

**NORDOM 827 (1<sup>ra</sup>. Rev.)**

CT:97 - 7

Coordinador: Fabio terrero

**Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas de hormigón por su resistencia a la penetración**

# **ANTEPROYECTO**

## **Advertencia**

Este documento no es una Norma Nacional NORDOM. Se distribuye para su revisión y comentarios. Está sujeto a cambios sin previo aviso y no puede ser referido como un Estándar Internacional.

Los destinatarios de este borrador están invitados a enviar, con sus comentarios, la notificación de cualquier derecho de patente relevante del que tengan conocimiento y proporcionar documentación de respaldo.

# Contenido

Prefacio .....	iii
1 Objeto y campo de aplicación.....	1
1.1 Objeto.....	1
1.2 Campo de aplicación.....	1
2 Referencias normativas.....	1
3 Términos y definiciones.....	2
4 Resumen del método .....	2
5 Significado y uso.....	2
6 Equipos .....	2
6.1 Contenedores para las especificaciones de mortero .....	2
6.2 Agujas de penetración.....	3
6.3 Aparato de aplicación de carga.....	3
6.4 Varilla apisonadora .....	3
6.5 Pipeta .....	3
6.6 Termómetro .....	3
7 Muestreo, especímenes de ensayo y unidades de ensayo.....	3
8 Acondicionamiento .....	4
9 Procedimiento .....	5
9.6 Trazado de los resultados.....	6
10 Cálculo .....	7
11 Informe.....	8
11.1 Datos sobre la mezcla de hormigón.....	8
12 Precisión y sesgo .....	8
12.1 Precisión .....	8
12.1.1 Precisión de un solo operador .....	9
12.1.2 Precisión multilaboratorio .....	9
12.2 Sesgo.....	10
Bibliografía .....	14

## Prefacio

El Instituto Dominicano para la Calidad, INDOCAL, es el organismo oficial que tiene a su cargo el estudio y preparación de las Normas Dominicanas, NORDOM, a nivel nacional. Es miembro de la Organización Internacional de Normalización, ISO, Comisión Internacional de Electrotécnica, IEC, Comisión del Codex Alimentarius, Comisión Panamericana de Normas Técnicas, COPANT, representando a la República Dominicana ante estos Organismos.

La norma **NORDOM 827(1<sup>ra</sup> Rev.) Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas de hormigón por su resistencia a la penetración**, ha sido preparada por la Dirección de Normalización del Instituto Dominicano para la Calidad (INDOCAL), siguiendo las reglas de la Directiva INDOCAL ISO/IEC parte 2 :2018: Principios y Reglas para la Estructura y Redacción de Documentos (OD-DNO-001) y el PR-DNO-002 Desarrollo, adopción y revisión de normas dominicanas (NORDOM) y otros documentos normativos.

El estudio de la citada norma estuvo a cargo del **Comité Técnico CTN 91-7 Hormigón y productos de hormigón**, integrado por representantes de los sectores de producción, consumo y técnico, quienes iniciaron su trabajo tomando como base la norma **ASTM C403/C403M-23. Standard Test Method for Time of Setting of Concrete by Penetration Resistance** de la cual partió la propuesta de norma, a ser estudiada en el comité.

Dicha propuesta de norma fue aprobada como anteproyecto por el comité técnico de trabajo, en la reunión **No. 02 de fecha 02 de mayo de 2025** para ser enviada a consulta pública, por un período de 60 días.

Formaron parte del Comité Técnico, las entidades y personas naturales siguientes:

**PARTICIPANTES:**

Anyelo de la Rosa

Eligio Cerdá

Antonio Reyes  
Scarlet Jorge

Radhaisis Montas

Jorge L. Moquete

Francisco Jiménez

Johvanny González

Radhaisis Montas

Karina Rodríguez

Pedro Moreta  
Fabio Terrero

**REPRESENTANTES DE:**

Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones  
(MOPC)

PECA. Ingeniería – Arquitectos - Consultores

Instituto Nacional de Protección de los Derechos  
del Consumidor (Pro Consumidor)

VMO, CONCRETO

Argos Dominicana

Ministerio de la Vivienda y Edificaciones (MIVED)

Ingeniería Estrella

VMO, CONCRETO

Cementos Cibao

Instituto Dominicano para la Calidad (INDOCAL)



# Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas de hormigón por su resistencia a la penetración

## 1 Objeto y campo de aplicación

### 1.1 Objeto

Esta norma establece el método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del hormigón, con asentamiento mayor de cero, mediante mediciones de la resistencia a la penetración de mortero tamizado de la mezcla de hormigón.

### 1.2 Campo de aplicación

**1.2.1** Este método de ensayo se aplica para cualquier tipo de mortero, incluso de relleno

**1.2.2** Este método de ensayo es aplicable tanto en condiciones controladas de laboratorio como en condiciones de la obra.

**1.2.3** Este método de ensayo puede aplicarse a morteros y lechadas preparados

**1.2.4** Esta norma no pretende considerar todos los riesgos asociados a la seguridad, si existieran, asociados al hormigón. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de seguridad, y salud; y determinar la aplicación de las limitaciones reglamentarias ante su uso. Así como la prevención de riesgos de contaminación al medio ambiente, en la manipulación y disposición de los residuos de cada una de las pruebas o ensayos realizados.

**1.2.5** Este método de ensayo solo adecuado cuando los ensayos de la fracción de mortero proporcionen la información requerida.

**1.2.6** Los valores indicados en unidades del SI o en unidades pulgada-libra deberán ser considerados como los estándares. Los valores indicados en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes. Por lo tanto, cada sistema deberá ser utilizado independientemente del otro. La combinación de los valores a partir de los dos sistemas puede resultar en no conformidad de esta norma.

## 2 Referencias normativas

Los siguientes documentos se mencionan en el texto de tal manera que parte o todo su contenido constituyen requisitos de este documento. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha, se aplica la última edición del documento referenciado (incluidas las enmiendas).

NORDOM 100, Sistema internacional de unidades

NORDOM 635, Terminología y definiciones relacionadas al hormigón y agregados de hormigón

NORDOM 696, Método de ensayo para determinar el asentamiento del hormigón

NORDOM 721, Hormigón fresco. Toma de muestra

NORDOM 747, Elaboración y curado de especímenes de hormigón en laboratorio

NORDOM 749, Determinación del contenido de aire en hormigón. Método volumétrico

NORDOM 794, Determinación del contenido de aire del hormigón fresco por el método de la presión

ASTM C125, Terminología relativa al hormigón y los áridos del hormigón

ASTM C670, Práctica para la preparación de declaraciones de precisión y sesgo para métodos de ensayos de materiales de construcción

ASTM C802, Práctica para la realización de un programa de ensayos interlaboratorios para determinar la precisión de los métodos de ensayo de materiales de construcción

ASTM D1558, Método de ensayo. Determinación de la relación entre el contenido de humedad y la resistencia a la penetración en suelos de grano fijo

ASTM E11, Tela de alambre y tamices usados para ensayos. Especificaciones

ASTM E2251, Termómetros ASTM de líquido en vidrio, con líquidos de precisión de bajo riesgo

### **3 Términos y definiciones**

Para los términos y definiciones de esta norma se utilizarán los dados en la NORDOM 635 y ASTM C125.

### **4 Resumen del método**

Se obtiene una muestra de mortero por el tamizado de una muestra representativa de hormigón recién mezclado. El mortero se coloca en un recipiente y se almacena a una temperatura ambiente especificada. A intervalos regulares se mide la resistencia a la penetración del mortero con agujas normalizadas. Se hace una gráfica de la resistencia a la penetración en función del tiempo transcurrido, de la cual se determinan los tiempos de fraguado inicial y de fraguado final.

### **5 Significado y uso**

**5.1** Dado que el fraguado del hormigón es un proceso gradual, cualquier definición de tiempo de fraguado es necesariamente arbitraria. En este método de ensayo, se usan los tiempos requeridos para alcanzar valores especificados de resistencia a la penetración, como tiempos de fraguado.

**5.2** Este método puede ser usado para determinar efectos de variables tales como, el contenido de agua, marca, tipo y cantidad de material cementante, o de aditivos, sobre el tiempo de fraguado del hormigón. Este método de ensayo también puede ser usado para determinar el cumplimiento con los requisitos de tiempo de fraguado especificados.

**5.3** Este método de ensayo también puede ser aplicado a morteros y rellenos preparados. Sin embargo, cuando se requiere del tiempo de fraguado del hormigón, el ensayo deberá ser efectuado en el mortero tamizado de la mezcla de hormigón y no sobre una muestra de mortero preparado con el propósito de simular la fracción de mortero del hormigón. Se ha comprobado que los tiempos de fraguado inicial y final pueden incrementarse cuando se usa un mortero preparado.

### **6 Equipos**

#### **6.1 Contenedores para las especificaciones de mortero**

Los contenedores deberán ser rígidos, herméticos, no absorbentes, libres de aceite o de grasa, y pueden ser cilíndricos o rectangulares en sección transversal. Se deberá contar con un área de superficie de mortero suficiente para que se puedan hacer 10 lecturas de resistencia a la penetración de acuerdo con los requisitos de distancias libres entre lecturas especificadas en el procedimiento de ensayo. La

dimensión lateral deberá ser de por lo menos 152 mm (6 in) y la altura debería ser de por lo menos 152 mm (6 in).

## 6.2 Agujas de penetración

Se deberán tener agujas que puedan ser acopladas al aparato de carga y que tengan las siguientes áreas de contacto: (645, 323, 161, 65, 32 y 16) mm<sup>2</sup> (1, 1/2, 1/4, 1/10, 1/20 y 1/40) in<sup>2</sup>. Cada espiga de las agujas debe ser marcada circunferencialmente a una distancia de 25 mm (1 in) del área de contacto. La longitud de la aguja de 16 mm<sup>2</sup> (1/40 in<sup>2</sup>) no deberá ser mayor de 90 mm (3½ in).

## 6.3 Aparato de aplicación de carga

Deberá proporcionarse un dispositivo para medir la fuerza requerida para causar la penetración de las agujas. Este dispositivo deberá ser capaz de medir la fuerza de penetración con una exactitud de  $\pm 10$  N ( $\pm 2$  lbf) y deberá tener una capacidad de por lo menos 600 N (130 lbf).

NOTA Un aparato de carga adecuado puede ser uno del tipo de resorte de reacción que se describe en ASTM D1558, o bien de otros tipos con un dispositivo calibrado para la medición de la fuerza, tal como una celda de carga a un manómetro de presión hidráulica.

## 6.4 Varilla apisonadora

La varilla apisonadora será una varilla de acero redonda y recta de 16 mm (5/8 in) de diámetro y de aproximadamente 600 mm (24 in) de longitud, que tenga el extremo de apisonar a ambos extremos redondeados en una punta semiesférica cuyo diámetro sea de 16 mm (5/8 in).

## 6.5 Pipeta

Una pipeta u otro instrumento apropiado para extraer agua de exudación de la superficie del espécimen de ensayo.

## 6.6 Termómetro

El termómetro deberá ser capaz de medir la temperatura del mortero recién mezclado con una aproximación de  $\pm 0.5$  °C ( $\pm 1$  °F). Se consideran satisfactorios los termómetros ASTM de líquido en vidrio que tengan un rango de temperatura de -20 °C a 50 °C (0 °F a 120 °F) y que cumpla con los requisitos del Termómetro 97 °C (o 97 °F), prescritos en la especificación ASTM E2251. Otros termómetros de la exactitud requerida, incluidos los metálicos del tipo de inmersión, también son aceptables.

# 7 Muestreo, especímenes de ensayo y unidades de ensayo

**7.1** Para los ensayos en condiciones de la obra, se preparan tres especímenes de mortero de cada muestra de hormigón.

**7.2** Para los ensayos bajo condiciones de laboratorio, los requisitos dependerán del propósito de los ensayos:

**7.2.1** Para los ensayos que tengan el propósito de establecer el cumplimiento del material con determinados requisitos de desempeño, se hacen por lo menos tres amasadas diferentes de hormigón para cada variable bajo investigación, y se efectúa un tiempo de fraguado por cada amasada. Se hacen un número igual de amasadas para cada variable para un día cualquiera. Cuando sea posible realizar por lo menos un ensayo por cada variable en un día cualquiera se recomienda mezclar la serie completa de amasadas en la menor cantidad de días que sea posible, y repetir una de las amasadas cada día como estándar de comparación.

**7.2.2** Para otros ensayos, se preparan tres especímenes de ensayo de una amasada de hormigón por cada variable de ensayo.

**7.3** Se registra el tiempo en que se produce el contacto inicial entre el cemento y el agua de mezcla.

**7.4** Para los ensayos bajo condiciones de obra, se obtiene una muestra representativa del hormigón, de acuerdo con la NORDOM 721. Para los ensayos bajo condiciones de laboratorio, se hace el hormigón de acuerdo con la NORDOM 747. Se determina y se registra en el hormigón recién mezclado, el asentamiento de acuerdo con el método de ensayo de NORDOM 696, y el contenido de aire del hormigón de acuerdo con NORDOM 749 o con el método de ensayo NORDOM 794.

**7.5** Del hormigón no usado para los ensayos de asentamiento y de contenido de aire, se selecciona una muestra representativa de suficiente volumen para proveer la cantidad de mortero necesaria para llenar el contenedor o contenedores a una profundidad de por lo menos 140 mm (5½ in).

**7.6** Luego se obtiene la muestra de mortero por tamizado en húmedo de la porción seleccionada de hormigón, a través de un tamiz de 4.75 mm y sobre una superficie no absorbente, de acuerdo con NORDOM 721.

**7.7** Se remezcla completamente el mortero por método manual sobre la superficie no absorbente, se mide y se registra la temperatura del mortero. Se coloca el mortero en el contenedor o contenedores, en una sola capa. Se consolida el mortero para eliminar las burbujas de aire en el espécimen y se nivela la superficie. Esto puede lograrse oscilando el contenedor hacia adelante y hacia atrás sobre una superficie sólida, golpeando los lados del contenedor con la varilla apisonadora, varillando el mortero o colocando el contenedor en una mesa vibratoria (véase Nota). Si se usa varillado, se apisona el mortero con el extremo semiesférico de la varilla apisonadora. Se apisona el mortero una vez por cada 645 mm<sup>2</sup> (1 in<sup>2</sup>) de área de la superficie superior del espécimen y se distribuyen los golpes uniformemente en toda la sección transversal del espécimen. Después de completado el varillado, se golpean ligeramente los lados de los contenedores para cerrar los vacíos que deja el varillado y para ayudar en la nivelación de la superficie del espécimen. Después de completar la preparación del espécimen, la superficie del motero debería quedar a por lo menos 12.7 mm (½ in) bajo el borde superior del contenedor, para proveer espacio para la recolección y remoción del agua de exudación y así evitar el contacto entre la superficie del mortero y el recubrimiento protector especificado en el capítulo 8.

**NOTA** El mortero tamizado es generalmente de consistencia fluida y las burbujas de aire son fácilmente removidas por los métodos de capacitación enumerados. El usuario debe ejecutar su criterio en la selección del método de compactación. El mover el recipiente o golpear los lados deberá ser suficiente para morteros fluidos. El apisonado o la mesa vibratoria pueden ser deseables para mortero secos. Cuando se use una mesa vibratoria, se debe aplicar vibración de baja amplitud de modo que las partes de la muestra no sean expulsadas del recipiente.

## **8 Acondicionamiento**

**8.1** Para los ensayos bajo condiciones de laboratorio la temperatura de almacenaje de los especímenes debe estar dentro del rango de 20 °C a 25 °C (68 °F a 77 °F), o como sea especificado por el usuario.

**8.2** Para los ensayos bajo condiciones de obra, los especímenes se almacenan a la temperatura ambiente, o como lo especifique el usuario. Los especímenes deberán quedar protegidos de la luz solar directa.

**8.3** Se mide y se registra la temperatura del aire ambiental al principio y al final del ensayo. Para prevenir una evaporación excesiva de la humedad, se mantienen los especímenes cubiertos con algún material adecuado, como una franela húmeda, o una tapadera ajustada e impermeable, por el periodo de duración del ensayo, excepto cuando se esté removiendo el agua exudada o se estén haciendo los ensayos de resistencia a la penetración.

## 9 Procedimiento

**9.1** Justo antes de ejecutar el ensayo de penetración, se remueve el agua de exudación de la superficie de los especímenes de mortero por medio de una pipeta u otro instrumento adecuado. Para facilitar la recolección del agua de exudación se inclina el espécimen cuidadosamente con un ángulo de 10° con respecto a la horizontal, colocando un bloque bajo uno de los extremos, unos 2 min antes de la remoción del agua.

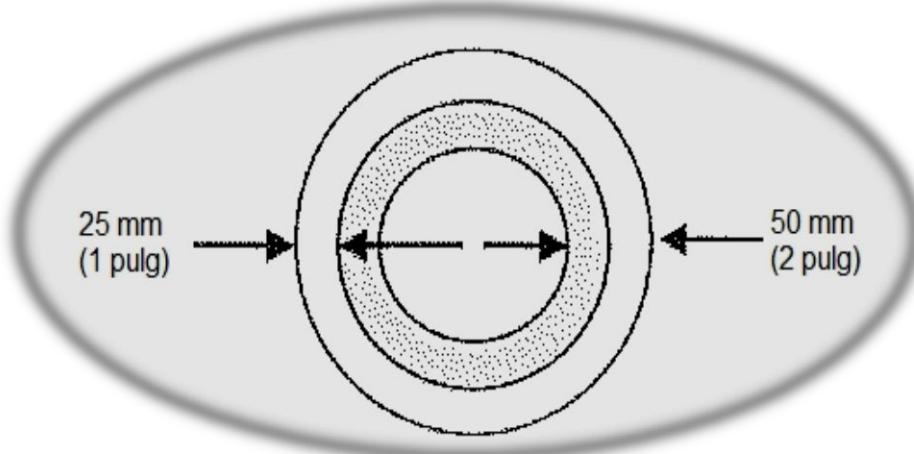
**9.2** Se inserta una aguja de tamaño apropiado en el aparato de resistencia a la penetración, dependiendo del grado de endurecimiento del mortero, y se lleva la superficie de apoyo de la aguja en contacto con la superficie del mortero. Luego se aplica gradual y uniformemente una fuerza hacia abajo en el aparato hasta que la aguja penetra el mortero hasta una profundidad de  $25 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$  ( $1 \text{ in} \pm 1/16 \text{ in}$ ), como se indica por la marca en la aguja. (véase Nota 2). El tiempo requerido para penetrar la profundidad de 25 mm (1 in) debe ser de  $10 \text{ s} \pm 2 \text{ s}$ . Se registra la fuerza requerida para producir la penetración de 25 mm (1 in), y el tiempo de la aplicación, medido como el tiempo transcurrido después del contacto inicial del cemento con el agua.

NOTA Para facilitar la determinación de cuando se ha alcanzado la penetración requerida, puede adosarse a la espiga de la aguja un marcador deslizante. Por ejemplo, se puede poner una cinta adhesiva o un sujetapapeles en la espiga, de modo que coincida con la marca inscrita en la espiga. Este marcador no deberá interferir con la penetración de la aguja en el mortero. La posición del marcador debe ser comprobada antes de efectuar una penetración.

**9.3** Se calcula la resistencia a la penetración, dividiendo la fuerza aplicada, por el área de apoyo de la aguja, y se registra la misma como resistencia a la penetración. En los subsiguientes ensayos de penetración debe tenerse el cuidado de evitar áreas donde el mortero haya sido alterado por ensayos previos. La distancia libre entre las impresiones de la aguja deberá ser como mínimo de dos diámetros de la aguja que se esté usando, pero no menor de 12.7 mm ( $\frac{1}{2} \text{ in}$ ). La distancia libre entre cada impresión de la aguja y el borde del contenedor debería ser de por lo menos 25 mm (1 in) pero no mayor que 50 mm (2 in) como se indica en la Fig.1.

NOTA 1 Para un recipiente cilíndrico con un diámetro exterior mínimo permitido de 152 mm (6 in), el operador puede esperar razonablemente realizar aproximadamente ocho penetraciones antes de impactar las penetraciones anteriores. Esto se basa en el uso de agujas con las siguientes áreas superficiales:  
[13] 1 a  $1/2$ , [6] 2 a  $1/4$ , [2.5] 2 a  $1/10$ , [1.3] 2 a  $1/20$  y [0.6] 1 a  $1/40$  [ $\text{mm}^2$ ],  $\text{in}^2$ .

NOTA 2 Para facilitar la determinación de cuando se ha alcanzado la penetración requerida, puede adosarse a la espiga de la aguja un marcador deslizante. Por ejemplo, se puede poner una cinta adhesiva o un sujetapapeles en la espiga, de modo que coincida con la marca inscrita en la espiga. Este marcador no debe interferir con la penetración de la aguja en el mortero. La posición del marcador debe ser comprobada antes de efectuar una penetración.



**NOTA** El área oscura define donde se permiten las penetraciones

**Figura 1 Vista desde arriba del espécimen de ensayo**

**9.4** Para mezclas convencionales de hormigón en el laboratorio a temperaturas de 20 °C a 25 °C (68 °F a 77 °F), se hace el ensayo inicial de penetración después de transcurrido un tiempo de 3 h a 4 h luego del contacto inicial entre el cemento y el agua. Los ensayos subsiguientes se hacen a intervalos de  $\frac{1}{2}$  h a 1h. Para mezclas de hormigón que contengan acelerantes o a temperaturas más altas que las del laboratorio, se recomienda hacer el ensayo inicial de 1 h a 2 h, y los ensayos subsiguientes a intervalos de  $\frac{1}{2}$  h. Para mezclas de hormigón con retardantes o temperaturas más bajas que las del laboratorio el ensayo inicial puede ser diferido hasta después de transcurrido un tiempo de 4 h a 6 h. En todos los casos los intervalos de tiempo entre los ensayos subsiguientes pueden ajustarse conforme se requiera dependiendo de la velocidad de fraguado, hasta obtener el número requerido de penetraciones.

**9.5** Se deberán hacer por lo menos seis penetraciones para cada ensayo de tiempo de fraguado, con intervalos de tiempo de tal duración que produzca una curva satisfactoria de resistencia a la penetración en función del tiempo transcurrido (ver Nota). Luego se continúa el ensayo hasta obtener por lo menos una lectura de resistencia a la penetración que iguale o exceda de 27.6 MPa (4 000 lb/in<sup>2</sup>).

**NOTA** Una curva satisfactoria es una que representa el desarrollo total de la resistencia a la penetración e incluye puntos antes y después de los tiempos de fraguado inicial y de fraguado final, para mejorar la exactitud de las interpolaciones requeridas. Para mezclas de hormigón de fraguado normal, los puntos de ensayo son espaciados a intervalos de tiempo iguales. Un ensayo con penetraciones prematuras dará por resultado muchos puntos antes que el tiempo inicial de fraguado. Esto además puede disminuir la exactitud del tiempo estimado de fraguado por la desviación de la curva de mejor ajuste cuando se usa el análisis de regresión para analizar los datos de la resistencia a la penetración.

## **9.6 Trazado de los resultados**

Para el trazado de los resultados y la obtención de los tiempos de fraguado (véase Nota) puede usarse algunos de los procedimientos alternativos indicados a continuación. El Anexo A1 ilustra la aplicación de estos procedimientos.

**NOTA** El trazado de la resistencia a la penetración en función del tiempo transcurrido provee información sobre la velocidad del fraguado. El trazado puede ser usado para seleccionar el tiempo para los ensayos subsiguientes de penetración y puede ayudar en la identificación de resultados adulterados. Por lo tanto, se recomienda que los datos sean ploteados conforme se van obteniendo.

**9.6.1** El siguiente procedimiento de trazado, se usa para determinar los tiempos de fraguado por el ajuste manual de una curva uniforme a través de los datos obtenidos, se prepara un gráfico con la resistencia a la penetración como ordenada en función del tiempo transcurrido como abscisa, usando una escala tal que 3.5 MPa (500 lb/in<sup>2</sup>) y 1 h sean representadas por una distancia de por lo menos

12.7 mm ( $\frac{1}{2}$  in). Se grafican los valores de resistencia a la penetración como una función del tiempo transcurrido.

**9.6.2** El siguiente procedimiento de trazado se usa para determinar los tiempos de fraguado por un análisis de regresión lineal de los logaritmos de los datos obtenidos, usando una calculadora adecuada. Se usa un papel logarítmico (log-log) para preparar el gráfico de la resistencia a la penetración como ordenada, en función del tiempo transcurrido como la abscisa. Los límites de la resistencia a la penetración en la ordenada se extienden desde 0.1 MPa (10 lb/in<sup>2</sup>) hasta 100 MPa (10 000 lb/in<sup>2</sup>) y los límites del tiempo transcurrido en la abscisa se extienden de 10 min a 1 000 min. Grafique los valores de la resistencia a la penetración en función del tiempo transcurrido, (véase nota del apartado 9.5).

**9.6.3** El siguiente procedimiento de trazado se usa, cuando se cuenta con una computadora para el trazado de los resultados de ensayo y la obtención de los tiempos de fraguado, por un análisis de regresión de los datos obtenidos conforme se van haciendo los ensayos, se ingresan los datos de tiempo transcurrido y de resistencia a la compresión en la computadora y se plotean la resistencia a la compresión como ordenada y el tiempo transcurrido como abscisa. Usando un programa que permite el análisis lineal de regresión, se convierten los datos a sus logaritmos. Luego por los datos de logaritmos, se ajusta una línea recta (ver ecuación 1).

$$\text{Log}(PR) = a + b \text{ Log}(t) \quad (1)$$

Donde:

$PR$  es la resistencia a la penetración.

$t$  es el tiempo transcurrido.

$a$  y  $b$  son constantes de regresión.

**9.6.3.1** Los datos no necesariamente deberán ser convertidos a logaritmos si el programa permite el ajuste directo de una función de potencia:

$$PR = ct^d \quad (2)$$

Donde:

$c$  y  $d$  son constantes de regresión.

**9.6.4** Los procedimientos dados en (apartados 9.6.2 y 9.6.3) asumen que los datos cumplen con las ecuaciones (1) o (2). Se deberá verificar que los datos efectivamente cumplan una de estas relaciones. Si el coeficiente de correlación del análisis de regresión, después de remover los valores atípicos, (véase Nota 1 del apartado 10.1) es menor de 0.98, se recomienda usar el procedimiento del apartado 9.6.2.

## 10 Cálculo

**10.1** Para cada variable bajo investigación, se trazan separadamente los resultados de tres o más ensayos de tiempo de fraguado. Para cada trazado preparado como se indica en apartado 9.6.1 se ajusta a mano una curva uniforme a través de los puntos de los datos. Para cada trazado preparado de acuerdo con (apartados 9.6.3 y 9.6.4). Se usa el método de mínimos cuadrados para obtener las constantes de la mejor relación obtenida de las ecuaciones (1) o (2), según sea aplicable. Se deberán descartar los puntos de datos que obviamente son atípicos de la tendencia definida por el resto de los puntos.

NOTA Los valores atípicos pueden ocurrir por factores tales como: interferencias debido a partículas grandes en el mortero; Presencia de vacíos grandes en la zona de penetración; interferencias de las impresiones

creadas por penetraciones adyacentes; errores debidos al no mantener el instrumento perpendicular a la superficie de ensayo; errores en la lectura de las cargas; variaciones en las profundidades de penetración; o variaciones en la velocidad de aplicación de la carga. Se requiere del buen juicio del operador para identificar estos puntos atípicos que no deben de incluirse en el análisis de los datos.

**10.2** Para cada trazado, se determinan los tiempos de fraguado inicial y de fraguado final como los tiempos a los cuales la resistencia a la penetración es de 3.5 MPa (500 lb/in<sup>2</sup>) y 27.6 MPa (4 000 lb/in<sup>2</sup>) respectivamente. Para los trazados realizados de acuerdo con apartado 9.6.1, se determinan los tiempos de fraguado por inspección visual de las curvas dibujadas. Para los trazados hechos de acuerdo con (apartados 9.6.2 y 9.6.3) se determinan los tiempos de fraguado por interpolación usando la ecuación de regresión de mejor ajuste. Los tiempos de fraguado se registran en horas y minutos con aproximación a los 5 min más cercanos.

**10.3** Para cada variable bajo investigación se calculan los tiempos de fraguado inicial y final como los valores promedio de los valores de los resultados de ensayos individuales. Se registran los tiempos promedio en horas y minutos, con aproximación a los 5 minutos más cercanos.

## 11 Informe

### 11.1 Datos sobre la mezcla de hormigón

Cantidades (en masa) de los materiales cementantes, agregado fino y agregado grueso por metro cúbico (yarda cúbica) de hormigón. Tamaño nominal máximo del agregado, y la relación agua-cemento o agua-materiales cementantes:

- 11.1.2** La designación, tipo y cantidad de aditivos usados.
- 11.1.3** El contenido de aire del hormigón recién mezclado y el método usado para determinarlo.
- 11.1.4** Asentamiento del hormigón.
- 11.1.5** Temperatura del mortero después del tamizado.
- 11.1.6** Registro de la temperatura ambiente durante el período de ensayo del hormigón.
- 11.1.7** Fecha del ensayo.

**11.2** Resultados de los tiempos de fraguado. Se da la siguiente información sobre los ensayos de tiempos de fraguado:

**11.2.1** El gráfico del trazado de la resistencia a la penetración, en función del tiempo transcurrido, para cada ensayo de tiempo de fraguado.

**11.2.2** Los tiempos de fraguado inicial y fraguado final para cada ensayo, informados en horas y minutos con aproximación de un minuto.

**11.2.3** Los tiempos promedios de fraguado inicial y fraguado final para cada condición de ensayo, informados en horas y minutos, a los 5 min más cercanos.

## 12 Precisión y sesgo

### 12.1 Precisión

**NOTA** Los valores de precisión se obtuvieron de un estudio interlaboratorios en diez laboratorios y tres mezclas de hormigón. El tiempo promedio de fraguado inicial osciló entre 230 min y 470 min, y el tiempo promedio de fraguado final, entre 310 min y 580 min. Cada operador realizó dos determinaciones repetidas en muestras de

cada mezcla. Los tiempos de fraguado se determinaron mediante análisis de regresión, como se describe en A1.3. Los datos se obtuvieron utilizando el aparato descrito en la versión en pulgadas-libra de este método de ensayo.

### 12.1.1 Precisión de un solo operador

Los coeficientes de variación de un solo operador se muestran en la Tabla 1. No se espera que los resultados de dos pruebas realizadas correctamente por el mismo operador con el mismo material difieran en más de los valores mostrados en la tercera columna de la Tabla 1, como porcentaje de su promedio. Para tres determinaciones de prueba con el mismo lote, el rango (diferencia entre el valor más alto y el más bajo) de los resultados obtenidos por el mismo operador excedan los valores que se muestran en la cuarta columna de la Tabla 1, como porcentaje de su promedio.

Tabla 1 – Precisión de un solo operador

Tiempo de fraguado	Desviación estándar de un solo operador %	Diferencia aceptable entre dos resultados, Rango aceptable % <sup>A</sup>	Rango aceptable de tres resultados % <sup>B</sup>
Inicial	1.3	3.6	4.3
Final	1.3	3.6	4.3

<sup>A</sup> Estos valores representan respectivamente los límites ( $d_{2s} \%$ ), como se describen en ASTM C670  
<sup>B</sup> Valores calculados como se describe en la sección “Rango aceptable entre resultados” ASTM C670

NOTA El rango aceptable de tres determinaciones que se muestra en la Tabla 1 no se aplica a tres determinaciones de lotes separados de una mezcla de hormigón.

### 12.1.2 Precisión multilaboratorio

Los coeficientes de variación multilaboratorio se muestran en la Tabla 2. No se espera que los resultados de pruebas realizadas correctamente por dos laboratorios diferentes en muestras de un mismo lote de hormigón difieran en más de los valores que se muestran en la tercera columna de la Tabla 2, expresados como porcentaje de su promedio. Los promedios de tres resultados de ensayos realizados por dos laboratorios diferentes, obtenidos en muestras de un mismo lote del mismo hormigón, difieren en más de los valores indicados en la cuarta columna de la Tabla 2.

**Tabla 2 – Precisión multilaboratorio**

Tiempo de fraguado	Desviación estándar Multi-operadores %	Diferencia aceptable entre dos resultados % <sup>A</sup>	Diferencia aceptable entre los promedios de tres resultados % <sup>B</sup>
Inicial	3.7	10.4	9.8
Final	2.7	7.6	7.0

<sup>A</sup> Estos valores representan respectivamente los límites ( $d_{2s} \%$ ), como se describen en ASTM C670  
<sup>B</sup> Valores calculados como se describe en este capítulo “El resultado del ensayo es el promedio de múltiples determinaciones” como se describe en ASTM C802

## 12.2 Sesgo

El sesgo de este método de ensayo no puede determinarse, ya que los tiempos de fraguado solo pueden definirse en función del propio método de ensayo.

## Anexo A

(informativo)

### Ejemplos ilustrativos

#### A.1 La resistencia a la penetración (*PR*) y el tiempo transcurrido (*t*) de la Tabla A.1.

Se usan para ilustrar los procedimientos para determinar los tiempos de fraguado.

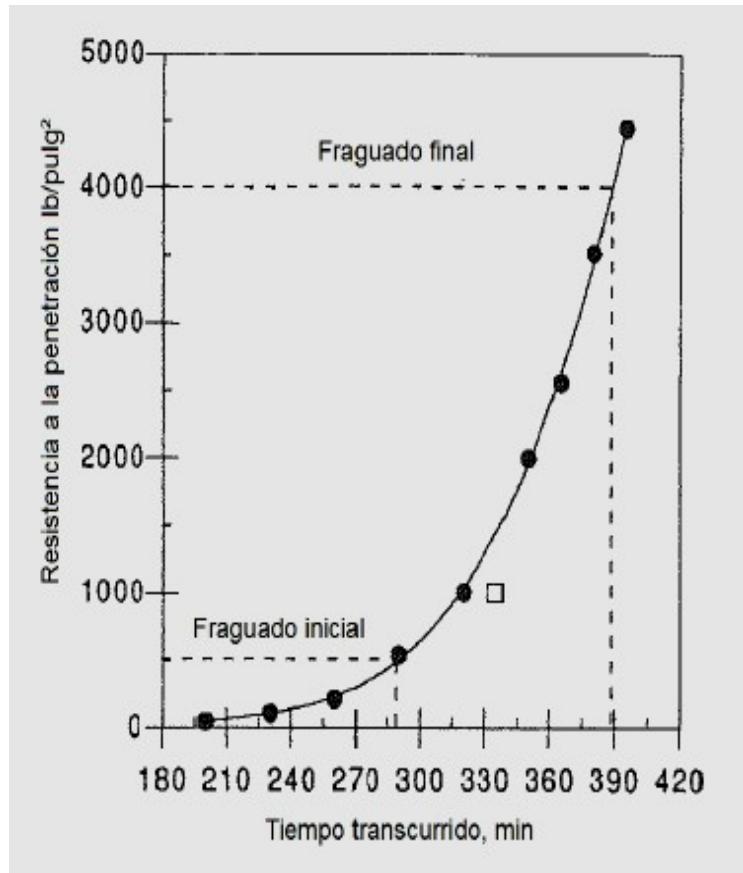
#### A.2 Ajuste manual

La fig. A.1 es un trazado de la resistencia a la penetración en función de los tiempos transcurridos de la Tabla A.1. La curva uniforme fue dibujada a mano usando un dispositivo flexible para dibujo de curvas. La curva fue dibujada buscando el ajuste visual más apropiado para los datos. Se puede notar que la resistencia a la penetración para un tiempo de 335 min es obviamente un valor atípico y que este punto descartado al dibujar la curva de mejor ajuste. Se dibujaron líneas horizontales en los valores de resistencia a la penetración de 3.45 MPa (500 lb/in<sup>2</sup>) y 27.58 MPa (4 000 lb/in<sup>2</sup>). Las intersecciones de estas líneas horizontales con la curva definen los tiempos de fraguado inicial y fraguado final, que para este caso son 289 min y 389 min, respectivamente.

Tabla A.1 – Resistencia a la penetración

Resistencia a la penetración ( <i>PR</i> ) MPa(libra/pulgada <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Tiempo transcurrido ( <i>t</i> ) (min)	Log ( <i>PR</i> )	Log ( <i>t</i> )
0.30316(44)	200	1.643	2.301
0.75790(110)	230	2.041	2.362
1.48824(216)	260	2.334	2.415
3.72060(540)	290	2.732	2.462
6.89000(1 000)	320	3.000	2.505
6.89000(1 000)	335	3.000	2.525
13.78000(2 000)	350	3.301	2.544
17.63840(2 560)	365	3.408	2.562
24.25280(3 520)	380	3.547	2.580
30.59160(4 440)	395	3.647	2.597

<sup>a</sup> MPa = lb/in<sup>2</sup> x 0.00689



**Figura A.1.** Trazado de valores de la resistencia a la penetración en función del tiempo transcurrido y curva de mejor ajuste trazada a mano para determinar el tiempo de fraguado.

NOTA El dibujo no está a escala actual

### A.3 Análisis de regresión

**A.3.1** La Fig. A.2 es un trazado log-log de la resistencia a la penetración en función de los valores de tiempo transcurrido. El trazado indica que, con la excepción del valor atípico, hay una relación que se aproxima a una línea recta, entre los logaritmos de la resistencia a la penetración y el tiempo transcurrido. La línea recta se obtiene por un análisis de regresión lineal usando los logaritmos señalados en las columnas tercera y cuarta de la Tabla A.1. La ecuación para esta línea es:

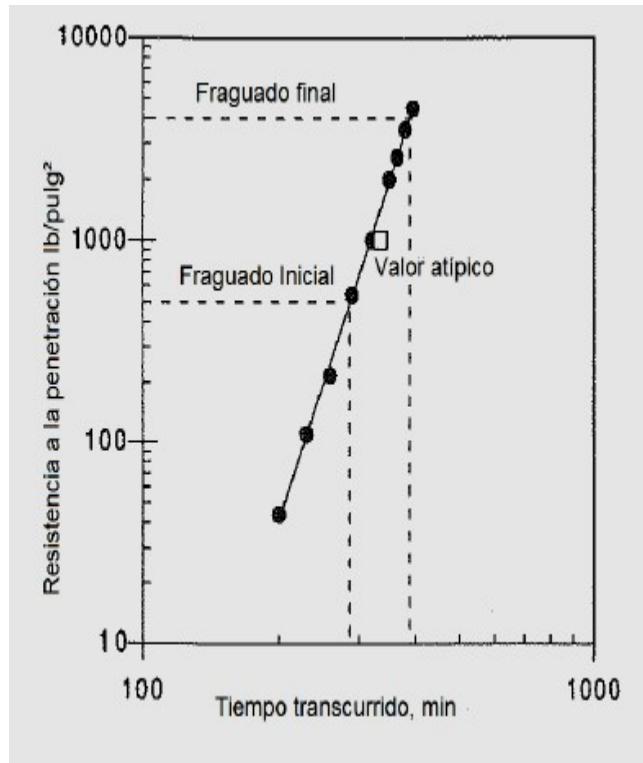
$$\text{Log}(PR) = -14.196 + 6.871 \text{ Log}(t) \quad (\text{A.1})$$

Donde:

$PR$  es la resistencia a penetración.

$t$  es el tiempo transcurrido.

El coeficiente de correlación es 0.999 y por lo tanto es aceptable usar un análisis de regresión lineal.



**Fig. A.2** Trazado log-log mostrando la línea recta para determinar tiempos de fraguado usando el análisis de regresión.

**A.3.2** Para la obtención de tiempos de fraguado la ecuación (A.1) puede ser reescrita así:

$$\log(t) = \log(PR) + 14.196 / 6.871 \quad (\text{A.2}).$$

**A.3.3** Para el tiempo de fraguado inicial se pone el valor de 500 para  $PR$ :

$$\log(t) = \log(500) + 14.196 / 6.871 = 2.699 + 14.196 / 6.871 = 2.458 \quad (\text{A.3}).$$

Por tanto:

$$t = (10)^{2.458} = 287 \text{ min.}$$

**A.3.4** Para el tiempo de fraguado final se pone el valor de 4 000 para  $PR$ .

Donde:

$$\log(t) = \log(4000) + 14.196 / 6.871 = 3.602 + 14.196 / 6.871 = 2.590 \quad (\text{A.4})$$

Por tanto:

$$t = (10)^{2.590} = 389 \text{ min.}$$

## **Bibliografía**

[1] ASTM C403/C403M-23 Standard Test Method for Time of Setting of Concrete by Penetration Resistance