

# Ensayos paso a paso: Muestreo y temperatura del hormigón fresco

**Ms. Ing. Maximiliano Segerer**

*Control y Desarrollo de Hormigones*

*www.cdormigones.com.ar*

Terminada la serie de los ensayos más comunes realizados en laboratorios de autocontrol de hormigoneras para caracterizar los agregados, se comenzará con la descripción de ensayos del hormigón fresco. Respecto de los ensayos de otras materias primas, como cementos, aditivos y agua, difícilmente se realizan en planta y suele subcontratarse a laboratorios especializados o bien adjuntar los protocolos de calidad enviados por los fabricantes para el caso de cemento y fichas técnicas para los aditivos. Para estos dos últimos casos, es muy útil que mensualmente el proveedor vaya mandando la información actualizada en formato digital para adjuntarla, poder llevar una adecuada trazabilidad y enviar a los clientes cuando se solicitan.

Para comenzar con los ensayos del hormigón fresco, se describe paso a paso el ensayo de muestreo del hormigón fresco, aplicado a la industria del hormigón elaborado. Si bien son técnicas muy sencillas, es de vital importancia tener una muestra representativa para que todos los ensayos sean válidos. Si no se siguen estos procedimientos, todos los demás ensayos de caracterización del hormigón fresco

y moldeo de probetas pierden validez, con lo cual no es un tema menor para tener en cuenta en planta y en obra.

Ha resultado oportuno incluir y mostrar fotografías del Moldeo Remoto, cada vez más empleado en hormigoneras del país. Básicamente consiste en tomar una muestra del hormigón fresco en obra y moldear las probetas en laboratorio, economizando transporte a obra (para el moldeo y para el retiro de moldes) y mejorando que las condiciones de protección y curado sean normalizadas, lo que es más difícil de cumplir en obra que en laboratorio. Deben darse ciertas condiciones de tiempos y consistencia medida, pero en general brindan valores favorables, con lo cual es una técnica excelente para lograr un control más realista que tomar muestras en planta, y más económico y representativo que concurrir a obra para moldear probetas y al día siguiente retirar los moldes.

También se incluye el ensayo para determinar la temperatura del hormigón fresco; es muy sencillo y se brindan los lineamientos generales para su determinación con diferentes tipos de termómetros. Como es un ensayo de aceptación del hormigón, se especificarán los límites recomendables y en qué tipo de estructuras y condiciones ambientales es de vital importancia su determinación. Se sugiere realizarlo en todas las muestras, ya que es un ensayo rápido y fácil de realizar, y brinda datos muy relevantes que pueden vincularse con otras variables, como estudiar el aumento de demanda de agua con la temperatura y poder optimizar dosificaciones en diferentes estaciones o épocas del año. « »

## Muestreo del hormigón fresco Según Normas IRAM 1541, IRAM 1666 y experiencias en Moldeo Remoto

### 1) Elementos necesarios para el ensayo

- 1 Carretilla, balde u otro recipiente de material no absorbente y perfectamente limpio antes de su uso
- 2 Palas de diferentes tamaños dependiendo del recipiente para colocar la muestra de hormigón fresco
- 3 Guantes de goma y otros elementos de protección personal
- 4 Tamices de diferentes aberturas de malla, si se necesita tamizar el hormigón para algún ensayo

### 2) Extracción de la muestra

- 1 El procedimiento cumplirá con las precauciones necesarias para obtener muestras representativas
- 2 El tamaño de la muestra debe ser al menos un 40% superior al volumen necesario para los ensayos
  - 2.1 Para un asentamiento y moldeo de 2 probetas 15 x 30 se necesita una muestra de aprox. 30 litros
  - 2.2 Para un asentamiento y moldeo de 3 probetas 10 x 20 se necesita una muestra de aprox. 15 litros
  - 2.3 Para un ensayo de peso unitario o de aire incorporado adicional se necesita aprox. 15 litros más
- 3 Verificar que el recipiente o carretilla estén libres de hormigón viejo (fresco o endurecido)
- 4 Humedecer siempre, sin encharcar, el recipiente y la pala antes del muestreo
- 5 Toma de muestras de hormigoneras fijas:
  - 5.1 La extracción se realizará en el volumen comprendido entre el 15% y el 85% del volumen del pastón
  - 5.2 Se deberá interceptar con el recipiente en el punto de descarga la totalidad de la sección de la vena
- 6 Toma de muestras en motohormigoneras en obra (camiones mixer):
  - 6.1 La extracción se realizará después de descargar el primer 1/4 m<sup>3</sup> y antes de descargar el último 1/4 m<sup>3</sup>
  - 6.2 Se deberá interceptar con el recipiente en el punto de descarga la totalidad de la sección de la vena
  - 6.3 En ningún caso se podrá obtener la muestra antes de incorporar la totalidad del agua de mezclado
- 7 Toma de muestra en motohormigoneras en planta como tarea de autocontrol (camiones mixer):
  - 7.1 Es en el único caso en que se permite obtener la muestra sin descargar 1/4m<sup>3</sup>
  - 7.2 Deberá tomarse una única porción evitando, si corresponde, los primeros segundos de la descarga
  - 7.3 No debe emplearse el inicio si presenta importantes cantidades de agregado grueso o agua
  - 7.4 En ningún caso se podrá obtener la muestra antes de la incorporación de la totalidad del agua de mezclado
- 8 Moldeo remoto: Toma de muestras en obra directamente del camión y moldeo en laboratorio central

- 8.1 La toma de muestras se realiza en obra mediante recipientes acondicionados (laboratorista, mixeo)
- 8.2 El volumen de la muestra deberá ser » 16 litros y el recipiente de capacidad de 20 litros o más
- 8.3 La muestra se transporta en el camión hormigonero con tapa para impedir pérdida de humedad
- 8.4 Al llegar al laboratorio, se descarga y homogeneiza toda la muestra en carretilla o similar
- 8.5 Para que el ensayo se válida tienen que cumplirse las siguientes tres condiciones simultáneas:
  - 8.6 a) Que el asentamiento sea igual o mayor a la mitad del asentamiento de diseño (y siempre » 3 cm)
  - 8.7 b) Que no hayan transcurrido más de 4 horas desde su salida de planta hasta el moldeo de probetas
  - 8.8 c) Que no hayan transcurrido más de 2 horas desde la toma de muestras hasta el moldeo de probetas
- 8.9 Cumplidas las condiciones anteriores, puede emplearse sin restricción para el moldeo de probetas
- 8.10 Esta metodología tiene ventajas competitivas considerables respecto a los otros métodos de muestreo
- 9 Para obras con descarga en camiones batea, puede tomarse con pala una vez descargado

### 3) Preparación de la muestra

- 10 Se transportan las muestras individuales al lugar donde se moldean probetas o se realizan los ensayos
- 11 Siempre se remezclarán las distintas porciones con la pala en el recipiente logrando su uniformidad
- 12 Los ensayos de asentamiento y contenido de aire se iniciarán dentro de los 5 min de tomada la muestra
- 13 El moldeo de las probetas comenzará dentro de los 15 minutos posteriores a la obtención de la muestra
  - 13.1 Para el Moldeo Remoto si se cumplen las condiciones, es válido tomar más tiempo (excepción de 15 min)
- 14 La muestra se protegerá en su transporte o espera de las acciones climáticas
- 15 El hormigón fresco durante el transporte no deberá segregarse ni exudar en demasía
- 16 Si el TM del agregado es incompatible con los moldes o recipientes para ensayos se debe tamizar
  - 16.1 Se tamiza el hormigón fresco por el tamiz de la abertura indicada, dependiendo del ensayo
  - 16.2 Se debe poseer un segundo recipiente donde caiga el H<sup>o</sup> tamizado y se desechan los agregados
  - 16.3 No colocar hormigón en exceso, debiendo quedar sólo una capa de agregados sobre el tamiz
  - 16.4 El hormigón debe ser remezclado de manera eficiente después del tamizado antes de los ensayos



➤ Toma de muestras convencional en obra



➤ Toma de muestras de la descarga a bomba



➤ Colocación del hormigón fresco en recipientes para moldeo remoto



➤ Tapado de muestras para su transporte al laboratorio



➤ Vertido de muestra de moldeo remoto en carretilla



➤ Remezclado de muestras



➤ Medición de asentamiento en moldeo remoto (indispensable)



➤ Toma de muestras en obras con Terminadoras de Alto Rendimiento



Determinación de la temperatura del hormigón fresco  
Según Norma ASTM C 1064

### 1) Elementos necesarios para el ensayo

**1** Termómetro tipo pinche para medir la temperatura del hormigón fresco que registre 0,5°C

1.1 Los termómetros pueden ser digitales o analógicos con rango de 0 a 50°C al menos

1.2 Si bien no figuran en la norma, los termómetros infrarrojos suelen tener muy buenos resultados

1.3 Es recomendable contrastar o calibrar el termómetro cada 12 meses o sospecha de errores

**2** Recipiente no absorbente o carretilla para colocar la muestra de hormigón fresco

### 2) Procedimiento de ensayo

**1** Obtener una muestra representativa y remezclarla después de descargar el primer 1/4m<sup>3</sup> del camión

**2** El requisito anterior puede ser obviado sólo si el ensayo es para autocontrol de calidad en planta

**3** Verificar que la carretilla y el termómetro estén libres de hormigón viejo (fresco o endurecido)

**4** Insertar el termómetro en el hormigón fresco al menos 7 cm

**5** El termómetro debe estar separado más de 7 cm de cada una de las paredes y fondo del recipiente

**6** Presionar el hormigón fresco alrededor del termómetros

**7** Esperar un tiempo de 2 minutos como mínimo o hasta que la temperatura se estabilice

**8** Registrar la temperatura al más cercano 0,5°C

**9** Se debe concluir el ensayo en menos de 5 minutos de finalizada la toma de la muestra

**10** Se procede a limpiar el termómetro adecuadamente con el fin de dejarlo listo para el próximo ensayo

**11** Siempre es recomendable también registrar la temperatura ambiente en el momento del ensayo

**12** En el caso de emplear termómetros infrarrojos, que la lectura (punto rojo) sea lejos de los bordes

### 3) Criterios de aceptación del hormigón por su temperatura

**1** En tiempo frío, en general la temperatura mínima recomendada del hormigón fresco es de 13°C

**2** En tiempo caluroso, la temperatura máxima recomendada del hormigón fresco es 30-32°C

**3** En caso de exigencias de temperatura es recomendable comunicar a planta antes del despacho

**4** Si la temperatura del hormigón fresco en obra no cumple, se procede a tomar otra muestra

**5** Se mide la temperatura; si este segundo resultado es positivo, el hormigón debe aceptarse

**6** Si el segundo resultado es negativo (fuera del rango de temperaturas), debe estudiarse la situación

6.1 En ciertas obras pueden tomarse medidas de protección y curado para evitar el rechazo

6.2 En estos casos, se deberá tener una demostración sólida de la no afectación de la estructura

6.3 En casos de estructuras masivas y tiempo caluroso, deben tomarse las previsiones adicionales

**7** En ciertos casos puede ser útil controlar la temperatura del hormigón ya colado en los encofrados





Medición de temperatura en carretilla apisonando a los costados del pinche



Medición de temperatura en obra en moldeo remoto



Medición de temperatura en muestra en carretilla (termómetro analógico)



Medición de temperatura en pavimentos ya colados



Medición de temperatura con termómetro infrarrojo



Temperatura del hormigón en tiempo frío sin protección



Estructuras masivas en las cuales es muy relevante determinar la temperatura



Medición de temperatura con termómetro digital en hormigón colado en la estructura

# Ensayos paso a paso: Peso unitario y contenido de aire del hormigón fresco

**Ms. Ing. Maximiliano Segerer**

*Control y Desarrollo de Hormigones*  
[www.cdormigones.com.ar](http://www.cdormigones.com.ar)

Siguiendo con los ensayos de hormigón fresco, se describirá la determinación del peso unitario (o también llamada densidad del hormigón fresco) y el contenido de aire total del hormigón fresco. Se describen ambos en el mismo artículo, ya que si se posee una balanza adecuada y se determina el contenido de aire del hormigón fresco, con el mismo ensayo de aire puede establecerse en un paso intermedio el peso unitario del hormigón fresco.

El primero de los ensayos, según IRAM 1562, tiene una importancia decisiva en la caracterización del hormigón fresco en el diseño de mezclas y en el control de éstas. En caso de que lo realice el mismo laboratorista, con el mismo recipiente y balanza, variaciones del orden de 10 a 20 kg/m<sup>3</sup> pueden significar un cambio de las proporciones teóricas de la mezcla. En conjunto con el ensayo de aire incorporado, puede determinarse una mayor o menor demanda de agua de forma bastante precisa para tomar decisiones en el momento, respecto del hormigón fresco y posibles modificaciones de las fórmulas. Además, es muy usual que el "cierre al m<sup>3</sup> de las dosificaciones" se realice de forma simplificada por volúmenes y densidades de constituyentes, pero la imprecisión muchas veces de su determinación o la falta de información (densidad de cementos adicionados) pueden conllevar a errores importantes en el planteo de fórmulas. Por ello, el ensayo del PUV (peso unitario volumétrico del hormigón fresco) debe realizarse siempre al finalizar toda dosificación e independientemente de los volúmenes y densidades de cada uno de los materiales, ya que la suma de todos los constituyentes debe arrojar un peso del m<sup>3</sup> igual al PUV medido.

Además, tiene importancia ya que puede emplearse como base para determinar el volumen que transporta un camión. Pesando cuando llega y cuando sale de la obra el camión, se obtiene por diferencia el peso del hormigón; al relacionarlo con el PUV medido en obra (no valores de tabla u obtenidos de bibliografía), puede determinarse el volumen de hormigón real transportado en el camión. El Reglamento CIRSOC 201 establece como uno de los registros indispensables para Modo 1 las curvas de pesos unitarios para diferentes categorías resistentes, con el objetivo del seguimiento de potenciales desvíos. Los pesos unitarios

de hormigones convencionales sin aire incorporado en nuestro país varían entre 2.290 y 2.490 kg/m<sup>3</sup>, dependiendo de la naturaleza de los agregados en primer lugar (agregados basálticos brindan valores más elevados), de la demanda de agua total y del peso específico de los otros constituyentes como la arena y el cemento, estando también directamente influenciados por el contenido de aire total de la mezcla. Para hormigones livianos, permeables y pesados, es indispensable su determinación.

Respecto del ensayo de la determinación del contenido de aire, existen tres métodos diferentes para hormigones según Norma IRAM 1602: 2 por presión y 1 volumétrico. El más comúnmente empleado es el denominado Método A, mientras que el método volumétrico (Método C) se utiliza en otros países, como Estados Unidos; por eso se describirá el primero de ellos con mayor detalle. El principio de determinación del aire por presión consiste en suministrar una presión a una cámara ajena al hormigón y luego liberarla para que comprima todo lo compresible en el recipiente inferior; al estar compuesto por hormigón (cemento, agua, agregados finos y gruesos, aditivos, adiciones, fibras y aire) y agua, se considera que todos son incompresibles menos el aire, determinándolo por lectura directa en un manómetro el porcentaje de aire, el cual debe estar adecuadamente calibrado. Los incorporadores de aire son empleados fundamentalmente cuando una estructura estará sujeta a ciclos de congelación y deshielo, y existirá el contacto con la humedad, con lo cual el contenido de aire total (suma del natural e intencionalmente incorporado) es uno de los parámetros de aceptación y rechazo del hormigón fresco en obra, junto con la consistencia y la temperatura. Contenidos de aire superiores a los límites indicados en el Reglamento CIRSOC 201 (incluidas sus tolerancias) podrán reducir notoriamente la resistencia y una interconexión de las burbujas de aire, mientras que para contenidos muy bajos no se logrará la durabilidad deseada (falta de volumen en la pasta de cemento para la expansión del agua). También se emplea incorporador de aire para facilitar el moldeo en tecnologías como TAR (terminadoras de alto rendimiento) o extrusoras para viguetas o losas huecas, para dar mayor estabilidad de borde y menor exudación a la mezcla. Para finalizar, ciertos equipos por presión también pueden cuantificar el contenido de aire de hormigones alivianados y RDC, lo cual es muy útil como complemento del ensayo del peso unitario para el diseño y control de mezclas. »

### Determinación del peso unitario del hormigón fresco Según Norma IRAM 1562

#### 1) Elementos necesarios para el ensayo

- 1 Balanza con una capacidad de 40 kg y precisión de 5 g (0,3% de la masa total), recomendando 2 g
- 2 Varilla recta de acero de 16 mm de diámetro y 60 cm de largo con un extremo en forma de semiesfera
- 3 Martillo de cabeza de goma que pese aproximadamente 500 g
- 4 Si corresponde vibrador interno con una frecuencia mayor a 7000 v/min y diámetro de 19 a 38 mm
- 5 Recipiente cilíndrico de capacidad mínima de 7, 10 o 15 dm<sup>3</sup> según el TM del agregado
- 6 Placa de metal de 6 mm de espesor con dimensiones mayores a 50 mm el diámetro del recipiente
- 7 Palita de sección en U compatible con el TM del agregado y un trapo húmedo para limpiar el recipiente
- 8 Para la calibración, placa de vidrio de 6 mm de espesor y termómetro de precisión 0,5 °C

#### 2) Calibración del recipiente

- 9 Se nivela cuidadosamente la superficie de la balanza antes de realizar el ensayo (muy relevante)
- 10 Se limpia el recipiente y se determina la masa del recipiente vacío más la placa de vidrio (mr)
- 11 Se llena el recipiente con agua hasta 1 cm de la superficie y se cubre con la placa de vidrio
- 12 Colocada la placa nivelada, se agrega agua lentamente hasta eliminar todo el aire y se pesa (mra)
- 13 Se determina la masa de agua (ma) del recipiente como (mra – mr)
- 14 Se mide la temperatura del agua y se obtiene la densidad del agua (da) de tablas
- 15 Se calcula el volumen V del recipiente dividiendo la masa del agua (ma) por su densidad (da)
- 16 Los recipientes se deben recalibrar una vez al año y cuando existan dudas para cuestionar la exactitud

#### 3) Procedimiento del ensayo

- 1 Se humedece el interior del recipiente, se pesa éste vacío y se determina su masa en gramos (m<sup>2</sup>)
- 2 La muestra se obtendrá según IRAM 1541 a la mitad aproximadamente de la descarga del hormigón
- 3 Método de compactación manual – Para asentamientos iguales o mayores a 5 cm y TMN ≤ 50 mm
  - 3.1 La primera capa debe tener una altura aprox. Igual a la tercera parte de la altura del recipiente
  - 3.2 Se apisona cada capa golpeándola con 25 golpes distribuidos uniformemente en toda la superficie
  - 3.3 En la primera capa se debe hacer penetrar la varilla en todo su espesor evitando golpear el fondo
  - 3.4 Para la segunda y tercera capas, se debe penetrar todo su espesor y aprox. 25 mm la capa anterior

3.5 Luego de varillar cada una de las 3 capas se dan 10 a 15 golpes con el martillo de goma al molde

3.6 Debe procurarse que sobre hormigón en la parte superior para el caso de la tercera capa

4 Método de compactación por vibración interna – Para asentamientos inferiores a 8 cm

4.1 Se llena en 2 capas, colocando la primera capa hasta la mitad de la altura del molde y se vibra

4.2 Se vibrará insertando el vibrador en 3 puntos diferentes, evitando que se toque el fondo y costados

4.3 El llenado de la segunda capa se hará como en el caso anterior, previendo que sobre hormigón

4.4 El vibrador debe penetrar aproximadamente 25 mm la primera capa

5 Después de la compactación se enrasa la superficie en la forma que se describe

5.1 Se coloca la placa metálica sobre la superficie del recipiente cubriendo 2/3 partes de ésta

5.2 Se arrastra en movimiento de vaivén para dar terminación al área cubierta de las 2/3 partes

5.3 Luego se coloca nuevamente la placa y se avanza en vaivén hasta cubrir toda la superficie

5.4 Se golpea con el borde inclinado de la placa para producir un acabado suave y liso en la superficie

5.5 El enrasado puede realizarse con otro método (varilla, por ej.) si se determina su efectividad

6 Al finalizar se limpian todas las caras del recipiente de restos de hormigón fresco con un trapo húmedo

7 Se pesa el recipiente con el hormigón (m1), el ensayo debe realizarse en 5 minutos desde el muestreo

8 Para determinar el peso unitario se realizan al menos 3 determinaciones sobre 3 pastones diferentes

9 Si la media de tres ensayos se ajusta al valor especificado, incluida la tolerancia de ± 2,0%, se acepta

9.1 Como control interno, es recomendable que no presente variaciones superiores a ± 1,0%

10 Si se desea calcular el rendimiento del pastón, se deberán conocer las masas originales incorporadas

10.1 mc masa de cemento, mf del agregado fino, mg del agregado grueso, ma del agua incorporada

#### 4) Cálculos – Indicados en Norma IRAM 1562

1 Peso unitario o densidad del hormigón fresco (r)  $r = \frac{m1 - m2}{V} \cdot 1000$  Redondear a 1 a 5 kg/m<sup>3</sup> (según resolución de balanza)

2 Rendimiento del hormigón (R)  $R = \frac{mc + mf + mg + ma}{r}$  Redondear a 0,001 m<sup>3</sup>

3 Contenido de cemento real del hormigón (C)  $C = \frac{mc}{R}$  Redondear a 1 kg/m<sup>3</sup>





➤ Calibración del recipiente de medida



➤ Varillado manual de la primera capa



➤ Golpes con martillo de goma en cada capa



➤ Compactación de la última capa con hormigón sobrante



➤ Moldeo en dos capas con vibrador de aguja para asentamientos bajos



➤ Limpieza final de los bordes y restos de hormigón



➤ Empleo del recipiente de 15 litros para TMN superiores a 38 mm



➤ Pesaje de hormigón más recipiente (ejemplo para PUV de hormigones alivianados)





### Determinación contenido aire del hormigón fresco Según Norma IRAM 1602

#### 1) Elementos necesarios para el ensayo (Por presión – Método A)

- 1 Equipo por presión para determinar el aire incorporado (Washington) equipado según el TM
- 2 Varilla recta de acero de 16 mm de diámetro y 60 cm de largo con un extremo en forma de semiesfera
- 3 Martillo de cabeza de goma que pese aproximadamente 500 g
- 4 Si corresponde, vibrador interno con una frecuencia mayor a 7000 v/min y de diámetro de 19 a 38 mm
- 5 Palita de sección en U compatible con el TM del agregado y un trapo húmedo para limpiar el recipientes
- 6 Bomba de aire manual o inflador incorporado a la cámara de presión del equipo

#### 2) Calibración (Métodos por presión)

- 7 Se debe determinar el término de corrección G por vacío de agregados según la Norma IRAM 1602
- 7.1 Para el caso de agregados corrientes no visiblemente porosos, puede considerarse G igual a 0
- 8 Debe aforarse el recipiente y calibrarse el manómetro según lo indica la Norma IRAM 1602
- 8.1 Es recomendable calibrar el manómetro para al menos 4 puntos de aire entre 0 y 10%
- 9 La calibración debe realizarse al menos una vez al año o cuando existan dudas de los resultados

#### 3) Acondicionamiento de la muestra (Métodos por presión)

- 1 Se obtiene una muestra representativa del hormigón fresco según lo indicado en la Norma IRAM 1541
- 2 Se deberá tamizar la muestra si contiene partículas de agregado mayores a 37,5 mm
- 2.1 Para este caso deberán calcularse los volúmenes absolutos (V) de los siguientes componentes
- 2.2 V. Total (Vt), V. Pasa tamiz 37,5 mm (Vc), V. Del agregado > 37,5 mm (Va) y V. Del mortero (Vm)
- 3 Se asegura que no existan restos de hormigón en el recipiente y se humedece su interior
- 4 Para la compactación, manual o por vibración, se siguen pasos idénticos que en el ensayo de PUV
- 5 Se puede enrasar con la regla metálica o con la placa de vidrio, siempre en movimiento de sierra
- 5.1 Si se pesa antes y después y el TM « 1 1/2"», puede usarse para determinar el PUV según IRAM 1562
- 6 Se limpian con un trapo húmedo los bordes del recipiente y el o'ring inferior de la tapa del aparato

#### 4) Procedimiento del ensayo (Por presión – Método A)

- 7 Se abren las válvulas de conexión y purga situadas en la tapa y la misma se coloca sobre el recipiente
- 8 Se ajusta la tapa al recipiente mediante los tornillos ejerciendo presión para lograr un cierre hermético

- 9 Se cierran las válvulas de conexión y de purga y se conecta el inflador en la válvula de admisión
- 10 Se inyecta aire hasta que la aguja del manómetro sobrepasa el indica de presión inicial (1 kg/cm<sup>2</sup>)
- 11 Se hace coincidir la aguja del manómetro con el índice presión inicial, manipulando la válvula de purga
- 12 Si se detiene la aguja se golpea suavemente con los dedos el vidrio o el costado del manómetro
- 13 Se abre progresivamente la válvula de conexión para que el aire a presión penetre en el recipiente
- 14 Se sigue con atención el desplazamiento de la aguja, si se detiene la aguja se procede según 12
- 15 Se lee directamente sobre el dial del manómetro el porcentaje de aire contenido en la muestra (A1)
- 15.1 A veces se da una lectura inicial y otra después del rebote. La calibración identificará cuál es la válida
- 16 Se abre con precaución y en forma gradual la válvula de purga expulsando el aire a presión
- 17 Se registra el contenido de aire (A1) leído en el dial, debiendo concluirse antes de 5 min. del muestreo
- 18 Se saca la tapa y se limpia cuidadosamente el aparato para dejarlo preparado para su próximo uso

#### 5) Descripción rápida del método volumétrico (Método C de IRAM 1602)

- 1 Se acondiciona el hormigón en el recipiente inferior del equipo volumétrico para determinar aire
- 2 Se ajusta la tapa al recipiente mediante sujeciones metálicas para lograr un cierre hermético
- 3 Se incorpora lentamente agua, sin turbulencias, hasta lograr el nivel "0" de la columna vertical
- 4 Se inclina y agita al menos 5 minutos, sin pérdida de agua, hasta lograr lectura estable del % de aire
- 5 En caso de burbujas, puede adicionarse una medida (1%) de alcohol. Se mide el contenido de aire A1
- 6 Por el tamaño del recipiente, no es útil para determinar el PUV del hormigón fresco en general

#### 6) Cálculos – Indicados en Norma IRAM 1602

- 1 Contenido de aire de la muestra ensayada (As)  $A_s = A_1 - G$  Valido para métodos por presión Redondear al 0,5%
- 2 Contenido de aire en la mezcla total (At)  $A_t = \frac{100 \cdot A_s \cdot V_c}{100 \cdot V_t - A_s \cdot V_a}$  Redondear al 0,5%
- 3 Contenido de aire en la fracción de mortero (Am)  $A_m = \frac{100 \cdot A_c \cdot V_c}{100 \cdot V_m + A_s (V_c - V_m)}$  Redondear al 0,5%



⤴ Enrase con placa de vidrio



⤴ Limpieza con trapo húmedo de la parte de contacto con la tapa



⤴ Ajuste de la tapa del aparato de Washington



⤴ Incorporación de agua con pera de goma



⤴ Incorporación de aire con inflador incorporado



⤴ Incorporación de aire con inflador externo



⤴ Lectura final de aire incorporado



⤴ Equipo volumétrico después del agitado y lectura directa del contenido de aire hormigones alivianados

# Ensayos Paso a Paso: Determinación de la consistencia del hormigón fresco

**Ms. Ing. Maximiliano Segerer**

*Control y Desarrollo de Hormigones  
www.cdormigones.com.ar*

La determinación de la consistencia es uno de los ensayos obligatorios e indispensables para realizar en obra, además de ser usado como criterio de aceptación principal en las obras. Muchas veces se cree que el único ensayo para determinar la consistencia es el ensayo del cono de Abrams, pero en realidad existen más de 50 ensayos para determinar la consistencia, sólo que el ensayo normalizado por IRAM 1536 es el más "famoso" y el precursor de todos los otros ensayos que ha cumplido un siglo desde que comenzó a usarse. Por lo cual, este ensayo se describirá paso a paso, siendo el más empleado en obra en nuestra región. Se indicarán también de manera simplificada las tolerancias y criterios para aceptación en obra. Sin embargo, aunque en algunos casos no sea conocido, el ensayo de asentamiento en el cual se mide el descenso del cono en cm bajo ciertas condiciones normalizadas y bien explicadas en el presente artículo no es aplicable para todo rango de consistencias.

Para consistencias muy secas, es decir, cuando el asentamiento es menor a 2 cm, el cono de Abrams deja de ser representativo y dentro de estos asentamientos bajos hay rangos de consistencias bien diferenciados que la metodología de IRAM 1536 no puede determinar o distinguir. Para este rango de consistencias se emplea el método de VeBe que mide el tiempo de remoldeo que tarda en llegar a la horizontal un hormigón

seco, mediante una mesa vibratoria y condiciones normalizadas según IRAM 1767. El reglamentado por CIRSOC 201 lo específica para mezclas muy secas, midiendo la consistencia en segundos de remoldeo. También existen otros ensayos, como el Factor de Compactación o el Remoldeo de Powers para mezclas muy secas, pero al no ser aplicables al hormigón elaborado estas consistencias (imposibilidad de mezclado en camiones), no se detallarán en el presente artículo.

En el lado opuesto, cada vez son más empleados los hormigones de consistencia muy fluida. Similar a lo que pasa con el ensayo del cono de Abrams que para bajos valores pierde validez, para elevados asentamientos (»20 cm) también pierde representatividad y no es aplicable. El Reglamento CIRSOC 201 específica para consistencias muy fluidas la medición del extendido de la Mesa de Graf según IRAM 1690, con valores a priori de 60 a 65 cm. Esta metodología no es directamente aplicable a hormigones autocompactantes (HAC) que tanto desarrollo e inserción en el mercado nacional han tenido en la última década y es más bien aplicable cuando la mezcla es muy fluida (As »20 cm) pero no tiene carácter autocompactante. En este último caso, existe una gran variedad de ensayos, entre los que se encuentran los descriptos en el presente artículo. La descripción es referencial y se aconseja consultar las normas ASTM específicas para la realización de los ensayos, pero demuestran gráficamente cómo realizar y qué medir en diferentes ensayos que sirven para cuantificar no sólo trabajabilidad, sino capacidad de pasaje, poder autonivelante, cohesividad de mezclas, entre otras propiedades relevantes para diseñar una HAC en laboratorio y recibirlo en obra. « »

## Determinación de la consistencia mediante el asentamiento Según Norma IRAM 1536

Es válido para consistencias secas a fluidas (asentamientos de 2-3 cm a 18-20 cm)

### 1 Elementos necesarios para el ensayo

- 1 Cono de Abrams (30 cm de altura, 20 cm y 10 cm diámetro superior e inferior) de chapa y su base
- 2 Varilla del 16 de 60 cm de longitud, lisa (no corrugada) con extremo en semiesfera
- 3 Palita de sección en U compatible con el TM del agregado
- 4 Cinta métrica o regla para apreciar al menos el medio centímetro
- 5 Recipiente no absorbente o carretilla para colocar la muestra de hormigón fresco

### 2 Procedimiento de ensayo

- 1 Obtener una muestra representativa y remezclarla después de descargar el primer 1/4 m<sup>3</sup> del camión
  - 1.1 El requisito anterior puede ser obviado sólo si el ensayo es para autocontrol de calidad en planta
- 2 Verificar que el molde, base y barra estén libres de hormigón viejo (fresco o endurecido)
- 3 En el caso de hormigones con partículas mayores a 1" se deberán tamizar antes del ensayo
- 4 Humedecer siempre el molde y la base antes del ensayo
- 5 Colocar la base de ensayo en una superficie plana, firme y libre de vibraciones
- 6 Sujetar firmemente el molde con los pies sobre la base metálica de ensayo
- 7 No debe moverse el operario de su posición durante todo el ensayo
- 8 El molde se llenará en tres capas de igual volumen, no de igual altura
  - 8.1 La primera capa tendrá una altura aproximada de 6,5 cm y la segunda 15,5 cm desde la base
  - 8.2 Varillar 25 veces uniformemente el hormigón de cada una de las tres capas
  - 8.3 13 golpes se realizan en el perímetro con la barra un poco inclinada y los 12 restantes en el centro
  - 8.4 La primera capa se debe varillar en todo el espesor sin golpear en demasía el fondo
  - 8.5 En la segunda y tercera capa, la barra debe penetrar sólo un poco en la capa anterior (2,5 cm aprox.)
  - 8.6 Llenar la tercera capa de manera que sobresalga hormigón de la parte superior
  - 8.7 Cuando se varilla la última capa, conservar el hormigón sobrante en superficie
  - 8.8 Si se advierte que no sobrará hormigón en superficie, se agrega antes de concluir el varillado
  - 8.9 No puede incorporarse hormigón una vez finalizado el varillado, si faltase se descarta el ensayo
- 9 Compactadas las tres capas, se procede a quitar los excedentes de hormigón enrasando la superficie

10 Sujetando el cono hacia abajo, se limpian los restos de hormigón sobre la base metálica

11 Levantar el molde los 30 cm de manera vertical en un tiempo 5±2 segundos

11.1 No se debe levantar el molde con movimiento horizontal o torsional

12 Colocar el molde suavemente sobre la base de manera invertida y colocar la barra sobre el molde

13 Inmediatamente, medir el asentamiento al más cercano medio centímetro (0,5 cm)

14 El asentamiento es la distancia vertical que descendió el cono de hormigón respecto a su forma original

15 La medida debe ser tomada en el eje central del hormigón, no en la parte más alta o más baja

16 Se debe concluir el ensayo en menos de 5 minutos de finalizada la toma de la muestra

17 Además, el ensayo debe concluir antes de 2 minutos y medio de iniciado el mismo

18 Si el cono se inclina marcadamente o se desploma, el ensayo no es válido y debe repetirse

19 El hormigón del cono será tirado, no será empleado en ningún otro ensayo ni para moldear probetas

### 3 Resultados de ensayo

20 Se reporta el asentamiento en cm. Redondear al 0,5 cm

21 Comparar este valor con el asentamiento requerido por el cliente (remito) o el deseado en planta

21.1 Si el asentamiento requerido es de 2 a 5 cm, la tolerancia es de 1 cm

21.2 Si el asentamiento requerido es de 6 a 15 cm, la tolerancia es de 2 cm

### 4 Criterios de aceptación o rechazo del hormigón fresco por su asentamiento

1 Si el resultado de ensayo es positivo (incluidas las tolerancias), el pastón se acepta

2 Si el resultado de ensayo es negativo (incluidas las tolerancias), se realiza un segundo ensayo

2.1 Para el segundo ensayo se toma una nueva muestra representativa y se ensaya

2.2 Si este segundo resultado es positivo (incluidas las tolerancias), el pastón se acepta

2.3 Si el segundo resultado es negativo (incluidas las tolerancias), el pastón podrá rechazarse

3 No se puede rechazar el hormigón con un solo ensayo de asentamiento en ningún caso

4 Tampoco puede rechazarse si la muestra se tomó apenas comenzó la descarga del camión







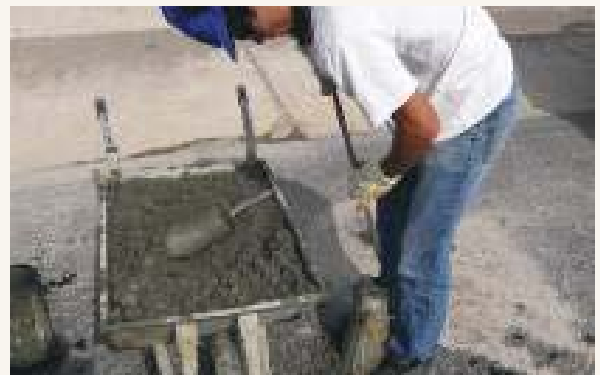
↗ Humedecimiento con agua (no excesiva) de la base y el cono



↗ Incorporación de hormigón con cuchara en U



↗ Compactación de la primera capa



↗ Compactación de la última capa (hormigón sobrante parte superior)



↗ Enrase superior y remoción de hormigón sobrante



↗ Limpieza de hormigón sobrante de la base y sujeción firme del cono



↗ Levantamiento del cono en forma vertical en 5 segundos



↗ Medición del asentamiento al centro del cono a la parte inferior de la barra (ej. 9,5 cm)

»

## Ensayos de consistencia para hormigones muy fluidos y HAC Normas varias ASTM e IRAM 1890

Se describirán brevemente los ensayos, debiendo consultar la norma indicada para realizarlos

### 1 Ensayo de extendido según el Método de mesa de Graf - Norma IRAM 1690

- 1 Para consistencias muy fluidas, sin llegar a ser autocompactante, es el método normalizado en nuestro país
- 2 Instrumental: Mesa de Graf (dos bastidores con bisagra), cono (20 cm altura) y pisón de madera específico
- 3 Se humedece el conjunto y se acondiciona llenando el cono en 2 capas con 10 golpes del pisón cada una
- 4 Después de 30 seg, se levanta el molde; se sube y deja caer libremente (40 mm) 15 veces en 15 seg.
- 5 Se miden dos diámetros opuestos y se promedian, obteniendo así el diámetro de extendido de Graf

### 2 Ensayo de Extendido para HAC, T50 e índice visual (Slump flow) - Norma IRAM 1890

- 1 Junto con el J-Ring, es el ensayo más empleado para la caracterización preliminar y aceptación de HAC
- 2 Instrumental: Base no absorbente de 700 mm de lado marcada concéntricamente, cono de Abrams y reloj
- 3 Se humedece la base y el cono ligeramente, retirando cualquier exceso de agua
- 4 Se coloca el cono en el medio de la base nivelada y se llena, sin varillar ni golpear, con una chuchara en U
- 5 Se limpia cuidadosamente todo el HAC y pasta que pueda haber caído en la base y que interrumpa el flujo
- 6 Al levantar el cono se prende un cronómetro y se mide el tiempo en segundos hasta que llegue a 50 cm
- 7 Se espera que se extienda y se miden dos diámetros perpendiculares (al 5 mm) y se registra el promedio
- 8 Los resultados de ensayo son el diámetro de extendido libre y el T50 (tiempo en llegar a 50 cm)
- 9 Para aceptación o rechazo, puede emplearse + 5 cm del extendido libre de diseño
- 10 El Índice Visual es una calificación de 0 a 3 en función de observaciones en el centro y halo del extendido
  - 10.1 Índices de 0 y 1 indican adecuada estabilidad, acompañado de una distribución uniforme del agregado
  - 10.2 Índices de 2 y 3 no son deseables, indicando segregación o exceso de agua en la mezcla

### 3 Ensayo del Anillo J (J-Ring flow) - Norma IRAM 1890

- 1 Brinda un parámetro de la capacidad de pasaje y resistencia al bloqueo, además de la consistencia
- 2 Instrumental: Idem extendido HAC y "Jaula" (anillo de f 300 mm y 16 barras f 16 equidistantes a 59 mm)
- 3 El ensayo es análogo al de extendido para HAC, pero se coloca el cono invertido en el centro de la "jaula"
- 4 Se llena de hormigón el cono sin compactarlo, se limpian los restos de la placa y se levanta el cono

- 5 Se miden dos diámetro opuestos del extendido (al 5 mm próximo) y se calcula el promedio
- 6 El ensayo de extendido con y sin el anillo, deben realizarse en menos de 6 minutos en total
- 7 Se determina la "capacidad de pasaje CP" como la diferencia entre el extendido sin el anillo y con el anillo
  - 7.1  $CP < 25$  mm no hay bloqueo visible (aspecto deseable); si está entre 25 y 50 mm, puede existir bloqueo
  - 7.2 Si  $CP > 50$  mm hay riesgo bloqueo (medio a elevado) y es recomendable rediseñar la mezcla

### 4 Ensayo de la Caja en L (L-Box)

- 1 La caja tiene una parte vertical de 60 cm de altura y de 10 x 20 cm de sección donde se coloca el hormigón
- 2 Por gravedad se deja pasar el hormigón a la parte horizontal (por 3 barras f 12 espaciadas 35 mm)
- 3 La parte horizontal tiene 70 cm y presenta marcas a los 20 y 40 cm desde las barras para medir alturas
- 4 Se miden las alturas H1 (20 cm) y H2 (40 cm) y la relación H2/H1 mide capacidad autonivelante y de pasaje
- 5 También pueden medirse los tiempos T20 y T40 para determinar las propiedades del hormigón fresco

### 5 Ensayo de la Caja en U (U-Box)

- 1 La caja dos compartimentos verticales de sección 20 cm x 14 cm y una altura de 59 cm en total
- 2 En la parte inferior hay una abertura de 14 cm de altura con 3 barras f 13 mm distanciadas 50 mm
- 3 Se colocan 20 litros de hormigón en una rama de la U, se deja un minuto y se abre la comunicación inferior
- 4 Se mide la diferencia de alturas entre las dos ramas y lo ideal es que su valor tienda a ser próximo a 0

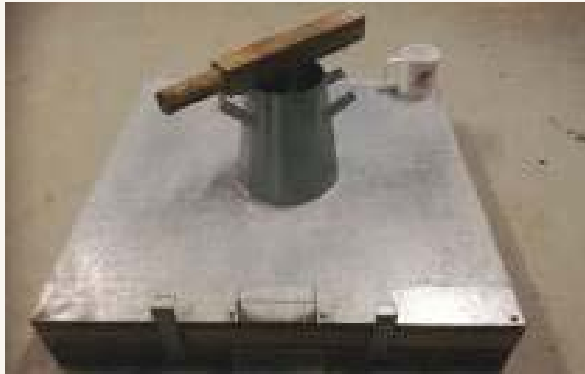
### 6 Ensayo del Embudo en V (V-Funnel)

- 1 Es un embudo específico compatible hasta con TM « 20 mm que usa una muestra de 12 litros de HAC
- 2 Se llena el recipiente sin compactar, se abre la puerta inferior (65 x 75 mm) y se deja caer por gravedad
- 3 Se registra el tiempo en el cual todo el hormigón fluye y se aprecia si existen signos de segregación
- 4 Es recomendable repetirlo con la misma muestra, pero dejarlo 5 minutos en el embudo y comparar tiempos

### 7 Otros ensayos para mezclas muy fluidas

- 1 Existe un gran número de metodologías para ensayos de HAC en la actualidad. Sin embargo, con los ensayos arriba descritos es suficiente para caracterizar hormigones en la mayor cantidad de aplicaciones
- 2 Entre otros, se destacan los ensayos para determinar la estabilidad y segregación de la mezcla





Instrumental para determinar consistencia en Mesa de Graf



Varios ensayos de HAC en demostración



Extendido libre y T50 (durante el ensayo)



Ensayo de extendido de J-Ring



Vista lateral del ensayo en la Caja en L



Vista superior de la Caja en U



Ensayo V-Funnel



Instrumental de ensayo para determinar estabilidad y segregación



# Ensayos paso a paso: Tiempos de fragüe y exudación del hormigón fresco

**Ms. Ing. Maximiliano Segerer**

*Control y Desarrollo de Hormigones*  
[www.cdormigones.com.ar](http://www.cdormigones.com.ar)

Continuando con los ensayos de hormigón fresco, se describirán en el presente artículo dos determinaciones, que no requieren instrumental oneroso y brindan parámetros muy útiles en laboratorios de autocontrol de plantas hormigoneras: exudación y tiempos de fragüe. Existen ciertos errores frecuentes sobre estos ensayos, como que la determinación del tiempo inicial de fragüe del hormigón se realiza sobre la base de variaciones de temperatura, empleando el aparato de Vicat, o que la pérdida de asentamiento por elevadas temperaturas y/o distancias prolongadas de transporte es sinónimo de fragüe y debe rechazarse la carga. Otra creencia incorrecta es que la exudación debe ser lo más baja posible en todas las aplicaciones del hormigón elaborado, siendo un parámetro crítico para ciertas obras como pisos industriales llaneados. Cuantificando estos parámetros, pueden optimizarse las dosificaciones y buscar alternativas para el cliente en diferentes aplicaciones, así como poder evaluar determinados aditivos y transportar el hormigón en largas distancias sin que éste pierda sus propiedades. El tiempo inicial de fragüe (IRAM 1662) es un parámetro de vital importancia para el proveedor, con el fin de conocer cuánto tiempo tiene para transportar el hormigón y cuánto tiempo disponible existe en obra para su descarga, no sólo por demoras sino por imprevistos.

En muchas obras se expresa contundentemente “el hormigón a los 90 minutos inicia el fragüe” y existen muy pocas posibilidades de que esto suceda (o ninguna para el hormigón elaborado convencional). El Reglamento CIRSOC 201 acertadamente indica que todas las tareas para descargar, compactar y terminar el hormigón de las estructuras deben realizarse antes de que inicie el fragüe. Si no se determina el tiempo inicial de fragüe, establece el tiempo de 90 minutos, de allí que es útil demostrar que el tiempo de fragüe es superior para hormigones convencionales. Por ello, conocer el tiempo de fragüe inicial de los hormigones en diferentes condiciones es de utilidad para que en ciertas obras se demuestre que el hormigón puede permanecer en estado fresco 3 a 5 horas, como ocurre normalmente, o bien ampliar mercados transportando el hormigón a mayores distancias.

Es un ensayo sencillo, aunque algo lento, que consiste en ir midiendo la resistencia a la penetración del mortero tamizado de una muestra de hormigón. Puede modelarse en laboratorio o bien con condiciones de temperatura reales de obra para poder inferir aceleramientos o retrasos del fragüe. Si bien la norma indica determinar tiempo inicial y final de fragüe, el parámetro fundamental es el tiempo inicial que indica la finalización del estado fresco, y este tiempo puede determinarse con ciertos dispositivos (penetrómetros de bolsillo) que no necesariamente tengan la capacidad necesaria para determinar el tiempo final de fragüe, el cual tiene su relevancia, pero mucho menor

que el inicial para las aplicaciones más comunes de obra.

Respecto al ensayo de exudación (IRAM 1604), el Reglamento CIRSOC 201 exige su determinación cuando se llenan elementos de más de 2 metros de altura (cualquier columna o tabique de una obra civil) y para estructuras que estén sometidas al desgaste, erosión o cavitación, con el objeto de evitar la pérdida de material superficial con la abrasión o paso del agua a elevada velocidad, por ejemplo. Es un ensayo conceptualmente sencillo, que determina qué cantidad de agua sale a la superficie de una muestra de hormigón y a qué velocidad. Debe realizarse, para los casos indicados, al emplear la mezcla por primera vez, cuando cambie alguno de los componentes de la mezcla o cuando visualmente existan indicios de exudación excesiva.

Si bien el Reglamento limita valores máximos, si la exudación de la mezcla es muy baja, puede acarrear riesgo de fisuración plástica o que exudaciones muy abruptas causen fisuras por asentamiento plástico, con lo cual es el parámetro que más define la vulnerabilidad del hormigón a la fisuración en estado fresco. Por ello, es útil no sólo cumplimentar con los valores máximos admisibles, sino conocer cuál es la capacidad y velocidad de exudación que tienen los diferentes hormigones despachados.

El Reglamento CIRSOC 201 especifica que la capacidad de exudación debe ser igual o menor al 5% del agua de mezclado y que la velocidad de exudación sea como máximo  $100 \times 10^6$  ml/cm<sup>2</sup>/seg (o cm/seg que son unidades equivalentes). « »





Instrumental necesario para ensayo de exudación.



Compactación de la muestra en el recipiente de exudación.



Espacio superior libre necesario en el ensayo de exudación (no se enrasa convencionalmente).



Terminación superficial para lograr cierta planicidad.



Inclinación previa de 2 minutos antes de cierta recolección del agua.



Retiro de agua una vez inclinado con pera de goma.



Pesaje (opcional a medición por volumen) del agua de exudación a diferentes intervalos.



Gráfico de Exudación



**1) Elementos necesarios para el ensayo**

- 1.** Penetrómetro para morteros con la aguja correspondiente que pueda leer presiones de hasta 4,0 MPa
  - 1.1.** Puede ser de bolsillo para tiempo inicial de fragüe o con varias agujas para tiempo inicial y final
  - 1.2.** El penetrómetro debe ser verificado cada 6 meses ó 50 ensayos, lo que ocurra primero
- 2.** Recipiente metálico indeformable para colocar el mortero fresco de sección circular o rectangular
  - 2.1.** Las dimensiones transversales deben ser mayores a 15 cm y altura de recipiente entre 13,5 y 15 cm
  - 2.2.** Tapa para el recipiente anterior que cubra toda la superficie sin contacto con el hormigón
- 3.** Tamiz IRAM de abertura de malla 4,75 mm (# 4) y fondo de tamiz (o una bandeja metálica)
- 4.** Varilla de compactación de 16 mm de diámetro y 60 cm de largo con punta terminada en semiesfera
- 5.** Elemento para retirar el agua de exudación, pudiendo emplearse una pera de goma y una cuña
- 6.** Termómetro para medir la temperatura del mortero y la temperatura ambiente, con precisión de 0,5 C

**2) Preparación de la muestra**

- 1.** Se obtiene una muestra representativa del hormigón fresco según lo indicado en la Norma IRAM 1541
- 2.** Se tamiza la muestra de hormigón a través del tamiz IRAM 4,75 mm (#4)
- 3.** Debe irse colocando el mortero tamizado en un recipiente y desechando el agregado grueso
- 4.** Se homogeneiza el mortero obtenido, colocándolo en el recipiente en que se ejecuta el ensayo
- 5.** El volumen de mortero deberá ser suficiente para llenar el recipiente a una altura de 13,5 a 14,0 cm
- 6.** Se compacta manualmente en una capa aplicando un golpe de varilla por cada 10 cm de área
- 7.** A continuación se golpean levemente los costados del molde hasta el cierre de los eventuales vacíos
- 8.** La muestra debe almacenarse y mantenerse a la temperatura deseada, siendo la normal de 21 a 25 °C
- 9.** Se registra la temperatura inicial del mortero, pudiendo dejar inserto el termómetro en todo el ensayo
- 10.** Se cubre el recipiente para evitar la evaporación de agua, además de no exponer el recipiente al sol
- 11.** Debe mantenerse siempre cubierto, salvo cuando se retira el agua o se mide la penetración
- 12.** Se deben realizar al menos 2 ensayos simultáneos para cada muestra y cada condición de ensayo

**3) Procedimiento de las mediciones durante el ensayo**

- 1.** Antes de realizar todos los ensayos de penetración se retira el agua de exudación con la pera de goma
- 2.** Para facilitar, se coloca una cuña para que el recipiente se incline 10°, 2 minutos antes del ensayo
- 3.** Para cada una de las mediciones de resistencia a penetración

se debe proceder como se detalla:

- 3.1.** Se coloca la superficie inferior de la aguja del penetrómetro en contacto con la superficie de mortero
- 3.2.** Se aplica una fuerza vertical de arriba hacia abajo con el penetrómetro, gradual y uniformemente
- 3.3.** La fuerza debe lograr penetrar 25 mm en la superficie del mortero en  $10 \pm 2$  segundos
- 3.4.** El vástago del penetrómetro tiene una marca a los 25 mm para facilitar esta operación
- 3.5.** Se registra la fuerza necesaria y la sección de la aguja, determinando resistencia a penetración
- 3.6.** En cada punto, se toma el tiempo transcurrido a partir del contacto del agua con el cemento
- 4.** La distancia entre las impresiones será mayor a dos diámetros de la aguja y no menor a 15 mm
- 5.** La distancia entre cualquier impresión y los costados del recipiente debe ser mayor a 25 mm
- 6.** Se deben realizar las mediciones anotando el tiempo transcurrido desde el inicio del mezclado
  - 6.1.** En condiciones de laboratorio y para hormigones sin aditivos, la primera lectura se realiza a 3 horas
  - 6.2.** En caso de altas temperaturas o aditivos aceleradores, se deben iniciar las lecturas a 1 hora
  - 6.3.** En caso de bajas temperaturas o aditivos retardadores, se deben iniciar las lecturas a 4 horas
- 6.4.** Después de la primera medición, las posteriores tienen que ser realizadas cada 30 minutos
- 7.** Cuando se registre una resistencia a penetración superior a 4,0 MPa ha iniciado el fragüe
- 8.** Si se desea determinar el tiempo final de fragüe, deben emplearse las agujas de menor sección
- 9.** Inmediatamente, se quita el mortero del recipiente y se limpia, dejándolo listo para el próximo ensayo
- 10.** En todas los ensayos se registran: la resistencia a penetración y el tiempo referido al inicio de mezclado
- 11.** Debe registrarse de manera continua la temperatura ambiente

**4) Cálculos, gráfico y determinaciones**

- 1.** Se debe realizar un gráfico ubicando todos los puntos de las mediciones de resistencia a penetración
  - 1.1.** En el eje de abscisas (horizontal) se grafican los tiempos de medición en minutos
  - 1.2.** En el eje de ordenadas (vertical) se grafican las resistencias a penetración en MPa
  - 1.3.** Manualmente o con la ayuda de la computadora, se traza una curva de tendencia
- 2.** En el eje de ordenadas se ubica 3,4 MPa se traza una recta horizontal hasta cortar la curva de tendencia
- 3.** Al cortar la curva, se baja en vertical y se lee en el eje de abscisas el tiempo inicial de fraguado
- 4.** Si se determina el tiempo final de fragüe se determina la resistencia a penetración para 27,4 MPa
- 5.** Se informan los tiempos de fraguado como el promedio de dos ensayos, redondeado a 5 minutos



**1) Elementos necesarios para el ensayo**

1. Recipiente de capacidad aproximada de 14 litros con diámetro de 250 mm y altura 280 mm (aprox.)
2. Balanza de 40 a 50 kg y resolución de 5 g como mínimo (deseable 2 g)
3. Pipeta graduada que permita extraer el agua, pera de goma y probeta graduada de vidrio de 100 ml
4. Varilla de compactación de 16 mm de diámetro y martillo con cabeza de goma (ídem probetas)
5. Lámina de polietileno de 0,1 mm de espesor mínimo y un elástico para sujetarla al recipiente
6. Cuña de madera de 50 mm de altura, regla metálica para terminación y trapo para limpieza
7. Otros elementos de ensayo de hormigón fresco (termómetro, recipiente PUV, cono Abrams, etc.)

**2) Preparación de la muestra**

1. Se obtiene una muestra representativa del hormigón fresco según lo indicado en la Norma IRAM 1541
- 1.1. Para hormigones con agregado > 38 mm, es recomendable descartar esas partículas por tamizado
2. Se coloca el hormigón fresco en tres capas de aproximadamente igual altura y se consolidan
  - 2.1. Cada capa se compacta con 25 golpes de la varilla y golpes con la maza de goma (ídem probetas)
  - 2.2. Debe llegarse con la tercer capa a cerca de 3 cm por debajo del enrase del recipiente
  - 2.3. Se debe enrasar con regla metálica o similar hasta lograr una superficie plana
3. Conociendo la tara del recipiente, se debe pesar el hormigón contenido en el recipiente (m h)
4. Además debe conocerse el área del recipiente (A), midiendo dos diámetros perpendiculares
5. Sobre el hormigón fresco, también deben realizarse las siguientes determinaciones:
  - 6.1. Consistencia, temperatura, contenido de aire y peso unitario en fresco (PUV en kg/m<sup>3</sup>)
  - 6.2. Se debe conocer la composición del hormigón en kg/m<sup>3</sup> de cada uno de los componentes
  - 6.3. Se debe determinar la masa de agua (m a) que contiene el recipiente con datos de mezcla
  7.  $m a = (m \times m h) / PUV$ ; m = demanda de agua del pastón en kg/m<sup>3</sup>  
m h = masa del hormigón en kg
  8. Se deben realizar al menos 2 ensayos en diferentes ocasiones para corroborar los valores

**3) Procedimiento de las mediciones durante el ensayo**

1. Se coloca el recipiente sobre plataforma o mesa nivelada y sin vibraciones durante todo el ensayo
2. Se lo cubre con la lámina de polietileno con el elástico, sin que toque la superficie del hormigón

- 2.1. Se lo debe mantener cubierto salvo en el momento cuando se extrae el agua con la pipeta y pera
3. Para facilitar la recolección del agua se inclina 2 minutos antes con la cuña de 50 mm bajo el recipiente
4. Se retira el agua empleando la pipeta con ayuda de pera de caucho y se pasa a la probeta graduada
- 4.1. En cada ocasión se registra tiempo (desde el inicio de mezclado) y agua recolectada (V aei)
- 4.2. Finalizada cada extracción, el recipiente se vuelve a la posición de reposo en horizontal
5. Las extracciones se realizan a intervalos de tiempo establecidos:
  - 5.1. Al inicio, cada 10 minutos durante los primeros 40 minutos desde acondicionada la muestra
  - 5.2. Después a intervalos no mayores a 30 minutos, recomendando 15 a 20 minutos
  - 5.3. Se concluye el ensayo (y se retira el hormigón) cuando en 30 minutos no hay exudación
6. Respecto a las mediciones y nomenclatura que figuran en IRAM 1604:
  - 6.1. V aei = extracciones individuales a un tiempo determinado, para luego graficarlos (ml)
  - 6.2. V ae = volumen total del agua de exudación obtenido al finalizar el ensayo (ml)
7. Durante las mediciones deben tenerse condiciones ambientales de laboratorio (19 a 23°C)

**4) Cálculos, gráfico y determinaciones**

1.  $V i =$  Volumen de agua exudada acumulada por unidad de superficie;  $V i = V aei / A$ 
  - 1.1. Los volúmenes  $V i$  y  $V aei$  se expresan en ml (mililitros) y A (sección recipiente) en cm<sup>2</sup>
  2. E = Capacidad de exudación en ml cada 100 g (o expresado como %);  $E = V ae / m a \times 100$
  - 2.1. El volumen total V ae se expresa en ml y ma (masa agua en la muestra) en gramos
  3. V = Volumen de agua exudada acumulada por superficie en ml/cm<sup>2</sup>
  4. VE = Velocidad de exudación en unidades de ml / cm<sup>2</sup> / seg (cm/seg), determinada gráficamente
  - 4.1. Se grafica el volumen de agua exudada por superficie de cada extracción (V i) en función del tiempo
  - 4.2. Se trazan rectas paralelas al eje de tiempo de 0,1 V y 0,8 V y se determinan los tiempos
  - 4.3. Se determina una recta entre estos puntos y se determina la pendiente de la misma (VE)
  - 4.4. Se debe determinar el coeficiente de correlación de la recta (r) entre el 10% y 80% de V
5. Se deberán registrar observaciones como material de arrastre durante la toma del agua
6. El resultado cada parámetro del ensayo será el promedio de dos ensayos de diferentes pastones



➤ Tamizado del hormigón fresco.



➤ Moldes para dos ensayos de tiempos de fragüe en paralelo.



➤ Colocación para mortero en recipiente.



➤ Penetrómetro de Proctor con múltiples agujas para tiempos inicial y final.



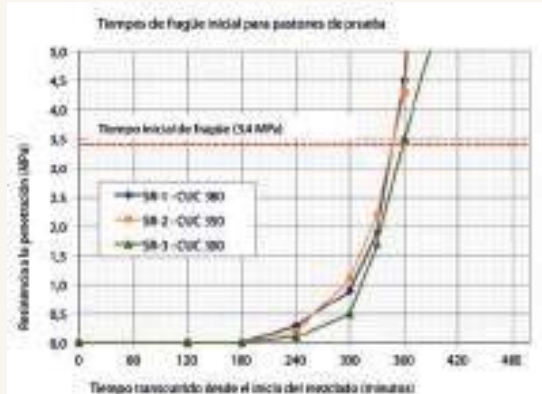
➤ Penetraciones al inicio del ensayo (superficie grande).



➤ Penetraciones con aguja de menor sección.



➤ Penetrómetro de bolsillo para tiempo inicial de fragüe (inicio del fragüe a 500 psi).



➤ Gráfico de Tiempo inicial de fragüe



# Ensayos paso a paso: Uniformidad de mezclado y moldeo de probetas a flexión

**Ms. ING. MAXIMILIANO SEGERER**

*Control y Desarrollo de Hormigones*  
[www.cdormigones.com.ar](http://www.cdormigones.com.ar)

En primer lugar, se estudiará el ensayo de uniformidad de un pastón de hormigón, que sirve para medir la eficiencia de cualquier equipo mezclador y/o distribuidor de hormigón. Hace años existía un criterio más laborioso fijado en IRAM 1666:1986 que brindaba 6 parámetros de ensayo, de los cuales para asumir la uniformidad de mezclado debían cumplirse al menos 5. Sin embargo, cerca de 20 años después se modificó el criterio y se publicó la Norma IRAM 1876, que da medidas más prácticas y con interpretación inmediata. Básicamente, consiste en realizar el ensayo del contenido de aire y peso unitario del hormigón fresco, que suele hacerse con el mismo instrumental, y luego determinar por lavado la cantidad de agregado grueso que queda retenido en el tamiz #4; determinando mediante algunas expresiones si un equipo mezcla de manera eficiente o no.

Son ensayos indispensables para realizar en camiones hormigoneros o bien cuando existen dudas de la eficacia del mezclado del equipo, por ejemplo, para determinar número de revoluciones, si las aletas internas están en buen estado, tiempos mínimos de mezclado y otros datos que influyen en la calidad del hormigón despachado. Brindan datos confiables para determinar cuándo debe realizarse el mantenimiento o cambio de alguna parte del sistema mezclador de los camiones y/o plantas. También sirve para controlar y determinar tiempos mínimos para plantas que poseen mezcladoras, siendo recomendable realizar verificaciones para diferentes ámbitos de asentamiento. Los ensayos antes referidos deben ser realizados sobre dos muestras diferentes, una próxima al inicio y otra próxima al final de la descarga, siempre descartando el 15% de los extremos en cada uno de los casos. Si los valores del peso unitario corregido (densidad

del mortero libre de aire) y del contenido de agregado grueso en ambas muestras son similares ( $\leq 1,6\%$  y  $\leq 6,0\%$  respectivamente), se considera que el equipo mezclador es eficiente para las condiciones en que se realizó el mezclado (velocidad de mezclado y revoluciones totales).

El segundo ensayo que se describe es el moldeo de probetas a flexión, que presenta ciertas particularidades y cuidados adicionales respecto de las probetas cilíndricas convencionales. Si bien no son frecuentes en obras convencionales, las probetas a flexión se moldean para determinar la resistencia a tracción en pavimentos, que es un parámetro muy relevante para el diseño de losas apoyadas sobre el terreno.

En grandes obras viales, estaciones portuarias y pistas de aeropuerto, por ejemplo, se solicita el moldeo y posterior rotura de probetas a flexión como parámetro de aceptación, ya que en realidad es un parámetro mucho más relevante que la resistencia a compresión. Sin embargo, ciertas precauciones relacionadas con el moldeo, protección, curado y manipuleo de las probetas hacen que sea un ensayo bastante delicado para los laboratorios de obra. Por ello, muchas veces se establecen en laboratorios centrales con condiciones más controladas, las correlaciones entre la resistencia a flexión y compresión, para tomar luego las probetas cilíndricas a compresión como parámetro de aceptación. Esta relación de resistencias depende fuertemente de la edad (ya que la resistencia a flexión crece mucho más rápidamente que la resistencia a compresión), de la categoría resistente del hormigón y de los materiales constituyentes del hormigón, fundamentalmente del tipo de agregado empleado. Estas relaciones a la edad de 28 días oscilan entre el 11% y 15%, con lo cual nunca pueden tomarse estimaciones de bibliografía, sino realizar ensayos de correlación, ya que este 4% aparente de variación referido al promedio corresponde a cerca del 33% de los valores a estimar a flexión y pueden cometerse grandes errores, bien sea sobre-estimando o sub-estimando. « »



↗ Ensayo de contenido de aire y PUV



↗ Pasaje del hormigón del recipiente del PUV al tamiz



↗ Tamizado hasta obtener el agregado grueso (eliminando el mortero)



↗ Otra opción es trabajar con cribas industriales para el tamizado



↗ Lavado del agregado sobre cribas industriales



↗ Llevando el agregado a SSS mediante secado con paño absorbente (agregados rodados)



↗ Fracciones de agregado grueso trituradas ya tamizadas del hormigón en estado SSS (dos muestras)



↗ En plantas premezcladoras y verificación de mezclado de mixers, es un ensayo indispensable

**1) Elementos necesarios para el ensayo**

1. Recipiente calibrado para determinación del PUV acorde con el TM del agregado (IRAM 1562)
  - 1.1. Capacidad mínima para TMN  $\leq 11/2''$  de 7 litros; para TMN de  $11/2''$  a  $2''$  de 15 litros aprox.
  - 1.2. Accesorios para el acondicionamiento de muestra (varilla  $\Phi 16$  y martillo con cabeza de goma)
  2. Aparato de Washington o similar para determinar el contenido de aire según IRAM 1602
    - 2.1. Para TMN  $\leq 11/2''$  puede emplearse para agilizar el recipiente del Washington para el PUV
    - 2.2. Accesorios para la determinación del contenido de aire según IRAM 1602 y equipo disponible
  3. Balanza de 40 kg y resolución de 5 g (recomendable de 2 g si se posee para TMN  $\leq 11/2''$ )
  4. Tamiz IRAM #4 de malla 4,75 mm y recipientes varios para contener muestras

**2) Preparación de la muestra**

1. Para realizar los ensayos deben tomarse dos muestras del mismo pastón (Muestras N 1 y N 2)
2. El muestreo del hormigón se debe realizar según lo que indica IRAM 1541
3. Las muestras deben ser tomadas entre el 15% y 85% del volumen total del pastón (IRAM 1876)
  - 3.1. Es recomendable tomar la Muestra N 1 entre el 15% y 30% del volumen del pastón
  - 3.2. La Muestra N 2 es recomendable tomarla entre el 70% y 85% del volumen del pastón
4. Los ensayos deben ser realizados de manera rápida, fundamentalmente toma de PUV y Aire

**3) Procedimiento y métodos de ensayo**

1. Todo el procedimiento descrito tiene que realizarse para cada una de las dos muestras
2. En primer lugar se procede a realizar el ensayo del PUV o densidad en estado fresco (IRAM 1562)
  - 2.1. Se lo debe mantener cubierto salvo en el momento cuando se extrae el agua con la pipeta y pera
  - 2.2. Se enrasa y limpia cuidadosamente el recipiente para que no queden restos de hormigón
  - 2.3. Se determina la masa del hormigón contenida en el recipiente (m h)
3. Para TMN  $\leq 11/2''$  (caso más frecuente) se realiza en el mismo recipiente que el % de Aire
  - 3.1. En el caso arriba indicado, sobre el mismo hormigón se determina el % de aire (IRAM 1602)
  - 3.2. En caso que el TMN  $> 11/2''$  debe hacerse de forma independiente los dos ensayos

4. A continuación, se lava por arrastre de agua sobre tamiz IRAM #4 hasta eliminación de la arena
  - 4.1. Se va colocando por partes el hormigón fresco sobre el tamiz, y se va colocando agua y tamizando
  - 4.2. Se coloca el agregado grueso retenido en un recipiente y se vuelve a colocar más hormigón
  - 4.3. Al finalizar el tamizado, se lleva el agregado grueso a estado saturado superficie seca (con paño)
  - 4.4. Las dos determinaciones siempre deben ser realizadas por el mismo laboratorista
5. En caso que el TMN  $> 11/2''$ , se determina el % de aire según IRAM 1602 de forma independiente
  - 5.1. Además de determinarlo, debe pesarse el hormigón y tamizarse por tamiz IRAM #4
  6. Se registra el contenido de aire del hormigón en % en cada una de las muestras (A)

**4) Cálculos, determinaciones y criterios de aceptación**

1. Se determina el contenido de agregado grueso  $m_{ag} = (m_{a\ sss} / m_h) \times 100$  para ambas muestras
  - 1.1.  $m_{ag}$  = contenido de agregado grueso de cada una de las muestras (expresado en %)
2. Se determina la diferencia de contenido de agregado grueso  $\Delta m_{ag}$  de la siguiente manera:
  - 2.1.  $\Delta m_{ag} = m_{ag1} - m_{ag2}$ , siendo la diferencia en valor absoluto (%)
  - 2.2. Siendo  $m_{ag1}$  y  $m_{ag2}$ , el contenido de agregado grueso de cada una de las dos muestras en %
3. Se calcula la densidad compactada de mortero libre de aire de cada muestra ( $\rho_m$ )
  - 3.1. 
$$\rho_m = \frac{m_h - m_{a\ sss}}{V - [(V \times A/100) + (M_{a\ sss} / \rho_{a\ sss})]} \text{ kg/m}^3$$
  - 3.2.  $\rho_{a\ sss}$  es la densidad del agregado grueso en estado saturado superficie seca ( $\text{kg/m}^3$ )
  - 3.3.  $M_h$  y  $M_{a\ sss}$  se deben ingresar en la fórmula con unidades de kg
  - 3.4.  $V$  es el volumen del recipiente de medida y debe expresarse en la fórmula en  $\text{m}^3$
  - 3.5.  $A$  es el contenido de aire y se ingresa en % (valor indicado en el aparato de Washington)
4. Se determina la diferencia de la densidad compactada del mortero libre de aire
  - 4.1.  $\Delta \rho_m = |\rho_{m1} - \rho_{m2}| / \rho_{prom}$ , siendo la diferencia en valor absoluto (expresión en %)
  - 4.2. Siendo  $\rho_{m1}$  y  $\rho_{m2}$ , las densidades de mortero libre de aire para cada muestra ( $\text{kg/m}^3$ )
5. El hormigón del pastón se considera homogéneo cuando simultáneamente se cumple que:
  - 5.1. La diferencia entre las cantidades de agregado grueso  $\leq 6,0\%$
  - 5.2. La diferencia entre las densidades del mortero libre de aire  $\leq 1,6\%$





⤴ Moldeo de probetas a flexión y compresión para su posterior correlación en obra de pavimento



⤴ Varillado del hormigón de la primera capa (no recomendable para Asentamiento menor a 7 cm)



⤴ Varillado del hormigón de la segunda capa (siempre debe existir hormigón sobrante)



⤴ Golpes con martillo de goma después del varillado de cada capa



⤴ Vibrado de la segunda capa de probetas a flexión (es más aconsejable el vibrado que el varillado en ciertos casos)



⤴ Golpes con martillo de goma después de consolidar cada capa y tareas de enrasado de probetas



⤴ Protección con paños húmedos después del colado y hasta el desmolde de las probetas



⤴ Curado húmedo indispensable de probetas a flexión hasta el ensayo mismo



**1) Elementos necesarios para el ensayo**

1. Moldes prismáticos no absorbentes, generalmente de dimensiones 15 x 15 x 55 ó 60 cm (TMN  $\leq$  2")
- 1.1. Ciertos moldes deformables causan inconvenientes notables luego en el ensayo
- 1.2. Deben presentar un adecuado espesor de chapa, ángulos rectos y ser fácilmente ensamblables
2. Varilla  $\Phi$  16 de 60 cm, lisa con extremo en semiesfera o vibrador (> 7000 rpm y  $\Phi$  de 19 a 38 mm)
- 2.1. Las dimensiones transversales deben ser mayores a 15 cm y altura de recipiente entre 13,5 y 15 cm
- 2.2. Para asentamientos menores o iguales a 8 cm es muy recomendable la consolidación por vibrado
3. Pequeña pala de sección en U compatible con el tamaño de la probeta y fratacho o llana
4. Martillo de cabeza de goma que pese aproximadamente 500 gramos
5. Recipiente no absorbente o carretilla para colocar la muestra de hormigón fresco

**2) Procedimiento de moldeo de probetas para ensayos de flexión**

1. Obtener una muestra representativa y remezclarla después de descargar el primer 1/4 m<sup>3</sup> (IRAM 1541)
2. Antes de moldear las probetas, deberá realizarse el ensayo de asentamiento y eventualmente aire
3. Se deberán moldear como mínimo 2 probetas para ensayar a la edad de diseño del hormigón
- 3.1. En caso de probetas para otras edades, podrán realizarse 1 a 2 por edad (tendencias)
4. Las probetas deben moldearse en el punto más cercano posible a donde serán conservadas
5. Verificar que los moldes estén libres de hormigón viejo y bien aceiteados (sin exceso)
6. Colocar el molde de probeta en una superficie plana, firme y libre de vibraciones (durante 24 hs)
7. Respecto al tipo y tamaño de molde, debe tenerse en cuenta lo siguiente:
  - 7.1. Se mide la altura del molde y se divide en 10 cm para determinar el número de capas
  - 7.2. Se calcula el área de la probeta y se divide en 15 cm<sup>2</sup> para determinar el número de golpes por capa
  - 7.3. La menor dimensión de la probeta debe ser como mínimo 3 veces el TM del agregado
  - 7.4. Si no se cumple la condición anterior, deberán tamizarse las partículas mayores a estas dimensiones
8. Se podrá optar por la compactación de las probetas por 2 procedimientos: a) varillado o b) vibrado
9. Método de compactación manual - Asentamientos igual o mayores a 5 cm
  - 9.1. El molde se llenará en capas de igual altura de no más de 10 cm, para moldes de 15 cm en 2 capas
  - 9.2. Se varilla con un golpe cada 15 cm<sup>2</sup> de superficie del molde, para moldes 15 x 55 cm con 55 golpes
  - 9.3. La primera capa se debe varillar en todo el espesor sin golpear en demasía el fondo
  - 9.4. En la siguiente capa la varilla debe penetrar sólo unos 25 mm en la primera capa
  - 9.5. Al llenar la última capa de manera que sobresalga hormigón de la parte superior

- 9.6. Si se advierte que no sobrará hormigón en superficie, se agrega antes de concluir el varillado
- 9.7. No puede incorporarse hormigón una vez finalizado el varillado, si faltase se descarta el moldeo
10. Método de compactación por vibración - Asentamientos inferiores a 10 cm (altamente recomendable)
  - 10.1. El molde se llena en capas, igual que para varillado (2 capas para moldes de 15 x 15 cm)
  - 10.2. Se insertará el vibrador en puntos distanciados 14 cm aproximadamente según su eje longitudinal
  - 10.3. El tiempo de inmersión del vibrador varía entre 5 y 10 segundos aproximadamente en cada capa
  - 10.4. Para la segunda capa, el vibrador deberá penetrar 25 mm aproximadamente en la primera
  - 10.5. Siempre deberá "sobrar" hormigón para enrasarlo y se complementará con golpes del mazo de goma
11. Después de compactar cada capa, complementar con 15 a 25 golpes del martillo de goma
12. En caso que existan fugas de hormigón, se abre el molde o inconveniente similar, se tira la muestra
13. Compactadas las capas, se procede a quitar los excedentes de hormigón enrasando la superficie
14. El enrase se realizará con el mínimo movimiento posible, no se admiten depresiones de más de 3 mm
15. Cubrir la superficie con plástico o arpillera húmeda (preferible), la superficie de la probeta
16. Se deberá minimizar al máximo la manipulación o transporte de las probetas luego de moldeadas
17. Se debe concluir el moldeo de las probetas en menos de 15 minutos de finalizada la toma de la muestra

**3) Acondicionamiento, protección y curado de probetas para ensayos de flexión**

1. Las probetas serán conservadas las primeras 20 a 48 horas dentro del molde a  $21 \pm 6$  °C.
  - 1.1. Para probetas de categorías H-40 y superior, la temperatura de protección inicial es de  $23 \pm 3$  °C
  - 1.2. No deberán ser dejadas al rayo del sol, ni cerca de fuentes de frío o de calor en este período
  - 1.3. En condiciones de tiempo frío o caluroso se colocarán bajo cajas aislantes o similares
  - 1.4. Es recomendable cubrirlas con arpillera húmeda para evitar un desecamiento temprano
  - 1.5. Luego de estas 20 a 48 horas, se desmoldan y se conservan en pileta o cámara de curado
  - 1.6. En casos específicos, podrán dejarse al costado del pavimento recubiertas con arena húmeda
2. Deben ser marcadas o rotuladas con indeleble, inmediatamente después de que se desmoldan
3. En caso de imperfecciones (rebarbas), pueden quitarse con espátula para lograr aristas vivas
4. Deben limpiarse los moldes luego del desmolde para dejarlos listos para próximas probetas
5. Es imprescindible mantener la temperatura de  $23 \pm 2$  °C en la pileta o cámara de curado
6. Se conservarán en estado húmedo hasta el ensayo (no pueden transcurrir más de 2 hs fuera del agua)
  - 6.1. Se debe impedir el secado de las caras de las probetas hasta el momento del ensayo
  - 6.2. En caso de transportarlas, se llevarán al laboratorio con cajones de arena húmeda o arpillera mojada

## ENSAYOS PASO A PASO DEL HORMIGÓN FRESCO

# Moldeo de probetas para ensayos de compresión (cilíndricas y cúbicas)

◆ POR MS. ING. MAXIMILIANO SEGERER. CONTROL Y DESARROLLO DE HORMIGONES / WWW.CDHORMIGONES.COM.AR

Con este artículo se concluye la serie de ensayos del hormigón en estado fresco. Si bien ya se ha publicado en numerosas ocasiones, se brinda en estas páginas el procedimiento detallado para el moldeo adecuado de probetas cilíndricas. Además, se incluyen comentarios en lo que respecta a los dos tamaños de probetas más utilizados en nuestro país: las de 15 x 30 cm y las de 10 x 20 cm así como particularidades para el caso de mezclas autocompactantes, como en HAC y RDC que se llenan en una sola capa por su elevada fluidez, lo cual no está contemplado en la norma IRAM. Asimismo, se brindan especificaciones respecto a la protección durante las primeras 24 horas y el curado posterior.

Sobre este último aspecto, la norma IRAM 1524 del año 2015 ha variado levemente respecto a la versión anterior y brinda más alternativas, fundamentalmente en el período de protección en condiciones climáticas extremas y para hormigones de alta resistencia.

En tanto, se recalcan algunos de los errores más frecuentes en obra: marcado superficial de probetas y curado deficiente de las mismas. Cada una de estas fallencias puede influenciar en más de un 30% individualmente en la resistencia a compresión. Dado ello se hace hincapié en la relevancia de estos aspectos y de muchos otros que nunca elevarán la resistencia del hormigón y que, ante cualquier desvío, tenderán a disminuir las resistencias finales.

El moldeo de probetas de hormigón es sencillo. Lo curioso es que en obra aparecen "criterios personales" de cómo controlar el hormigón elaborado, debiendo tener claro que el moldeo, protección y curado de las probetas debe realizarse en un todo de acuerdo a IRAM 1524 para que tengan

validez los ensayos a compresión y para poder cuantificar y medir la calidad del hormigón elaborado despachado.

## SEGUNDO ENSAYO

A su vez, resulta de interés también incorporar el procedimiento completo (moldeo, protección, curado y rotura) de probetas cúbicas de 50 mm de lado. Estas probetas se usan en varias obras para medir la resistencia a compresión de grouts cementíceos y epoxídicos o bien morteros de reparación diseñados en obra, los cuales pueden contener fibras, adiciones, polímeros, etcétera. Si bien en muchos casos estos morteros son autonivelantes y no requieren compactación de las muestras, en otros casos que son de consistencia seca a muy plástica es necesaria la consolidación con una barra de neopreno de elevada dureza, procedimiento muy disímil a las probetas de hormigón convencional. Este aspecto se detalla gráficamente en el procedimiento siguiendo lineamientos de ASTM C109. También se referencia el ensayo a compresión y cuidados que deben tenerse para estas probetas (moldes con perfecto paralelismo y ensamble, dirección de aplicación de las cargas respecto al moldeo, precisión y necesidad de calibración a baja carga de la prensa, etcétera), de modo que los resultados sean confiables y representativos. En caso de desvíos en estos parámetros, la diferencia entre probetas "gemelas" suele ser drástica, con lo cual ciertos controles de moldes y ensayo deben ser supervisados más aún que para probetas cilíndricas de hormigón convencional.

En el próximo número de *Hormigonar* comenzaremos con la temática de ensayos en estado endurecido. Se iniciará la serie con los dos tipos de encabezados más empleados en la práctica: elastómeros y mortero de azufre. «



↗ Varillado de probetas de 10 x 20 cm en cada capa (25 golpes)



↗ Golpes con martillo de goma después de cada capa



↗ Vibrado en dos capas de probetas de 15 x 30 cm



↗ Probetas moldeadas con identificación en fresco (metodo papel)



↗ Tapado con material aislante de probetas durante las primeras 24 horas



↗ Protección específica en cajas y materiales aislantes en tiempo frío



↗ Curado probetas en pileta a temperatura controlada



↗ Adecuada identificación de probetas al día siguiente con marcador indeleble

**1) ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL ENSAYO**

1. Moldes cilíndricos firmes y no absorbentes de 15cm de diámetro y 30cm de altura (o de 10 x 20 cm).
- 1.1 IRAM 1524 establece otros moldes de dimensiones superiores a 15 x 30cm con  $\lambda=2$  (poco usados).
2. Varilla de  $\varnothing$  16 de 60cm de longitud, lisa con extremo en semiesfera (o de  $\varnothing$ 10 de 30 cm de longitud).
3. Para As < 5cm, vibrador de al menos 7000 vibraciones por minuto y entre  $\varnothing$ 19 y  $\varnothing$ 38 mm.
4. Martillo de cabeza no metálica que pese  $600 \pm 200$  gr (es recomendable que sea de goma).
5. Pequeña pala de sección en U compatible con el tamaño de la probeta y fratacho o llana.
6. Recipiente no absorbente o carretilla para colocar la muestra de hormigón fresco.
7. Aceite mineral desmoldante y aplicador para el mismo en la parte interior de los moldes.

**2) MOLDEO DE PROBETAS PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL**

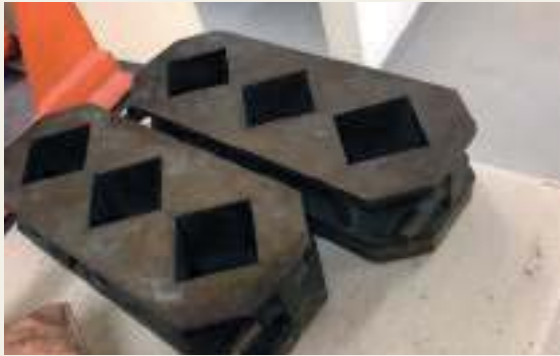
1. Obtener una muestra representativa y remezclarla después de descargar el primer 1/4m<sup>3</sup> del camión.
- 1.1 El requisito anterior puede ser obviado sólo si el ensayo es para autocontrol de calidad en planta.
2. Antes de moldear las probetas, deberá realizarse el ensayo de consistencia del hormigón fresco.
3. Las probetas deben moldearse en el punto más cercano posible a donde serán conservadas.
4. Verificar que los moldes de probetas en su interior estén libres de hormigón viejo (fresco o endurecido).
5. Aceitar (no en exceso) la superficie interna del molde para facilitar el desmolde al día siguiente.
6. Colocar el molde de probeta en una superficie plana, firme y libre de vibraciones.
- 6.1. Deberá prestarse especial atención cuando son mezclas muy fluidas (HAC o RDC).
7. En el caso de probetas de 15 x 30cm deberá tamizarse y eliminar las partículas mayores a 45mm.
8. Para el caso de emplear probetas de 10 x 20cm el hormigón deberá tener un TM de 1" o inferior.
9. Método de compactación manual para probetas 15 x 30cm - Asentamientos igual o mayores  $\geq 5$ cm.
- 9.1 El molde se llenará en tres capas de igual altura (10cm cada una)
- 9.2 Varillar 25 veces uniformemente el hormigón de cada una de las tres capas con la varilla  $\varnothing$ 16.
- 9.3 La primera capa se debe varillar en todo el espesor sin golpear en demasía el fondo.
- 9.4 En la segunda y tercera capa la varilla debe penetrar solo unos 25 mm en la capa anterior.
- 9.5 Llenar la tercera capa de manera que sobresalga hormigón de la parte superior.
- 9.6 Si se advierte que no sobrará hormigón en superficie, se agrega antes de concluir el varillado.
- 9.7 No puede incorporarse hormigón una vez finalizado el varillado, si faltase se descarta el molde.
- 9.8 Después de varillar cada capa, complementar con 10 a 15 golpes del martillo
10. Método de compactación por vibración para probetas de 15 x 30cm - Asentamientos  $\geq 5$ cm.

- 10.1 Se sumergirá el vibrador sin tocar el molde en 2 capas (15cm cada una).
- 10.2 El tiempo de inmersión del vibrador varía entre 5 y 10 segundos aproximadamente en cada capa.
11. Método de compactación manual para probetas 10 x 20cm.
- 11.1 El molde se llenará en dos capas de igual altura (10cm cada una), metodología similar a 15 x 30cm.
- 11.2 Varillar 25 veces uniformemente el hormigón de cada una de las dos capas con la varilla  $\varnothing$ 10.
- 11.3 Después de varillar cada capa, complementar con 10 a 15 golpes del martillo.
12. Método de moldeo para mezclas muy fluidas (hormigones autocompactantes o RDC muy fluidos).
- 12.1 El moldeo se realizará de forma continua, en una capa sin varillado alguno.
- 12.2 En caso de ser necesario, se ayudará con golpes suaves del martillo de goma durante el moldeo.
13. Compactadas las capas, se procede a quitar los excedentes de hormigón enrasando la superficie.
14. El enrase se realizará con el mínimo movimiento posible, no se admiten depresiones de más de 3mm.
- 14.1 En caso de identificarlas en fresco puede utilizarse la técnica del "papel mojado" en la superficie.
15. Con un plástico, bolsa de polietileno u otro no absorbente, se tapa la superficie de la probeta.
16. Se deberá minimizar al máximo la manipulación o transporte de las probetas luego de moldeadas.
- 16.1 Se admite sólo un pequeño transporte al lugar de almacenamiento, realizándolo luego del moldeo.
17. El moldeo de cada probeta debe concluir antes de 2 minutos y medio de iniciado el mismo.

**3) ACONDICIONAMIENTO, PROTECCIÓN Y CURADO DE PROBETAS PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN**

1. Las probetas serán conservadas las primeras 16 a 32 horas dentro del molde a  $21 \pm 6^\circ\text{C}$ .
- 1.1 Para probetas de categorías H-40 y superior la temperatura de protección inicial es de  $23 \pm 3^\circ\text{C}$ .
- 1.2 No deberán ser dejadas al rayo del sol, ni cerca de fuentes de frío o de calor en este período.
- 1.3 En condiciones de tiempo frío o caluroso se colocarán en cajas con tapa y forradas de aislante.
- 1.4 La norma admite la opción de sumergirlas en agua saturada con cal a temperatura controlada.
2. Hay que marcarlas o rotularlas en este momento, después que se desmoldan con marcador de pintura.
3. Luego de estas 16 a 32 horas, se desmoldan y se conservan en pileta o cámara de curado.
4. Hay que limpiar los moldes luego del desmolde para dejarlos listos para próximas probetas.
5. Es imprescindible mantener la temperatura de a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  en la pileta o cámara de curado.
6. La pileta de curado deberá contener agua saturada en cal a razón de 10gr de cal cada 4 litros de agua.
7. Las probetas serán conservadas en la pileta o cámara hasta la edad de ensayo (rotura) de la probeta.





⤴ Moldes cúbicos para morteros de reparación



⤴ Molde para tres probetas cúbicas de 50 mm y pisón de neopreno para compactar mezclas secas y plásticas



⤴ Moldeo para una consistencia muy fluida



⤴ Desmolde a las 24 horas.



⤴ Limpieza y lijado para eliminar rebordes al desmoldar



⤴ Bastidor de prensa calibrada a baja carga para ensayo de grout



⤴ Rotura de probeta cúbica de material de reparación.



⤴ Análisis de rotura (ejemplo de caso con capa débil superior a 5 mm)

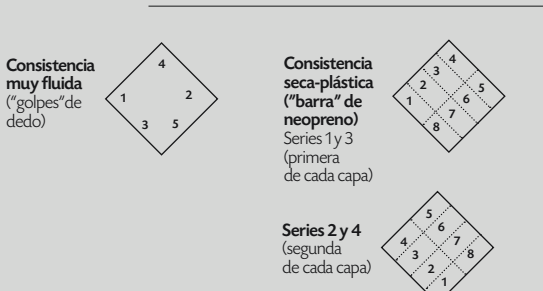
**1) Elementos necesarios para el ensayo**

1. Moldes cúbicos de tres probetas de 2 x 2x 2" ensamblados rígidamente y que permitan su fácil desmolde.
- 1.1 Las partes del molde estarán numeradas o identificadas con letra para garantizar el posicionamiento.
- 1.2 Si se emplea TMN ≤ 10mm (reemplazo de cierto % de grout), las experiencias validan usar estos moldes.
- 1.3. Si se emplea TMN ≥ 12mm, pueden emplearse moldes cúbicos de 3" a 4" o tamizar el agregado grueso.
- 1.4 Probetas 10 x 20 reducen la resistencia (10-15%) y pueden dañar ciertas prensas por su energía liberada.
2. Agente desmoldante (aceite mineral) y pincel para su aplicación
3. Pequeña pala de sección en U compatible con el tamaño de la probeta.
4. Guantes de goma, espátulas, regla, marcadores y otros elementos menores.
5. "Barra" de neopreno duro con sección 13 x 25mm aprox. y 15cm de largo con sus ángulos rectos.
6. Pileta de curado a temperatura entre 21 y 25°C (mismas condiciones que probetas de hormigón).
7. Prensa para ensayos a compresión con rótula esférica superior y resolución mínima de 100 kgf.
8. Calibre digital u otro similar que permita medir las dimensiones de la probeta y registre al menos 0,1mm.

**2) Procedimiento de moldeo, protección y curado de probetas**

1. Obtener una muestra representativa y preferentemente de la mitad del pastón de grout (nunca al inicio).
2. Tomar la muestra en un balde limpio o similar de superficie no absorbente, en cantidad estimada de 1 litro.
3. Verificar que los moldes en su interior estén libres de grout, bien ensamblados y se aceitan con pincel.
4. En función de la consistencia del grout, se procede a determinar el método para moldear las tres probetas.
5. En ambos casos el molde se llenará en dos capas de igual altura (aprox. 25mm cada una).
6. Para el caso de consistencias muy fluidas (como generalmente se emplea) y de aspecto autonivelante.
  - 6.1 La primera capa se compacta con "golpes" de dedo índice con guante de goma en 5 posiciones (Ver).
  - 6.2 Se coloca grout en la segunda capa y se brindan nuevos 5 "golpes" con dedo con guante (Ver secuencia).
7. Para el caso de consistencias secas (dry-pack) o plásticas se realiza otro método de compactación.
  - 7.1 Cada capa se compacta con 2 series de 8 golpes con "barra" de neopreno (Ver), penetrando solo la capa.
  - 7.2 Luego de la compactación de cada capa se dan golpes suaves en las esquinas del molde para nivelarlo.

/ SECUENCIA:



8. Desde la toma de muestras hasta el moldeo de las tres probetas no debe transcurrir más de 5 minutos.
9. Se enrasa superficialmente lo más plano posible, no se marcan el mismo día; y se cubren superficialmente.
10. Los moldes se acondicionarán en una caja forrada con material aislante especialmente preparada.
- 10.1 Esta caja deberá ser colocada en cercanías del elemento y lejos de vibraciones o tránsito de todo tipo.
- 10.2 Sino, puede consensuarse y optarse por llevar la muestra a laboratorio y moldearlas en el mismo.
11. A las 24 hs se desmoldan y marcan indeleblemente con la denominación para lograr trazabilidad.
12. Al desmoldarlo, con la ayuda de una espátula hay que eliminar las pequeñas imperfecciones de aristas.
13. Limpiar adecuadamente el molde para su posterior uso, tanto interna como externamente y reensamblarlo.
14. Se colocan en la pileta de curado a temperatura controlada hasta la edad de ensayo determinada.
15. Se aconseja reservar una parte de la pileta a probetas de grout, para no dañarlas con probetas de H°.

**3) Ensayo a compresión de probetas cúbicas de grouts**

1. Se extraen las probetas del agua en la misma jornada y se las deja al aire una a dos horas.
2. Se verifica que el pistón de la prensa no presente un recorrido de más de 1cm.
3. Se colocan separadores metálicos para lograr que entre la probeta y el plato superior no exceda 1,5cm.
4. Se miden las dos dimensiones perpendiculares en el centro de la probeta, registrando el 0,1mm.
5. Se coloca la probeta con la parte superior (irregular) apuntando hacia el operario sobre los separadores.
- 5.1 Es muy relevante verificar el centrado, fundamentalmente por proyección del eje de la rótula superior.
- 5.2 No se encabezan. En casos específicos podría usarse compuesto de azufre de alta resistencia.
6. Verificar que el indicador de carga de la prensa se encuentre en 0 antes de comenzar a aplicar cargas.
- 6.1 Se deberá poseer algún dispositivo o función para almacenar la carga máxima de rotura.
7. Se aproxima el pistón lentamente hasta que se acomoda la rótula superior.
- 7.1 Se apreciará que apoye el plato superior en toda la superficie en la probeta hasta 1 a 2 tons (10 a 20kN).
8. En probetas de grout de 5 x 5 cm la velocidad será de 140 ± 40Kg/seg (recomendado entre 1 a 1,5KN/seg).
9. Se registra el valor de la carga máxima alcanzada Q en toneladas o KN según la prensa que se posea.
10. Se sugiere que con la probeta en posición, descienda lo máximo posible el pistón para el próximo ensayo.
11. Se descarga la prensa, se quita la probeta ensayada a compresión y se aprecia el tipo de rotura.
12. Resistencia a compresión de la probeta de grout (s cG).

$$\sigma_{cG} = \frac{Q}{\text{Lado x Lado}} \quad \text{Redondear al 0,1MPa}$$

13. El error intraensayo por edad para grupo de tres probetas debe ser ≤ 8,7% y si son dos probetas ≤ 7,6%