se emplea la historia de la temperatura para calcular un índice de madurez que está relacionado con la ganancia de resistencia.
- 1.2** La norma cubre, también, un procedimiento para usar los resultados de la resistencia temprana para proyectar el potencial de resistencia hacia el futuro.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Resistencia potencial* – Resistencia que debería presentar un espécimen de ensayo a una edad especificada, al ser curado bajo condiciones normalizadas.
- 2.2** *Ecuación de predicción* – Ecuación que representa la línea recta que relaciona la resistencia a la compresión con el logaritmo del índice de madurez.
- 2.2.1** *Comentario* – La ecuación de predicción se usa para proyectar la resistencia de un espécimen de ensayo a partir de su resistencia medida a edad temprana. La forma general de la ecuación usada en este método es la siguiente:

$$S_M = S_m + b \times (\log M - \log m) \quad [422.1]$$

Donde: S_M : Resistencia proyectada al índice de madurez “M”;

S_m : Resistencia a la compresión medida al índice de madurez “m”;

b: Pendiente de la línea;

M: Índice de madurez bajo condiciones normalizadas de curado;

m: Índice de madurez del espécimen ensayado a edad temprana.

Nota 1: La ecuación de predicción se desarrolla realizando ensayos de compresión a diferentes edades, calculando los índices de madurez a dichas edades y dibujando la resistencia a la compresión en función del logaritmo del índice de madurez. Se debe dibujar la línea de mejor ajuste a los datos, y la pendiente de ella se usa en la ecuación de predicción. La ecuación se puede obtener, también, empleando un programa de cómputo.

- 2.3 Resistencia proyectada** – Potencial de resistencia estimado usando la resistencia medida a edad temprana y la ecuación de predicción establecida previamente.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Se preparan y curan especímenes cilíndricos de ensayo de acuerdo con las normas INV E-402 o INV E-420. Se monitorea la temperatura de un espécimen representativo durante el período de curado. Se ensayan los especímenes a la compresión a edades tempranas posteriores a 24 horas y se usa la historia de la temperatura del concreto para calcular el índice de madurez en el instante del ensayo.
- 3.2** Se presenta un procedimiento para obtener una serie de valores de resistencia a la compresión y los correspondientes índices de madurez a diferentes edades. Con los datos obtenidos, se desarrolla una ecuación de predicción, la cual se puede emplear para proyectar las resistencias a edades posteriores, a partir de las medidas a edades tempranas.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** Este método de ensayo brinda un procedimiento para estimar la resistencia potencial de un espécimen particular de ensayo a partir de su resistencia medida a una edad tan temprana como 24 horas. Los resultados de los ensayos a edad temprana dan información sobre la variabilidad de la producción del concreto para emplear durante el proceso de control.
- 4.2** La relación entre la resistencia a edad temprana de los especímenes de ensayo y la resistencia obtenida en algún instante posterior bajo el curado normal,

depende de la composición del concreto. En este método de ensayo, se asume que hay una relación lineal entre la resistencia y el logaritmo del índice de madurez. La experiencia ha demostrado que hay una aproximación aceptable para edades entre 24 horas y 28 días bajo condiciones normales de curado. El usuario de esta norma de ensayo debe verificar que los datos empleados para desarrollar la ecuación de predicción queden representados correctamente por una línea recta. Si la relación no se puede ajustar a una línea recta, el principio de este método es aplicable si se obtiene una ecuación apropiada que represente la relación no lineal.

- 4.3** Las proyecciones de resistencia están limitadas a concretos que empleen los mismos materiales y proporciones del concreto empleado para establecer la ecuación de predicción.

Nota 2: Los intervalos de confianza desarrollados de acuerdo con el numeral 9.2, son útiles para la evaluación de las resistencias proyectadas.

- 4.4** Mediante esta norma no se intenta estimar la resistencia in-situ del concreto. La práctica ASTM C 1074 presenta procedimientos para usar el índice de madurez medido in-situ con el fin de estimar la resistencia in-situ.

5 EQUIPO

- 5.1** Se requieren el equipo y las herramientas menores necesarias para elaborar los especímenes y medir las características del concreto fresco, de acuerdo con las normas INV E-402 o INV E-420.

- 5.2** *Dispositivo para medir la temperatura* – Pueden ser termocuplas o termistores conectados a registradores gráficos continuos o registradores digitales de datos. Para instrumentos digitales, el intervalo de registro debe ser ½ hora o menos durante las primeras 48 horas y de 1 hora o menos con posterioridad. El dispositivo de registro de la temperatura debe tener una exactitud de $\pm 1^\circ \text{C}$ (2°F).

- 5.2.1** Dispositivos alternativos incluyen instrumentos comerciales de madurez que computan y despliegan automáticamente el factor temperatura-tiempo o la edad equivalente, como se indica en la práctica ASTM C 1074.

6 MUESTREO

- 6.1 El muestreo y la medida de las propiedades del concreto fresco se deben realizar de acuerdo con las normas INV E-402 o INV E-420.

7 PROCEDIMIENTO PARA OBTENER LAS RESISTENCIAS TEMPRANAS Y PROYECTADAS

- 7.1 Los especímenes se deben moldear y curar de acuerdo con la norma aplicable entre la INV E-402 y la INV E-420. Se debe anotar el instante en el cual se completa el moldeo de los especímenes.
- 7.2 Se embebe un sensor de temperatura en el centro de uno de los especímenes de concreto muestreado; se activa al dispositivo de registro de la temperatura y se continúa el curado por lo menos durante 24 horas. El registro de la temperatura del concreto se debe mantener durante todo el período de curado.
- 7.3 *Refrentado y ensayo* – Se remueven los especímenes de los moldes tan pronto como resulte práctico después de 24 horas. Se refrentan de acuerdo con las normas INV E-403 o INV E-408.
- 7.3.1 Los materiales de refrentado, si se usan, deben desarrollar a una edad de 30 minutos una resistencia igual o superior que la de los cilindros que se van a ensayar.
- 7.3.2 No se deben ensayar especímenes antes de que se cumplan 30 minutos después del refrentado.
- 7.4 Se determina la resistencia a compresión del cilindro a una edad de 24 horas o posterior, de acuerdo con el procedimiento de la norma INV E-410. Se anotan la resistencia y la edad en el instante del ensayo. La edad del cilindro se debe medir con aproximación a 15 minutos, a partir de instante del moldeo. El valor de resistencia a cada edad será el promedio de los valores obtenidos, al menos, con dos cilindros.
- 7.5 Se determina el índice de madurez en el instante del ensayo usando un instrumento de madurez (nota 3). Se anota el índice de madurez, m , de los especímenes de edad temprana.

Nota 3: Alternativamente, el índice de madurez se puede determinar empleando el procedimiento manual propuesto por Nurse-Saúl y descrito en la práctica ASTM C 1074.

- 7.6** Cuando los datos que representan la resistencia a la compresión y al índice de madurez, m , se van a usar para proyectar la resistencia del concreto a una edad posterior, la resistencia proyectada se deberá determinar usando la ecuación de predicción determinada en la Sección 8.

8 PROCEDIMIENTO PARA DESARROLLAR LA ECUACIÓN DE PREDICCIÓN

- 8.1** Se debe desarrollar una ecuación de predicción para cada concreto a ser usado en la obra. Los especímenes se deben preparar de acuerdo con la norma INV E-402. Se usa el procedimiento descrito en la Sección 7 para obtener valores de resistencia a la compresión y los correspondientes índices de madurez en los instantes de ensayo. Estos datos deben ensayos a 24 h, 3, 7, 14 y 28 días. Si la edad para la cual se va a determinar la resistencia proyectada excede de 28 días, los datos deberán incluir ensayos a la edad posterior deseada (Ver numeral 4.2). La resistencia a cada edad debe ser el promedio de las resistencias medidas, al menos, sobre 2 cilindros.

- 8.1.1** Los datos de campo son aceptables, siempre que ellos suministren toda la información mencionada en el numeral 8.1 y que los especímenes sean curados en acuerdo con el procedimiento normal de curado de la norma INV E-420.

- 8.2** La constante “ b ” usada en la ecuación de predicción se establece usando uno de dos métodos: (1) mediante un análisis de regresión, o (2) por dibujo manual.

- 8.2.1** *Análisis de regresión* – Se determinan los logaritmos de los índices de madurez y se dibuja la relación entre ellos y las resistencias promedios de los cilindros. Se determina la línea de mejor ajuste a los puntos usando un programa de cómputo apropiado. La línea recta tiene la siguiente ecuación:

$$S_m = a + b \log m \quad [422.2]$$

Donde: S_m : Resistencia a la compresión correspondiente a m ;

a : Ordenada al origen;

b: Pendiente de la línea;

m: Índice de madurez.

8.2.1.1 Se dibuja la línea de mejor ajuste sobre el mismo gráfico donde están los datos, para verificar que se ha determinado la ecuación correcta.

8.2.2 *Línea de mejor ajuste manual* – Se prepara una hoja de papel semi-logarítmico con el eje “y” representando la resistencia a la compresión y con el eje “x” (escala logarítmica) representando el índice de madurez (nota 4). Se colocan los puntos representados por los pares de valores resistencia–índice de madurez. Se dibuja una línea recta que, visualmente, minimice las distancias entre los puntos y la línea. La pendiente de la línea es la distancia vertical, medida en unidades de esfuerzo, entre la intersección de la línea con el comienzo y con el final de un ciclo en el eje “x” (Ver Figura 422 - 1). Esta pendiente es el valor “b” a usar en la ecuación de predicción.

Nota 4: La escala para el eje “y” y el número de ciclos en el papel semi-logarítmico se deben escoger de manera que los datos ocupen tanto papel como sea posible. Cuando el índice de madurez se exprese como el factor temperatura–tiempo en grados–hora, pueden ser necesarios 3 ciclos. Si el índice de madurez se expresa como la edad equivalente en horas, basta con 2 ciclos.

8.3 Se usan la constante “b” y la ecuación del numeral 8.2.1 para determinar la resistencia proyectada a partir de los resultados de los ensayos a edad temprana.

Nota 5: Si se desea verificar la exactitud de la primera estimación del valor “b”, se fabrican especímenes duplicados (compañeros) de los que se van a ensayar a temprana edad, se curan de acuerdo con el procedimiento normalizado de la norma INV E-420, se anotan sus historias de temperatura y se ensayan a 28 días. El valor “b” se reestima usando la ecuación:

$$b = \frac{\sum (S - S_m)}{\sum (\log M - \log m)} \quad [422.3]$$

Donde: b: Pendiente de la línea;

S: Resistencia a la compresión medida al índice de madurez M;

M: Índice de madurez correspondiente al ensayo a 28 días;

S_m: Resistencia a la compresión medida al índice de madurez m;

m: Índice de madurez del espécimen ensayado a edad temprana.

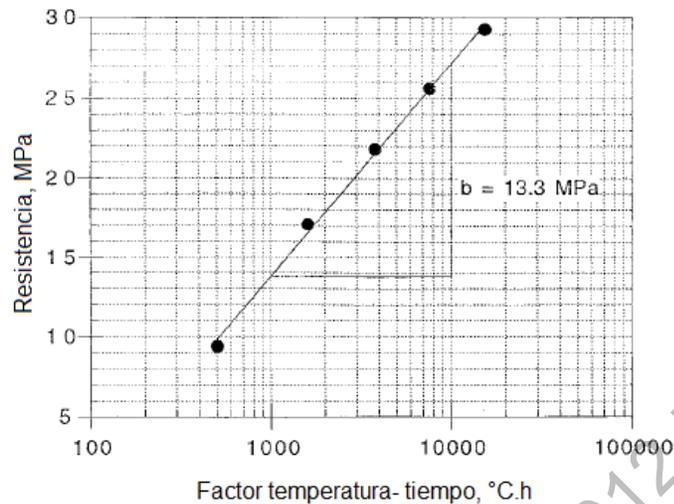


Figura 422 - 1. Ejemplo de datos de resistencia en función del logaritmo del factor temperatura-tiempo y línea de mejor ajuste que representa la ecuación de predicción

9 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

- 9.1** Como se indica en la Sección 11, la variabilidad de la resistencia a compresión a edad temprana obtenida por este método de ensayo es igual o menor que la obtenida en métodos de ensayo tradicionales. Por lo tanto, los resultados son aplicables para una evaluación rápida de la variabilidad de los procesos de control y señalar la necesidad de ajustes. Se debe tener mucha precaución al usar los resultados de este método de ensayo para predecir el cumplimiento de las especificaciones sobre resistencia a edades posteriores, por cuanto los requisitos de resistencia de las especificaciones y códigos no se basan en los resultados de ensayos a edades tempranas.
- 9.2** Se desarrolla un intervalo de confianza de un lado para la resistencia proyectada, para uso en la decisión de aceptación. El intervalo de confianza se basa en las diferencias medidas entre las resistencias proyectadas y las medidas a una edad determinada. Usualmente, dicho intervalo se desarrolla para un nivel de confianza de 95 %, y la decisión es aceptar el concreto cuando cumpla la especificación, si se satisface la siguiente condición:

$$S_M > (S_L + K) \quad [422.4]$$

Donde: S_M : Resistencia proyectada a la edad determinada;

S_L : Límite inferior especificado, expresamente la resistencia especificada a la edad determinada.

$$K = \bar{d} + t_{0,95, n-1} \frac{S_d}{\sqrt{n}} \quad [422.5]$$

Donde: \bar{d} : Diferencia promedio entre la resistencia medida y la proyectada.

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n (S_M - S)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i)}{n} \quad [422.6]$$

Donde: S: Resistencia medida después del curado normal hasta la edad determinada;

d_i : Diferencia entre el par "i" de valores de resistencia;

n: Número de pares de valores S_M y S usados en el análisis;

$t_{0,95, n-1}$: Valor de la distribución t al nivel 95 % para n – 1 grados de libertad;

S_d : Desviación estándar de la diferencia entre las resistencias medidas y proyectadas.

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n - 1}} \quad [422.7]$$

10 INFORME

10.1 El informe con los resultados del ensayo a edad temprana debe contener lo siguiente:

10.1.1 Número de identificación del cilindro de ensayo.

10.1.2 Diámetro del cilindro de ensayo, mm (pg.)

10.1.3 Área de la sección transversal del cilindro de ensayo, mm² (pg²).

- 10.1.4** Carga máxima de ensayo sobre el cilindro, N (lbf).
- 10.1.5** Resistencia a la compresión del cilindro, redondeada a 0.1 MPa (10 lbf/pg²).
- 10.1.6** Tipo de fractura del cilindro, si fue diferente de la usual de cono.
- 10.1.7** Edad del cilindro en el instante del ensayo.
- 10.1.8** Temperatura inicial de la mezcla, aproximada a 1° C (2° F).
- 10.1.9** Registros de temperatura.
- 10.1.10** Método de transporte usado para remitir las muestras al laboratorio.
- 10.2** Si los datos de resistencia a edad temprana se usan para proyectar la resistencia a edades posteriores, el informe deberá incluir:
- 10.2.1** Índice de madurez, m, de los especímenes de edad temprana, en el momento de ser ensayados.
- 10.2.2** La edad de la resistencia proyectada.
- 10.2.3** La resistencia proyectada, calculada con aproximación a 0.1 MPa (10 lbf/pg²).

11 PRECISIÓN Y SESGO

11.1 *Precisión:*

- 11.1.1** Los datos usados para preparar las siguientes declaraciones de precisión se obtuvieron empleando medidas en el sistema inglés (pulgada – libra).
- 11.1.2** El coeficiente de variación para un solo laboratorio fue 3.6 % para un par de cilindros de 150 × 300 mm fundidos de la misma amasada. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados en el mismo laboratorio sobre dos cilindros individuales hechos con los mismos materiales, no deben diferir en más de 10 % de su promedio.

11.1.3 El coeficiente de variación para un solo laboratorio en días diferentes fue 8.7 % para el promedio de pares de cilindros de 150 × 300 mm fundidos de amasadas realizadas en dos días. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos de resistencia adecuadamente realizados, consistente cada ensayo en el promedio de dos cilindros de la misma amasada en el mismo laboratorio, con los mismos materiales y proporciones y en diferentes días, no deben diferir en más de 25 % de su promedio.

11.2 *Sesgo* – Este método de ensayo no tiene sesgo determinable, por cuanto los valores obtenidos sólo se pueden definir en términos de este método de ensayo.

12 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 918/C 918M – 07

MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DEL CONCRETO HIDRÁULICO RECIÉN MEZCLADO

INV E – 423 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este método de ensayo cubre la determinación de la temperatura de mezclas de concreto hidráulico recién elaboradas.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 Este método de ensayo proporciona un medio para medir la temperatura del concreto fresco. La temperatura medida representa la temperatura en el instante del ensayo y puede no ser indicativa de la temperatura del concreto fresco en un instante posterior. El método se puede usar para verificar la conformidad con un requisito especificado para la temperatura del concreto.
- 2.2 El concreto elaborado con un agregado de tamaño máximo nominal mayor de 75 mm (3") puede requerir hasta 20 minutos para transferir el calor del agregado al mortero (Ver Reporte *ACI Committee 207.1R*).

3 EQUIPO

- 3.1 *Recipiente* – El recipiente debe ser lo suficientemente grande para que, por lo menos, 75 mm (3") de concreto cubran el sensor del dispositivo medidor de temperatura en todas direcciones. El espesor de la cubierta de concreto debe ser, además, por lo menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- 3.2 *Dispositivo medidor de temperatura* – El dispositivo deberá ser capaz de medir la temperatura del concreto fresco con una exactitud de $\pm 0.5^\circ \text{C}$ ($\pm 1^\circ \text{F}$) dentro de un rango de 0 a 50° C (30 a 120° F). El diseño del dispositivo debe ser tal, que le permita una inmersión de 75 mm (3") o más durante la operación.
- 3.3 Los termómetros de líquido en vidrio de inmersión parcial (y posiblemente otros tipos) deben tener una marca permanente hasta la cual se puede sumergir el dispositivo sin que sea necesario aplicar un factor de corrección.

- 3.4** *Dispositivo de referencia para medir temperaturas*– Debe ser legible y exacto con una aproximación de $\pm 0.2^{\circ}$ C ($\pm 0.5^{\circ}$ F) en los puntos de verificación descritos en el numeral 4.1. El certificado o reporte de verificación de la exactitud deberá estar disponible en el laboratorio para su revisión. La exactitud de los dispositivos medidores de temperatura de referencia de líquido en vidrio deberá ser verificada solo una vez. La verificación de los dispositivos medidores de temperatura de referencia de resistencia de lectura directa, se debe efectuar cada doce meses. El certificado o reporte debe proporcionar la documentación que demuestre que el medidor de referencia utilizado en la verificación es rastreable, de acuerdo con los criterios del NIST.

4 VERIFICACIÓN DE LA EXACTITUD DE LOS DISPOSITIVOS PARA MEDIR LA TEMPERATURA

- 4.1** La exactitud de cada dispositivo medidor de temperatura usado para determinar la temperatura del concreto fresco se debe verificar anualmente, o cuando se dude de ella. Esta exactitud se debe verificar comparando sus lecturas con las del dispositivo de referencia para medir temperaturas, en dos temperaturas separadas al menos 15° C (30° F).
- 4.2** La verificación de la exactitud de los dispositivos medidores de temperatura se puede hacer por inmersión en aceite u otro líquido adecuado que tenga una densidad uniforme, tomando las siguientes precauciones:
- 4.2.1** Mantener constante la temperatura del líquido en un rango de $\pm 0.2^{\circ}$ C ($\pm 0.5^{\circ}$ F) durante el proceso de verificación.
 - 4.2.2** Mantener el líquido en circulación continua, para que la temperatura en todo el baño sea uniforme.
 - 4.2.3** Suspender los dos dispositivos para medir la temperatura, de manera que no toquen los lados o el fondo del baño durante la verificación.
- 4.3** Tanto el dispositivo medidor de temperatura como el medidor de referencia se deben mantener sumergidos en el líquido por un mínimo de 5 minutos antes de leer las temperaturas.
- 4.4** Antes de leer la temperatura en los termómetros, se deberán golpear suavemente los termómetros que contengan líquido si la temperatura del baño se ha reducido, para evitar que el líquido se adhiera al vidrio.

- 4.5** Se leen y registran las temperaturas marcadas en los dos termómetros. El dispositivo para la medición de la temperatura para el ensayo (numeral 3.2) deberá ser rechazado si la diferencia entre las lecturas excede de 0.5°C (1°F) en cualquiera de los puntos de comparación. Si el indicador del dispositivo de ensayo se puede ajustar, se permite una nueva verificación después del ajuste. Además de las lecturas de la temperatura, se deberán registrar los números de identificación de ambos aparatos, la fecha de la verificación y el nombre del operador que la ha realizado.

5 MUESTREO DEL CONCRETO

- 5.1** La temperatura del concreto fresco se puede medir en el equipo de transporte o en las formaletas después de la descarga (Figura 423 - 1), siempre que el sensor del dispositivo medidor de la temperatura esté rodeado por, al menos, 75 mm (3") de concreto en todas direcciones.
- 5.2** Si la temperatura no se ha medido en el equipo de transporte o en las formaletas, se debe preparar una muestra como se indica a continuación:
- 5.2.1** Inmediatamente antes de obtener la muestra de concreto fresco, se humedece con agua el recipiente que la va a contener.
- 5.2.2** Se toma la muestra de concreto fresco de acuerdo con la norma INV E-401, excepto que no se requieren muestras combinadas si el único propósito de la muestra es determinar la temperatura.
- 5.2.3** Se coloca el concreto fresco dentro del recipiente.



Figura 423 - 1. Determinación de la temperatura del concreto fresco entre formaletas

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Se coloca el dispositivo medidor de temperatura de manera que el sensor de temperatura esté sumergido un mínimo de 75 mm (3") dentro la mezcla de concreto fresco. Se presiona suavemente el concreto alrededor del dispositivo medidor de temperatura, para cerrar los vacíos provocados por la inmersión y para que la temperatura del aire circundante no afecte la lectura.
- 6.2** Se deja el dispositivo medidor de temperatura dentro de la mezcla de concreto fresco por un periodo de 2 a 5min (Figura 423 - 2); en seguida, se lee y registra la temperatura con una precisión de 0.5° C (1° F). El dispositivo no se debe retirar del concreto para realizar la medida.



Figura 423 - 2. Determinación de la temperatura del concreto fresco dentro de un recipiente

7 INFORME

- 7.1** Se anota la temperatura medida en el concreto fresco, con una precisión de 0.5° C (1° F).

8 PRECISIÓN Y SESGO

8.1 *Precisión:*

- 8.1.1** Se ha encontrado que la desviación estándar de un operador único para la medición de la temperatura del concreto es de 0.2° C (0.5° F). Por lo tanto, los resultados de dos medidas adecuadamente realizadas por el mismo operador sobre la misma muestra de material, no deben diferir en más de 0.7° C (1.3° F).

- 8.1.2** Se ha encontrado que la desviación estándar de varios operadores para la medición de la temperatura del concreto es de 0.4° C (0.7° F). Por lo tanto, los resultados de dos medidas adecuadamente realizadas por diferentes operadores sobre la misma muestra de material, no deben diferir en más de 1.0° C (1.9° F).
- 8.1.3** Los valores de precisión se obtuvieron en un estudio interlaboratorios, empleando 11 operadores y dos amasadas de concreto a 24° C (75° F), aproximadamente.
- 8.2** *Sesgo* – Puesto que no hay un material de referencia aceptado para determinar el sesgo, no se presenta declaración sobre el particular.

9 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C1064/1064M – 11

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012/2013

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO EN COMPRESIÓN

INV E – 424 – 13

1 OBJETO

1.1 Este método de ensayo cubre la determinación de: (1) el módulo cuerda de elasticidad (módulo de Young) y (2) la relación de Poisson de cilindros de concreto moldeados y de núcleos de concreto taladrados, cuando se someten a esfuerzos de compresión longitudinal.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Módulo cuerda* – Pendiente de la cuerda trazada entre dos puntos específicos en la curva esfuerzo – deformación.
- 2.2** *Relación de Poisson, μ* – Valor absoluto de la relación entre la deformación transversal y la deformación axial correspondiente, resultante del esfuerzo axial uniformemente distribuido por debajo del límite proporcionalidad del material.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Este método de ensayo proporciona un valor de la relación esfuerzo – deformación unitaria, y una relación entre las deformaciones unitarias transversal y longitudinal para el concreto endurecido a cualquier edad y condiciones de curado establecidas.
- 3.2** Los valores del módulo de elasticidad y de la relación de Poisson, aplicables dentro del rango de esfuerzos de trabajo acostumbrados (0 a 40 % de la resistencia última del concreto), se pueden usar para el dimensionamiento de miembros estructurales reforzados y no reforzados, para la determinación de la cantidad del refuerzo y para calcular los esfuerzos para las deformaciones unitarias observadas.
- 3.3** Los valores obtenidos del módulo de elasticidad son usualmente menores que los obtenidos bajo una aplicación rápida de carga (por ejemplo, a velocidades dinámicas o sísmicas) y, generalmente, son mayores que los valores obtenidos

bajo una carga de aplicación lenta o de gran duración, manteniendo constantes las demás condiciones de ensayo.

4 EQUIPO

- 4.1** *Máquina de ensayo* – Se puede usar cualquier tipo de máquina de ensayo capaz de imponer una carga a la velocidad y a la magnitud establecidas en el numeral 6.4. La máquina debe cumplir los requisitos de la sección referente a Máquinas de Ensayo del Tipo CRT de la Práctica ASTM E 4. El cabezal esférico y los bloques de apoyo estarán de acuerdo con lo indicado en la Sección 4 de la norma de ensayo INV E-410.
- 4.2** *Compresómetro* – Para determinar el módulo de elasticidad, se debe disponer de un dispositivo sensor adherido o no al espécimen (nota 1), que mida con una aproximación de 5 millonésimas la deformación promedio de dos líneas de base diametralmente opuestas, cada una paralela al eje axial y centrada cerca de la mitad de la altura del espécimen. La longitud efectiva de cada línea de base no deberá ser menor que tres veces el tamaño máximo del agregado en el concreto, ni mayor que $2/3$ de la altura del espécimen; la longitud preferida de la línea de base es la mitad de la altura del espécimen. Se pueden emplear deformímetros con puntos de medida embebidos o adheridos al espécimen y leer la deformación de las líneas de manera independiente; o se puede usar un compresómetro (como el mostrado en la Figura 424 - 1) constituido por dos anillos, uno de los cuales (ver B en la Figura 424 - 1) está fijado rígidamente al espécimen, mientras el otro (ver C en la Figura 424 - 1), está fijado en dos puntos diametralmente opuestos, de manera que tenga libertad de rotación. En un punto de la circunferencia del anillo rotativo, a mitad de camino entre los dos puntos de soporte, se deberá usar una barra pivote (ver A en la Figura 424 - 1) para mantener una distancia constante entre los dos anillos. En el punto opuesto en la circunferencia del anillo rotativo (C), el cambio de distancia entre los dos anillos (esto es, la lectura del deformímetro), es igual a la suma del desplazamiento debido a la deformación del espécimen más el desplazamiento debido a la rotación del anillo con respecto a la barra pivote (ver Figura 424 - 2).

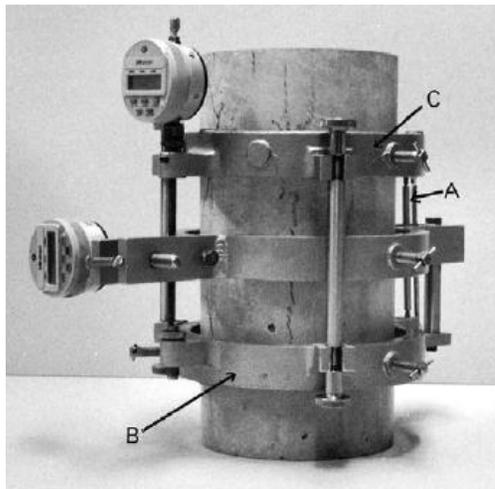


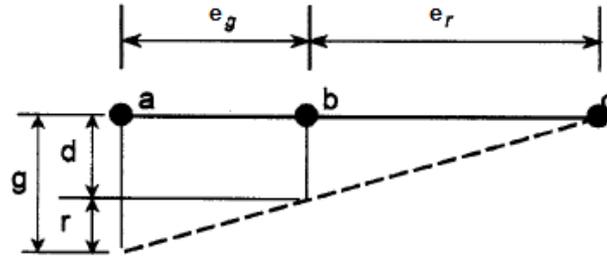
Figura 424 - 1. Compresómetro

- 4.2.1** La deformación se puede medir directamente por medio de un indicador de cuadrante (dial) o mediante un sistema multiplicador de palanca, por un dilatómetro de alambre o por un transformador diferencial lineal variable (TDLV). Si las distancias desde la barra pivote y desde la línea de base de medida del deformímetro hasta el plano vertical que pasa a través de los puntos de soporte del anillo rotativo son iguales, la deformación del espécimen es igual a la mitad de la lectura del deformímetro. Si estas distancias no son iguales, la deformación se deberá calcular de la siguiente manera:

$$d = \frac{g \times e_r}{(e_r + e_g)} \quad [424.1]$$

- Donde: d: Deformación total del espécimen a lo largo de la longitud de base efectiva, μm ($\mu\text{pg.}$);
- g: Lectura del deformímetro, μm ($\mu\text{pg.}$);
- e_r : Distancia perpendicular, mm (pg.), con aproximación de 0.2 mm (0.01"), desde la barra pivote hasta el plano vertical que pasa por los dos puntos de soporte del anillo rotativo;
- e_g : Distancia perpendicular, mm (pg.), con aproximación de 0.2 mm (0.01"), desde el deformímetro hasta el plano vertical que pasa por los dos puntos de soporte del anillo rotativo.

Nota 1: Aunque los deformímetros adheridos son satisfactorios en los especímenes secos, puede ser difícil, si no imposible, montarlos en especímenes curados en húmedo continuamente antes del ensayo.



d = desplazamiento debido a la deformación del espécimen
 r = desplazamiento debido a la rotación del anillo alrededor del pivote
 a = ubicación del deformímetro
 b = punto de soporte del anillo rotativo
 c = ubicación de la barra pivote
 g = lectura del deformímetro

Figura 424 - 2. Diagrama de desplazamientos

- 4.3 Extensómetro** - Si se desea obtener también la relación de Poisson, se debe determinar la deformación transversal (1) mediante un extensómetro no adherido capaz de medir con una aproximación de $0.5 \mu\text{m}$ ($25 \mu\text{pg.}$) el cambio del diámetro en la mitad de la altura del espécimen, o (2) mediante dos medidores de deformación adheridos (nota 1), montados circunferencialmente en puntos diametralmente opuestos a la mitad de la altura del espécimen, y capaces de medir la deformación circunferencial con una aproximación de 5 millonésimas. Un aparato que combine compresómetro y extensómetro (Figura 424 - 3) es un dispositivo no adherido conveniente. Este aparato debe contener un tercer anillo (consistente en dos segmentos iguales) localizado a medio camino entre los dos anillos del compresómetro y fijado al espécimen en dos puntos diametralmente opuestos. Entre estos dos puntos se ubica una barra pivote corta (A' , ver Figura 424 - 3), adyacente a la barra pivote larga, para mantener una distancia constante entre el anillo inferior y el intermedio. El anillo intermedio debe ser articulado en el punto de pivote para permitir la rotación de los dos segmentos del anillo en el plano horizontal. En el punto opuesto de la circunferencia, los dos segmentos se deben conectar a través de un dial u otro aparato sensible, capaz de medir la deformación transversal con una aproximación de $1.27 \mu\text{m}$ ($50 \mu\text{pg.}$). Si las distancias desde la articulación y desde el deformímetro al plano vertical que pasa a través de los puntos de soporte del anillo intermedio son iguales, la deformación transversal del diámetro del espécimen es igual a la mitad en la lectura del deformímetro. Si

estas distancias no son iguales, la deformación transversal del diámetro del espécimen se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$d = \frac{g' \times e'_h}{(e'_h + e'_g)} \quad [424.2]$$

- Donde: d' : Deformación transversal del diámetro del espécimen, μm ($\mu\text{pg.}$);
- g' : Lectura del deformímetro transversal, μm ($\mu\text{pg.}$);
- e'_h : Distancia perpendicular, (medida en mm o pg.) con una aproximación de 0.2 mm (0.01"), desde la articulación hasta el plano vertical que pasa a través de los puntos de soporte del anillo intermedio;
- e'_g : Distancia perpendicular, (medida en mm o pg.) con una aproximación de 0.2 mm (0.01"), desde el deformímetro hasta el plano vertical que pasa a través de los puntos de soporte del anillo intermedio.

4.4 Balanza o báscula – Con exactitud de 50 g (0.1 lb), si se requiere.

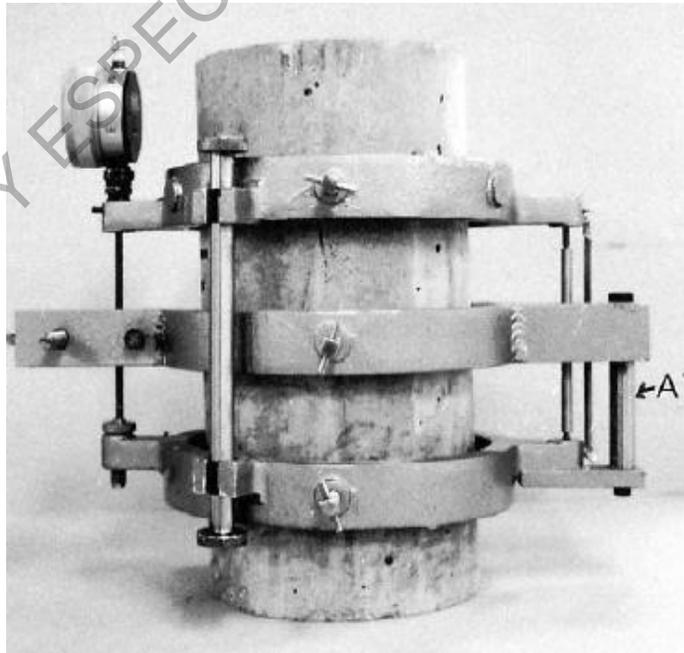


Figura 424 - 3. Combinación compresómetro – extensómetro

5 ESPECÍMENES DE ENSAYO

- 5.1** *Especímenes cilíndricos moldeados* – Los cilindros para ensayo se deberán moldear de acuerdo con los requisitos para la elaboración de muestras de concreto para ensayo a compresión de las normas INV E–402 o INV E–410. Los especímenes se deben someter a las condiciones de curado especificadas y ensayar a la edad a la cual se desea la información del módulo de elasticidad. Los especímenes se deben ensayar dentro de la hora siguiente a su remoción del tanque o cuarto húmedo de curado. Los especímenes removidos de un cuarto húmedo se deberán mantener húmedos mediante una lona húmeda que los cubra durante el intervalo entre la remoción y el ensayo.
- 5.2** *Núcleos taladrados* – Los núcleos deben cumplir con los requerimientos de extracción y las condiciones de humedad aplicables a los especímenes para determinar la resistencia a la compresión, de acuerdo con la norma de ensayo INV E–418, excepto que solamente se deben usar núcleos taladrados con broca de puntas de diamante, con una relación de longitud /diámetro mayor de 1.5. Los requerimientos relativos al almacenamiento y a las condiciones ambientales previas al ensayo, serán los mismos que para los especímenes cilíndricos moldeados.
- 5.3** Los extremos de los especímenes de ensayo deben ser perpendiculares a su eje (con tolerancia de $\pm 0.5^\circ$) y planos dentro de 0.05 mm (0.002"). Si el espécimen no reúne los requisitos de planitud, se deberán nivelar mediante refrentado de acuerdo con la norma INV E–403, o por medio de pulido o esmerilado. Las cavidades formadas por fractura de agregados que se presenten en los extremos del espécimen pueden ser reparadas, con tal que el área total de ellas no exceda el 10 % del área del espécimen y que las reparaciones se hagan antes de completar el refrentado o el esmerilado (nota 2). El espécimen será considerado plano dentro de la tolerancia, cuando una lámina calibradora de 0.05 mm (0.002") no pueda pasar entre la superficie del espécimen y una regla metálica recta apoyada contra la superficie.
- Nota 2: Las reparaciones de las cavidades se pueden hacer pegando de nuevo en su lugar los agregados desalojados con material epóxico o llenando los vacíos con material para el refrentado, y permitiendo un tiempo adecuado para su endurecimiento.*
- 5.4** El diámetro del espécimen de ensayo se debe medir con un calibrador, con aproximación de 0.2 mm (0.01"), promediando dos diámetros medidos perpendicularmente entre sí, cerca del centro de la longitud del espécimen. Este diámetro promedio se usará para calcular el área de la sección transversal. Se mide y anota la longitud del espécimen moldeado, incluyendo el refrentado, con una aproximación de 2 mm (0.1"). La longitud de los

especímenes taladrados se debe medir de acuerdo con la norma de ensayo INV E-419 y su longitud, incluyendo el refrentado, se debe reportar con una aproximación de 2 mm (0.1").

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Durante el ensayo, se deben mantener la temperatura ambiente y la humedad tan constantes como sea posible. Se deberá registrar en el informe cualquier fluctuación inusual de ellas.
- 6.2** Se deben usar especímenes compañeros (duplicados) para determinar la resistencia a la compresión de acuerdo con la norma INV E-410, antes del ensayo para determinar el módulo de elasticidad.
- 6.3** Se coloca el espécimen, con el equipo medidor de deformaciones instalado, sobre la platina inferior o bloque de apoyo de la máquina de ensayo. Se alinea cuidadosamente el eje del espécimen con el centro de empuje del bloque de carga superior. Se anota la lectura de los indicadores de deformación. A medida que el bloque superior es llevado lentamente a asentarse sobre el espécimen, se rota suavemente con las manos la parte móvil del bloque hasta que se obtenga un apoyo uniforme.
- 6.4** Se carga el espécimen al menos dos veces. Durante la primera carga no se debe registrar ningún dato. Los cálculos se deberán basar en los promedios de los resultados de las cargas subsecuentes (nota 3). Durante la primera carga, la cual es principalmente para ajustar los deformímetros, se observa el comportamiento de éstos (nota 4), y se corrige cualquier anomalía antes de la segunda carga. Cada conjunto de lecturas se debe obtener como sigue: Se aplica la carga continuamente y sin impactos. La máquinas de ensayo del tipo tornillo se ajustan de manera que el cabezal móvil se mueva a una velocidad aproximada de 1 mm/min (0.05 pg/min) cuando la máquina esté funcionando en vacío. En máquinas operadas hidráulicamente, la carga se debe aplicar a una velocidad constante dentro del rango 250 ± 50 kPa/s (35 ± 7 lbf/pg²/s). Sin interrumpir el ensayo, se registran la carga aplicada y la deformación unitaria longitudinal en los instantes en que (1) la deformación unitaria longitudinal es 50 millonésimas y (2) la carga aplicada es igual al 40 % de la carga última (ver numeral 6.5). La deformación unitaria longitudinal es igual a la deformación longitudinal total dividida por la longitud efectiva de medida. Si se desea determinar la relación de Poisson, se registra la deformación unitaria transversal en los mismos puntos. Si se desea obtener la curva esfuerzo-deformación, se deberán tomar lecturas en dos o más puntos intermedios sin

interrupción de la carga; o usar un instrumento que realice un registro continuo. Inmediatamente después de alcanzar la carga máxima, excepto en la carga final, se reduce la carga hasta cero a la misma velocidad con que fue aplicada. Si el observador falla en obtener una lectura, se debe completar el ciclo de carga y luego repetirlo. El ciclo extra se deberá registrar en el informe.

Nota 3: Se recomiendan, como mínimo, dos cargas subsecuentes para que se pueda notar la repetitividad del ensayo.

Nota 4: Cuando se emplee un deformímetro de carátula para medir la deformación longitudinal, es conveniente ajustarlo antes de cada carga, de manera que el indicador pase por el punto cero cuando la deformación unitaria longitudinal sea 50 millonésimas.

- 6.5** Se permite obtener el módulo de elasticidad y la resistencia en el mismo ciclo de carga, siempre y cuando los deformímetros sean desechables, removibles o adecuadamente protegidos para cumplir con los requerimientos sobre carga continua dados en la norma de ensayo INV E-410. En este caso, se deben registrar varias lecturas y determinar, mediante interpolación, el valor de la deformación unitaria al 40 % de la carga última.
- 6.6** Si se toman lecturas intermedias, se deben graficar los resultados de cada uno de los tres ensayos con la deformación unitaria longitudinal en las abscisas y el esfuerzo de compresión en las ordenadas. El esfuerzo de compresión se calcula dividiendo el valor de la carga en la máquina de ensayo por el área de la sección transversal del espécimen, determinada de acuerdo con el numeral 5.4.

7 CÁLCULOS

- 7.1** Se calcula el módulo de elasticidad, con aproximación a 200 MPa (50 000 lbf/pg²), como sigue:

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0.000050)} \quad [424.3]$$

- Donde E: Módulo cuerda de elasticidad, MPa (lbf/pg²);
- S₂: Esfuerzo correspondiente al 40 % de la carga última, MPa (lbf/pg²);
- S₁: Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal, ε₁, de 50 millonésimas, MPa (lbf/pg²);

ϵ_2 : Deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S_2 , μm ($\mu\text{pg.}$).

7.2 Se calcula la relación de Poisson, con una aproximación de 0.01, como sigue:

$$\mu = \frac{(\epsilon_{t2} - \epsilon_{t1})}{(\epsilon_2 - 0.000050)} \quad [424.4]$$

Donde: μ : Relación de Poisson;

ϵ_{t2} : Deformación unitaria transversal en la mitad de la altura del espécimen, producida por el esfuerzo S_2 , μm ($\mu\text{pg.}$);

ϵ_{t1} : Deformación unitaria transversal en la mitad de la altura del espécimen, producida por el esfuerzo S_1 , μm ($\mu\text{pg.}$).

8 INFORME

8.1 Se debe reportar la siguiente información:

8.1.1 Número de identificación del espécimen.

8.1.2 Dimensiones del espécimen, mm (pg.).

8.1.3 Historia del curado y medio ambiente del espécimen.

8.1.4 Edad del espécimen.

8.1.5 Resistencia del concreto, si se determinó.

8.1.6 Densidad del concreto, si se determinó.

8.1.7 Curva esfuerzo–deformación, si se dibujó.

8.1.8 Módulo cuerda de elasticidad, MPa (lbf/pg^2).

8.1.9 Relación de Poisson, si se determinó.

9 PRECISIÓN Y SESGO

- 9.1** *Precisión* – La precisión para amasadas múltiples realizadas por un solo operador y las misma máquina es $\pm 4.25\%$ (R1S %) máximo (como se define en la Práctica ASTM E177), sobre un rango de 17 a 28×10^6 Pa (2.5 a 4×10^6 lbf/pg²); por lo tanto, los resultados de ensayos de cilindros duplicados de diferentes amasadas no deben diferir en más del 5 % del promedio de los dos.
- 9.2** *Sesgo* – Este método de ensayo no tiene sesgo, porque los valores determinados se pueden definir únicamente en términos del método de ensayo.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C469/C469M – 10

RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA ABRASIÓN MEDIANTE CHORRO DE ARENA (SANDBLASTING)

INV E – 425 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación de las características de resistencia a la abrasión del concreto al ser sometido al impacto de un chorro de arena silícea.

Nota 1: Existen otros medios para determinar la resistencia de las superficies de concreto a la abrasión. Por ejemplo, se pueden consultar las normas ASTM C 779/C779M, ASTM C 944 y ASTM C 1138. El usuario deberá usar el método que considere que representa mejor las condiciones de servicio que evalúa.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Este método de ensayo cubre la evaluación, en el laboratorio, de la resistencia relativa de las superficies de concreto a la abrasión. El procedimiento simula la acción de abrasivos arrastrados por el agua y la acción abrasiva del tránsito sobre superficies de concreto. Durante el ensayo se produce una acción erosiva que tiende a desgastar por rozamiento, con mayor severidad, los componentes menos resistentes del concreto.

3 EQUIPO

- 3.1** *Balanza* – O báscula, con una capacidad de 5000 g (11 lb) o más. La variación permisible a una carga de 5000 g (11 lb) es ± 0.5 g (0.2 oz).
- 3.2** *Pesas* – Si la balanza utiliza pesas, las tolerancias admisibles en su masa se muestran en la Tabla 425 - 1. Las tolerancias admisibles para las pesas nuevas serán la mitad de los valores indicados en la Tabla 425 - 1.
- 3.3** *Aparato de chorro de arena (Figura 425 - 1)* – El aparato consiste en una pistola del tipo inyector. La pistola debe tener un chorro de aire de alta velocidad alimentado por una rata de flujo controlado para el material abrasivo. La boquilla que expelle el chorro de arena consiste en una barra metálica laminada en frío de 40 mm (1 ½") de longitud, o de acero templado de corte rápido de dureza HRC 48 ± 2 , taladrada a 6.40 ± 0.02 mm (0.24 ± 0.001 ") a través del centro. Las paredes de la boquilla deben tener un bisel de 45° en el extremo superior de la parte interior. Se debe disponer de un suministro de aire comprimido de aproximadamente 690 kPa (100 lbf/pg²),

con un dispositivo para el control de la presión. Se deben tomar medidas para recolectar el abrasivo gastado y el polvo. Se debe disponer de soportes adecuados y abrazaderas para sostener el espécimen en una posición fija en relación con el extremo de descarga de la boquilla. Para el ensayo de desgaste en el laboratorio sobre especímenes de concreto, se puede emplear un gabinete comercial para chorro de arena, similar al mostrado en la Figura 425 - 2.

- 3.4 Escudo** – Debe ser cuadrado o circular, de 150 mm (6") de lado o de diámetro, hecho de una lámina de acero recubierta con zinc o equivalente, con un espesor de 0.9 a 1.9 mm (0.035 a 0.075"). El escudo deberá tener un orificio en el centro, de 28.70 ± 0.25 mm (1.13 ± 0.01 " de diámetro (nota 2).

Nota 2: Una abertura de 28.70 mm (1.13") de diámetro equivale a un área de 6.45 cm^2 (1 pg^2). El propósito de esta abertura en el escudo es limitar el área desgastada a 1 pg^2 , aproximadamente.

- 3.5 Elementos accesorios** – Tanque con agua, toalla, regla, etc.

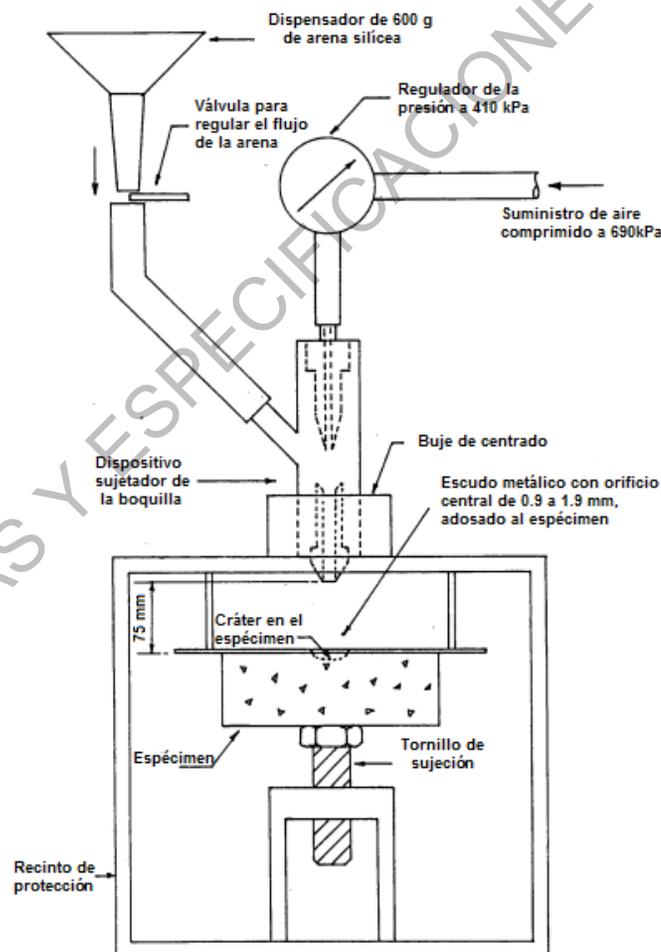


Figura 425 - 1. Esquema del aparato de chorro de arena



Figura 425 - 2. Gabinete para el ensayo del chorro de arena y compresor

Tabla 425 - 1. Tolerancias admisibles en las pesas

PESA, g	TOLERANCIA ADMISIBLE PARA PESAS EN USO, g
1000	± 0.50
500	± 0.35
300	± 0.30
250	± 0.25
200±	± 0.20

4 MATERIALES

- 4.1 Abrasivo** – El abrasivo será arena silíceas, compuesta casi totalmente por granos redondeados de cuarzo casi puro, del tipo usado generalmente para preparar morteros en el ensayo de cementos hidráulicos (Figura 425 - 3) (nota 3). La Tabla 425 - 2 presenta la granulometría recomendada para la arena.

Tabla 425 - 2. Granulometría de la arena

TAMIZ	% PASA
1.18 mm (No. 16)	100
850 μm (No. 20)	85 – 100
600 μm (No. 30)	0 – 5

Nota 3: La arena de Ottawa, Illinois, satisface estos requisitos.

- 4.2** Arcilla de modelar a base de aceite – Para rellenar los cráteres formados por abrasión en el espécimen.



Figura 425 - 3. Arena y boquillas

5 PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES

- 5.1** Los especímenes se deben sumergir en agua durante 24 horas y luego se seca su superficie con una toalla húmeda, para obtener una condición saturada y superficialmente seca en el instante del ensayo.

6 CALIBRACIÓN DEL APARATO

- 6.1** Se ajusta la presión de aire a 410 ± 1 kPa (59.5 ± 1 lbf/pg²) y se recolecta el abrasivo durante 1 minuto. La rata de flujo del abrasivo se ajusta a 600 ± 25 g/min (nota 4).

Nota 4: Se ha encontrado apropiado colocar una válvula de bola entre el suministro del abrasivo y la entrada de la pistola, para regular el flujo del abrasivo.

- 6.2** El abrasivo se debe retamizar o reemplazar cada 60 minutos de operación, con el fin de mantener una granulometría uniforme.
- 6.3** Las boquillas de acero laminado en frío se deben reemplazar cada 60 minutos de operación. Las de acero templado de corte rápido se deben cambiar siempre que se requiera, con el fin de mantener el flujo uniforme y el chorro de arena originales.

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** Se coloca el espécimen con la superficie a ser ensayada en posición perpendicular al eje de la boquilla y a una distancia de 75 ± 2.5 mm (3.0 ± 0.1 ") del extremo de ésta. Se asegura el espécimen, con el escudo firmemente adosado en su lugar. Se expone la superficie al chorro de arena durante 1 minuto. Se realiza esta operación en, al menos, ocho puntos diferentes de la superficie del espécimen (Figura 425 - 4).
- 7.2** Se determina el volumen de concreto desgastado, llenando con arcilla de modelar a base de aceite los cráteres formados por la abrasión. La arcilla se debe presionar manualmente dentro de los cráteres ejerciendo una presión moderada con el dedo y luego se nivela con una regla metálica.
- 7.3** Se determina la masa del suministro de arcilla antes y después de llenar los cráteres, en lugar de remover la arcilla de los cráteres.

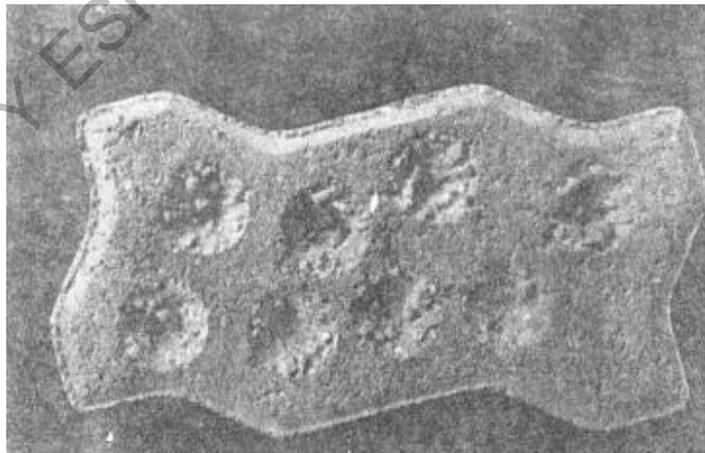


Figura 425 - 4. Cráteres típicos en un adoquín de concreto

- 7.4** Se repite el llenado de los cráteres con arcilla al menos una vez en cada espécimen, para comprobar la reproducibilidad de los resultados.

8 CÁLCULOS

- 8.1** Se calcula la masa de la arcilla empleada para llenar los cráteres, W_c , como sigue:

$$W_c = W_i - W_f \quad [425.1]$$

Donde: W_i : Masa inicial del suministro;

W_f : Masa final del suministro.

- 8.2** Se calcula la gravedad específica de la arcilla, D , con la fórmula:

$$D = \frac{B}{B - C} \quad [425.2]$$

Donde: B : Masa de la arcilla en el aire;

C : Masa de la arcilla en agua.

- 8.3** Se calcula el volumen de arcilla empleada, V , por cráter, en cm^3 , con la fórmula:

$$V = \frac{W}{D} \quad [425.3]$$

Donde: W : Masa de la arcilla en el cráter;

D : Gravedad específica de la arcilla.

Nota 5: Si no se ha determinado separadamente la masa de arcilla empleada para rellenar cada cráter, se calculará el volumen total empleado colocando en el numerador el valor W_c determinado de acuerdo con el numeral 8.1.

- 8.4** Se calcula el coeficiente de pérdida por abrasión en base volumétrica, con el fin de compensar la variabilidad de las densidades de los especímenes, como sigue:

$$A_c = \frac{V}{A} \quad [425.4]$$

Donde: A_c : Coeficiente de pérdida de volumen por abrasión, cm^3/cm^2 ;

A : Área de la superficie desgastada, cm^2 .

9 INFORME

9.1 Se debe presentar la siguiente información:

9.1.1 Coeficiente de pérdida de volumen por abrasión, redondeado a 0.01 cm^3/cm^2 .

9.1.2 Procedencia y otras características del concreto, si se conocen.

10 PRECISIÓN Y SESGO

10.1 *Precisión:*

10.1.1 Sobre un muestreo limitado se estableció que el coeficiente de variación de un solo operario es 9.1 %. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizados adecuadamente por el mismo operario sobre el mismo material, usando el mismo equipo, no deben diferir en más de 25.8 % de su promedio.

10.1.2 Sobre un muestreo limitado se estableció que el coeficiente de variación multioperario es 10.3 %. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizados adecuadamente por dos operarios sobre el mismo material y usando el mismo equipo, no deben diferir en más de 29.1 % de su promedio.

10.2 *Sesgo* – No se hace declaración sobre sesgo, debido que no hay un material de referencia aceptable para determinarlo en este método de ensayo.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 418 – 05

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO

INV E – 426 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión de adoquines de concreto.

2 EQUIPO

2.1 *Máquina de ensayo:*

2.1.1 La máquina para el ensayo de compresión deberá tener las características generales descritas en el numeral 4.1 de la norma INV E-410. Su sistema de registro deberá tener una exactitud de ± 1.0 % dentro del rango anticipado de carga. Deberá estar equipada con dos bloques de carga de acero con caras endurecidas, uno de los cuales es un bloque con un sistema de rótula, el cual descansa sobre la superficie superior del espécimen, y el otro un bloque sólido sobre el cual se apoya el espécimen. Para asegurar el ajuste de especímenes que no tengan las superficies completamente paralelas, la cabeza esférica del bloque superior debe estar diseñada con una luz mínima de 6.3 mm ($\frac{1}{4}$ ") para inclinarse libremente a medida que hace contacto con la superficie superior del espécimen.

2.1.2 Si el área de alguno de los bloques de carga no es suficiente para cubrir totalmente la superficie del espécimen, se deberá interponer entre el bloque y el espécimen refrentado una platina con un espesor al menos igual a la distancia entre el borde del bloque de carga y la esquina más distante del espécimen. La longitud y el ancho de la platina deberán ser, al menos, 6.3 mm ($\frac{1}{4}$ ") mayores que la longitud y el ancho del espécimen de ensayo.

2.1.3 Las superficies de los bloques y platinas que estarán en contacto con los especímenes deberán tener una dureza no menor de HRC 60 (BHN 620) y deberán ser planas, con una tolerancia de 0.03 mm (0.001") por cada 150 mm (6") de dimensión.

- 2.2** *Calibrador* – Para medir las dimensiones de los especímenes. Deberá tener una legibilidad y una exactitud mínima de 0.1 mm (0.004").

3 MUESTRAS

3.1 *Selección de los especímenes de ensayo:*

- 3.1.1** Las unidades completas deben ser escogidas por el comprador o por su representante autorizado. Todos los especímenes elegidos deben ser de configuración y dimensiones similares. Además, deberán ser representativos de la totalidad del lote de unidades de los cuales se seleccionan.
- 3.1.2** El término "lote" se refiere a cualquier número de unidades y cualquier configuración o dimensión, elaborado con los mismos materiales, diseño de mezcla, proceso de manufactura y método de curado.

3.2 *Número de especímenes:*

- 3.2.1** De cada lote se extraerán al azar seis especímenes, de los cuales se ensayarán tres, dejando el resto como reserva para cualquier control adicional.
- 3.2.2** Se deberá escoger un juego de seis unidades de cada lote de 10 000 adoquines o fracción, y dos juegos para un lote de 10 000 a 100 000 unidades. Para lotes de más de 100 000 unidades, se deberá tomar un juego por cada 50 000 unidades o fracción contenida en él. Se podrán tomar especímenes adicionales a discreción del comprador.

- 3.3** Se deberá remover todo material suelto que contengan los especímenes.

3.4 *Identificación:*

- 3.4.1** Cada espécimen debe ser marcado de manera de permitir su identificación en cualquier instante. Las marcas de identificación no deberán ocupar más de 5 % del área superficial del espécimen.

4 MEDIDA DE LAS DIMENSIONES

- 4.1 Empleando el calibrador mencionado en el numeral 2.2, se le miden a cada espécimen completo el ancho (W) a través de las superficies de soporte superior e inferior en la mitad de la longitud del espécimen, el espesor (T) en la mitad de la longitud de cada cara, y la longitud (L) a la mitad de la altura de cada cara. Para los fines de esta norma, la longitud es la mayor de las dos dimensiones laterales de cada espécimen, y el ancho la menor de ellas.

5 PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES PARA EL ENSAYO DE COMPRESIÓN

- 5.1 Se deben ensayar adoquines completos que cumplan todos los requisitos mencionados en el numeral 5.1.2. Si los adoquines completos no los cumplen, entonces se cortan de ellos especímenes rectangulares en todo el espesor, reduciendo el ancho, la longitud, o ambos de manera de obtener el cumplimiento dimensional para el ensayo. Si la lisura o la relación de aspecto requeridas en el numeral 5.1.2 no se pueden lograr con un espécimen de espesor completo, se deberá efectuar un corte en su altura para cumplir estos requerimientos. Si se requieren cortes con sierra para obtener el tamaño o la configuración exigidos en el numeral 5.1.2, el aserrado se deberá realizar de una manera exacta y competente, sosteniendo el adoquín para que la sierra produzca la menor vibración. Se deberá usar una sierra de diamante de dureza adecuada. Si el adoquín se humedece durante el aserrado, se deberá permitir que se seque hasta alcanzar equilibrio con el ambiente de laboratorio, antes de proceder al ensayo (nota 1).

Nota 1: Antes de su envío al laboratorio, los especímenes que se van a someter a compresión se deberán almacenar (suelos y separados a no menos de 13 mm (½") por todos sus lados) al aire a una temperatura de $24 \pm 8^\circ \text{C}$ ($75 \pm 15^\circ \text{F}$) y a una humedad relativa no menor de 80 % durante un período mínimo de 48 h. Alternativamente, si se desean conocer con prontitud los resultados de compresión, los adoquines se almacenarán sueltos en el mismo ambiente recién descrito, sometidos a la corriente de aire de un ventilador eléctrico durante no menos de 4 h. La acción del aire deberá continuar pesando el adoquín cada 2 h, hasta que no se produzca un incremento de pérdida de masa mayor a 0.2 % entre dos pesadas sucesivas y hasta que no haya signos visibles de humedad en ninguna superficie de la unidad. Los adoquines no se deberán someter a sobre secado.

- 5.1.1 Para los cortes que reducen el espesor de los adoquines, se corta la parte superior del elemento y se verifica la exactitud del corte midiendo y anotando como T_c el espesor del espécimen cortado, medido en la parte media de cada cara. Se descarta cualquier espécimen si la diferencia de T_c en dos medidas es mayor de 2.0 mm (0.08").

- 5.1.2** Los especímenes para el ensayo de compresión deberán: (1) tener una sección transversal rectangular alrededor de cualquier eje principal; (2) tener un área de soporte con una longitud no mayor que 2.1 veces el ancho; (3) no tener ranuras, bisels o juntas simuladas en la cara de soporte, excepto aquellas manufacturadas intencionalmente en los bordes del espécimen; (4) no presentar en la superficie superior una textura que dé lugar a diferencias de altura mayores de 1.5 mm (0.06") entre el punto más alto y el más bajo, excepto para bisels manufacturados intencionalmente en los bordes del elemento; y (5) tener una relación de aspecto (espesor/ancho del espécimen listo para someter a compresión, T_s/W_s) de 0.60 a 1.20.
- 5.1.3** Si se requiere el corte con sierra para cumplir los requisitos de tamaño y configuración, se miden y registran para cada espécimen el ancho (W_s) a través de las superficies de soporte superior e inferior y en la mitad de la altura, así como el espesor a la mitad de la longitud de cada cara (T_s) y la longitud (L_s) a la mitad de la altura de cada cara. Cuando se ensayan a compresión especímenes enteros, los valores T_s , W_s y L_s se convierten en T , W y L , como se indica en el numeral 4.1.
- 5.2 Refrentado** – Los especímenes se deben refrentar de acuerdo con la práctica ASTM C1552, con las modificaciones que se mencionan a continuación.
- 5.2.1** Solamente se debe usar yeso de París de alta resistencia.
- 5.2.2** El espesor promedio del recubrimiento de cada unidad no deberá ser mayor de 1.5 mm (0.06").
- 5.2.3** El espesor promedio del recubrimiento se determina así: luego de refrentar ambas caras del espécimen, se mide y registra el espesor del espécimen refrentado, con aproximación a 0.1 mm (0.004"), en los mismos dos puntos donde se determinó el espesor antes de refrentar como se indica en el numeral 4.1 si los adoquines no fueron cortados para reducir el espesor, o como se indica en el numeral 5.1.1 si fueron cortados para reducir su espesor. Se calcula la diferencia de espesor en cada punto y se divide por 2 para determinar el espesor de recubrimiento en cada punto. Se calcula el espesor promedio del recubrimiento para todo el espécimen, tomando el promedio de los espesores calculados de recubrimiento en cada uno de los dos puntos.

Nota 2: Un factor importante para producir recubrimientos de yeso de alta calidad es usar una relación agua/yeso que produzca un material refrentado que sea suficientemente fluido a la vez que suficientemente viscoso para permitir empujar el adoquín dentro de él para formar una capa consistente y delgada.

6 ENSAYO

- 6.1** *Posición de los especímenes* – Los especímenes se deberán ensayar con el baricentro de sus superficies de apoyo alineado verticalmente con el centro de empuje de la rótula del bloque de carga de la máquina de ensayo. Antes de ensayar cada unidad, se deberá tener certeza de que el bloque superior se mueve libremente en su espacio esférico para lograr un asiento uniforme durante el ensayo.
- 6.2** *Humedad de los especímenes* – En el instante del ensayo, los especímenes se deberán encontrar libres de humedad visible.
- 6.3** *Velocidad de aplicación de carga* – Hasta aproximadamente la mitad de la carga máxima esperada, se puede emplear cualquier velocidad de aplicación de carga que el operador considere adecuada; después, los controles de la máquina se deberán ajustar para aplicar una velocidad uniforme tal, que la carga faltante se aplique en un lapso de 1 a 2 minutos. Los resultados del primer espécimen se deben aceptar si el tiempo real de carga de la segunda mitad del ciclo es mayor de 30 segundos (nota 3).

Nota 3: La tolerancia de una carga por fuera del lapso de 1 a 2 min para el primer espécimen, reconoce que la carga esperada puede ser diferente de la carga máxima real. La velocidad de carga para los dos especímenes restantes se deberá ajustar a partir de los resultados del primero, con el fin de cumplir con el periodo especificado.

- 6.4** *Carga máxima* – Se registra la carga máxima de compresión, en N (lbf), como $P_{\text{máx}}$.

7 CÁLCULOS

- 7.1** Se calcula el área neta de compresión del espécimen, así:

$$A_n = L_s \times W_s \quad [426.1]$$

- Donde: A_n : Área neta promedio del espécimen, mm^2 (pg^2);
- L_s : Longitud promedio del espécimen, mm (pg.). Si el espécimen es entero, se usa el valor L;
- W_s : Ancho promedio del espécimen, mm (pg.). Si el espécimen es entero, se usa el valor W.

7.2 Se calcula la relación de aspecto con la ecuación:

$$R_a = \frac{T_s}{W_s} \quad [426.2]$$

Donde: R_a : Relación de aspecto;

T_s : Espesor promedio del espécimen de ensayo final sin refrentar, mm (pg.). Si el espécimen es entero, se usa el valor T.

7.3 Se calcula el factor de relación de aspecto (F_a) (nota 4), con la ecuación:

$$F_a = \frac{-0.374}{R_a} + 1.611 \quad [426.3]$$

7.4 Se calcula la resistencia a compresión en el área neta, con la fórmula:

$$R_{ca} = \left[\frac{P_{m\acute{a}x}}{A_n} \right] \times F_a \quad [426.4]$$

Donde: R_{ca} : Resistencia a la compresión en el área neta, MPa (lbf/pg²);

$P_{m\acute{a}x}$: Carga máxima de compresión, N (lbf).

Nota 4: Los factores de relación de aspecto están normalizados para un adoquín común rectangular de 60 mm de espesor con lados de 98 × 198 mm (3.86 × 7.80"), de manera que si la relación de aspecto es 0.612, el factor correspondiente es 1.0. Con base en la ecuación para hallar F_a , los factores de relación de aspecto para adoquines de 98 × 198 mm (3.86 × 7.80") y diferentes espesores, son los siguientes:

ESPESOR, mm (pg.)	RELACIÓN DE ASPECTO (R_a)	FACTOR DE RELACIÓN DE ASPECTO (F_a)
60 (2.36)	0.612	1.00
70 (2.76)	0.714	1.09
80 (3.15)	0.816	1.15
90 (3.54)	0.918	1.20
100 (3.94)	1.020	1.24
110 (4.33)	1.122	1.28
120 (4.72)	1.224	1.31

8 INFORME

8.1 El reporte del ensayo deberá incluir la siguiente información:

- 8.1.1** Descripción e identificación de la muestra de ensayo.
- 8.1.2** Fecha de recibo de la muestra.
- 8.1.3** Fecha del ensayo.
- 8.1.4** Identificación del método normalizado usado. Si durante la ejecución del ensayo se produjo alguna desviación con respecto al método normalizado, se anotará tal circunstancia.
- 8.1.5** Edad del espécimen (si se conoce).
- 8.1.6** Una fotografía o un esquema de la configuración de cada unidad ensayada.
- 8.1.7** Valores promedio de ancho (W), espesor (T) y longitud (L), aproximados a 0.1 mm (0.004"), para cada unidad completa.
- 8.1.8** Dimensiones de los especímenes de compresión (W_s , T_s y L_s), aproximadas a 0.1 mm (0.004"), si la unidades no se ensayaron con sus dimensiones completas, incluyendo la diferencia en el valor T_c a través de la cara del adoquín, si el espécimen se cortó para reducir su espesor.
- 8.1.9** Área neta de cada espécimen, aproximada a 50 mm² (0.1 pg²).
- 8.1.10** Espesor promedio de refrentado, aproximado a 0.1 mm (0.004"), para cada espécimen.
- 8.1.11** Carga máxima ($P_{m\acute{a}x}$) para cada espécimen. La carga se debe registrar redondeada a 5 N (10 lb) o con la resolución mínima de la máquina de carga empleada en el ensayo, la que sea mayor de las dos.
- 8.1.12** Relación de aspecto (R_a) y factor de relación de aspecto (F_a) para cada espécimen.
- 8.1.13** Resistencia a la compresión en el área neta (R_{ca}) de cada espécimen y promedio de los 3 especímenes, redondeada a 0.1 MPa (10 lbf/pg²).

9 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 140 – 12a

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

ABSORCIÓN DE AGUA POR LOS ADOQUINES DE CONCRETO

INV E – 427 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación de la cantidad de agua que absorben los adoquines de concreto cuando se someten a unas condiciones de inmersión especificadas.

2 EQUIPO

- 2.1** *Balanza* – Con legibilidad y exactitud de 0.05 % en relación con la masa del menor espécimen ensayado

3 MUESTRAS

- 3.1** *Selección de los especímenes de ensayo:*

3.1.1 Las unidades completas deben ser escogidas por el comprador o por su representante autorizado. Todos los especímenes elegidos deben ser de configuración y dimensiones similares. Además, deberán ser representativos de la totalidad del lote de unidades de los cuales se seleccionan.

3.1.2 El término “lote” se refiere a cualquier número de unidades y cualquier configuración o dimensión, elaborado con los mismos materiales, diseño de mezcla, proceso de manufactura y método de curado.

- 3.2** *Número de especímenes:*

3.2.1 De cada lote se extraerán al azar tres especímenes para la determinación de la absorción.

3.2.2 Se deberá escoger un juego de tres unidades de cada lote de 10 000 adoquines o fracción, y dos juegos para un lote de 10 000 a 100 000 unidades. Para lotes de más de 100 000 unidades, se deberá tomar un juego por cada 50 000 unidades o fracción contenida en él. Se podrán tomar especímenes adicionales a discreción del comprador.

3.3 Se deberá remover todo material suelto que contengan los especímenes.

3.4 *Identificación:*

3.4.1 Cada espécimen debe ser marcado de manera de permitir su identificación en cualquier instante. Las marcas de identificación no deberán ocupar más de 5 % del área superficial del espécimen.

3.5 El ensayo de absorción se deberá realizar sobre adoquines completos.

4 PROCEDIMIENTO

4.1 *Saturación* – Los especímenes de ensayo se sumergen en un tanque con agua a una temperatura de 15.6 a 26.7° C (60 a 80° F) por un término de 24 a 28 horas, de manera que sus superficies superiores queden 150 mm (6") o más, bajo la lámina de agua. Los especímenes se deberán colocar separados uno del otro dentro del tanque, y de manera que su parte inferior se encuentre, al menos, 3.1 mm (1/8") por encima del fondo del tanque, usando para ello una malla de alambre o una reja, cuya área de contacto con el espécimen no sea mayor del 10 % de la superficie inferior de éste.

4.2 Cumplido el período de inmersión, se pesa cada espécimen suspendido de la balanza con un alambre, de manera que se encuentre totalmente sumergido en agua. Se registra esta masa (W_i).

4.3 Se remueven los especímenes del agua y se les permite drenar libremente durante 60 ± 5 s, colocándolos sobre una malla metálica de 9.5 mm (3/8") o más de espesor, removiendo toda humedad visible con una toalla húmeda. A continuación, se determina la masa de cada espécimen saturado (W_s).

4.4 *Secado* – Después de su saturación y drenaje libre, se secan los especímenes en un horno con ventilación forzada a 100 – 115° C (212 a 239° F) durante un período no menor a 24 h, y hasta que dos pesadas sucesivas a intervalos de 2 h no muestren una disminución de masas de más 0.2 % respecto de la determinación previa. Se anota esta masa como W_d .

5 CÁLCULOS

5.1 La absorción se calcula con las ecuaciones:

$$\text{Absorción} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{W_s - W_d}{W_s - W_i} \times 1000 \quad [427.1]$$

$$\text{Absorción} \left(\frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \right) = \frac{W_s - W_d}{W_s - W_i} \times 62.4 \quad [427.2]$$

$$\text{Absorción} (\%) = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \quad [427.3]$$

Donde: W_s : Masa del espécimen saturado, kg (lb);

W_i : Masa del espécimen sumergido en agua, kg (lb);

W_d : Masa del espécimen después de secado en el horno, kg (lb).

6 INFORME

6.1 El reporte del ensayo deberá incluir la siguiente información:

6.1.1 Descripción e identificación de la muestra de ensayo.

6.1.2 Fecha de recibo de la muestra.

6.1.3 Fecha del ensayo.

6.1.4 Identificación del método normalizado usado. Si durante la ejecución del ensayo se produjo alguna desviación con respecto al método normalizado, se anotará tal circunstancia.

6.1.5 Edad del espécimen (si se conoce).

6.1.6 Una fotografía de cada unidad ensayada (si se considera necesario).

6.1.7 Masas de los especímenes sumergidos, saturados y secos, redondeadas a 0.05 kg (0.1 lb).

6.1.8 Absorción de cada espécimen y promedio de los tres especímenes representativos del lote, redondeada a 1 kg/m^3 (0.1 lb/pie^3) y a 0.1 %.

7 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 140 – 12a

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

