

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 $\pm 3\text{ mm}$ ($1/8''$) para dimensiones mayores o iguales a 150 mm (6") y de $\pm 2\text{ mm}$ ($1/16''$) 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 $0.6 \pm 0.20\text{ kg}$ ($1.25 \pm 0.5\text{ lb}$).

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 bachadas 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 μ m (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 subdivide 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 m^3 ($\frac{1}{4} \text{ pie}^3$) 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 moldeo 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 INSERCIONES 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