

MEDIDA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A EDAD TEMPRANA Y PROYECCIÓN A UNA EDAD POSTERIOR

INV E – 422 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma cubre un procedimiento para elaborar y curar especímenes de concreto para ser ensayados a una edad temprana. Los especímenes se almacenan bajo condiciones normales de curado y se emplea la historia de la temperatura para calcular un índice de madurez que está relacionado con la ganancia de resistencia.
- 1.2** La norma cubre, también, un procedimiento para usar los resultados de la resistencia temprana para proyectar el potencial de resistencia hacia el futuro.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Resistencia potencial* – Resistencia que debería presentar un espécimen de ensayo a una edad especificada, al ser curado bajo condiciones normalizadas.
- 2.2** *Ecuación de predicción* – Ecuación que representa la línea recta que relaciona la resistencia a la compresión con el logaritmo del índice de madurez.
- 2.2.1** *Comentario* – La ecuación de predicción se usa para proyectar la resistencia de un espécimen de ensayo a partir de su resistencia medida a edad temprana. La forma general de la ecuación usada en este método es la siguiente:

$$S_M = S_m + b \times (\log M - \log m) \quad [422.1]$$

Donde: S_M : Resistencia proyectada al índice de madurez “M”;

S_m : Resistencia a la compresión medida al índice de madurez “m”;

b: Pendiente de la línea;

M: Índice de madurez bajo condiciones normalizadas de curado;

m: Índice de madurez del espécimen ensayado a edad temprana.

Nota 1: La ecuación de predicción se desarrolla realizando ensayos de compresión a diferentes edades, calculando los índices de madurez a dichas edades y dibujando la resistencia a la compresión en función del logaritmo del índice de madurez. Se debe dibujar la línea de mejor ajuste a los datos, y la pendiente de ella se usa en la ecuación de predicción. La ecuación se puede obtener, también, empleando un programa de cómputo.

- 2.3 Resistencia proyectada** – Potencial de resistencia estimado usando la resistencia medida a edad temprana y la ecuación de predicción establecida previamente.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Se preparan y curan especímenes cilíndricos de ensayo de acuerdo con las normas INV E-402 o INV E-420. Se monitorea la temperatura de un espécimen representativo durante el período de curado. Se ensayan los especímenes a la compresión a edades tempranas posteriores a 24 horas y se usa la historia de la temperatura del concreto para calcular el índice de madurez en el instante del ensayo.
- 3.2** Se presenta un procedimiento para obtener una serie de valores de resistencia a la compresión y los correspondientes índices de madurez a diferentes edades. Con los datos obtenidos, se desarrolla una ecuación de predicción, la cual se puede emplear para proyectar las resistencias a edades posteriores, a partir de las medidas a edades tempranas.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** Este método de ensayo brinda un procedimiento para estimar la resistencia potencial de un espécimen particular de ensayo a partir de su resistencia medida a una edad tan temprana como 24 horas. Los resultados de los ensayos a edad temprana dan información sobre la variabilidad de la producción del concreto para emplear durante el proceso de control.
- 4.2** La relación entre la resistencia a edad temprana de los especímenes de ensayo y la resistencia obtenida en algún instante posterior bajo el curado normal,

depende de la composición del concreto. En este método de ensayo, se asume que hay una relación lineal entre la resistencia y el logaritmo del índice de madurez. La experiencia ha demostrado que hay una aproximación aceptable para edades entre 24 horas y 28 días bajo condiciones normales de curado. El usuario de esta norma de ensayo debe verificar que los datos empleados para desarrollar la ecuación de predicción queden representados correctamente por una línea recta. Si la relación no se puede ajustar a una línea recta, el principio de este método es aplicable si se obtiene una ecuación apropiada que represente la relación no lineal.

- 4.3** Las proyecciones de resistencia están limitadas a concretos que empleen los mismos materiales y proporciones del concreto empleado para establecer la ecuación de predicción.

Nota 2: Los intervalos de confianza desarrollados de acuerdo con el numeral 9.2, son útiles para la evaluación de las resistencias proyectadas.

- 4.4** Mediante esta norma no se intenta estimar la resistencia in-situ del concreto. La práctica ASTM C 1074 presenta procedimientos para usar el índice de madurez medido in-situ con el fin de estimar la resistencia in-situ.

5 EQUIPO

- 5.1** Se requieren el equipo y las herramientas menores necesarias para elaborar los especímenes y medir las características del concreto fresco, de acuerdo con las normas INV E-402 o INV E-420.
- 5.2** *Dispositivo para medir la temperatura* – Pueden ser termocuplas o termistores conectados a registradores gráficos continuos o registradores digitales de datos. Para instrumentos digitales, el intervalo de registro debe ser ½ hora o menos durante las primeras 48 horas y de 1 hora o menos con posterioridad. El dispositivo de registro de la temperatura debe tener una exactitud de $\pm 1^\circ \text{C}$ (2°F).
- 5.2.1** Dispositivos alternativos incluyen instrumentos comerciales de madurez que computan y despliegan automáticamente el factor temperatura-tiempo o la edad equivalente, como se indica en la práctica ASTM C 1074.

6 MUESTREO

- 6.1 El muestreo y la medida de las propiedades del concreto fresco se deben realizar de acuerdo con las normas INV E-402 o INV E-420.

7 PROCEDIMIENTO PARA OBTENER LAS RESISTENCIAS TEMPRANAS Y PROYECTADAS

- 7.1 Los especímenes se deben moldear y curar de acuerdo con la norma aplicable entre la INV E-402 y la INV E-420. Se debe anotar el instante en el cual se completa el moldeo de los especímenes.
- 7.2 Se embebe un sensor de temperatura en el centro de uno de los especímenes de concreto muestreado; se activa al dispositivo de registro de la temperatura y se continúa el curado por lo menos durante 24 horas. El registro de la temperatura del concreto se debe mantener durante todo el período de curado.
- 7.3 *Refrentado y ensayo* – Se remueven los especímenes de los moldes tan pronto como resulte práctico después de 24 horas. Se refrentan de acuerdo con las normas INV E-403 o INV E-408.
- 7.3.1 Los materiales de refrentado, si se usan, deben desarrollar a una edad de 30 minutos una resistencia igual o superior que la de los cilindros que se van a ensayar.
- 7.3.2 No se deben ensayar especímenes antes de que se cumplan 30 minutos después del refrentado.
- 7.4 Se determina la resistencia a compresión del cilindro a una edad de 24 horas o posterior, de acuerdo con el procedimiento de la norma INV E-410. Se anotan la resistencia y la edad en el instante del ensayo. La edad del cilindro se debe medir con aproximación a 15 minutos, a partir de instante del moldeo. El valor de resistencia a cada edad será el promedio de los valores obtenidos, al menos, con dos cilindros.
- 7.5 Se determina el índice de madurez en el instante del ensayo usando un instrumento de madurez (nota 3). Se anota el índice de madurez, m , de los especímenes de edad temprana.

Nota 3: Alternativamente, el índice de madurez se puede determinar empleando el procedimiento manual propuesto por Nurse-Saúl y descrito en la práctica ASTM C 1074.

- 7.6** Cuando los datos que representan la resistencia a la compresión y al índice de madurez, m , se van a usar para proyectar la resistencia del concreto a una edad posterior, la resistencia proyectada se deberá determinar usando la ecuación de predicción determinada en la Sección 8.

8 PROCEDIMIENTO PARA DESARROLLAR LA ECUACIÓN DE PREDICCIÓN

- 8.1** Se debe desarrollar una ecuación de predicción para cada concreto a ser usado en la obra. Los especímenes se deben preparar de acuerdo con la norma INV E-402. Se usa el procedimiento descrito en la Sección 7 para obtener valores de resistencia a la compresión y los correspondientes índices de madurez en los instantes de ensayo. Estos datos deben ensayos a 24 h, 3, 7, 14 y 28 días. Si la edad para la cual se va a determinar la resistencia proyectada excede de 28 días, los datos deberán incluir ensayos a la edad posterior deseada (Ver numeral 4.2). La resistencia a cada edad debe ser el promedio de las resistencias medidas, al menos, sobre 2 cilindros.

- 8.1.1** Los datos de campo son aceptables, siempre que ellos suministren toda la información mencionada en el numeral 8.1 y que los especímenes sean curados en acuerdo con el procedimiento normal de curado de la norma INV E-420.

- 8.2** La constante “ b ” usada en la ecuación de predicción se establece usando uno de dos métodos: (1) mediante un análisis de regresión, o (2) por dibujo manual.

- 8.2.1** *Análisis de regresión* – Se determinan los logaritmos de los índices de madurez y se dibuja la relación entre ellos y las resistencias promedios de los cilindros. Se determina la línea de mejor ajuste a los puntos usando un programa de cómputo apropiado. La línea recta tiene la siguiente ecuación:

$$S_m = a + b \log m \quad [422.2]$$

Donde: S_m : Resistencia a la compresión correspondiente a m ;

a : Ordenada al origen;

b: Pendiente de la línea;

m: Índice de madurez.

8.2.1.1 Se dibuja la línea de mejor ajuste sobre el mismo gráfico donde están los datos, para verificar que se ha determinado la ecuación correcta.

8.2.2 *Línea de mejor ajuste manual* – Se prepara una hoja de papel semi-logarítmico con el eje “y” representando la resistencia a la compresión y con el eje “x” (escala logarítmica) representando el índice de madurez (nota 4). Se colocan los puntos representados por los pares de valores resistencia–índice de madurez. Se dibuja una línea recta que, visualmente, minimice las distancias entre los puntos y la línea. La pendiente de la línea es la distancia vertical, medida en unidades de esfuerzo, entre la intersección de la línea con el comienzo y con el final de un ciclo en el eje “x” (Ver Figura 422 - 1). Esta pendiente es el valor “b” a usar en la ecuación de predicción.

Nota 4: La escala para el eje “y” y el número de ciclos en el papel semi-logarítmico se deben escoger de manera que los datos ocupen tanto papel como sea posible. Cuando el índice de madurez se exprese como el factor temperatura–tiempo en grados–hora, pueden ser necesarios 3 ciclos. Si el índice de madurez se expresa como la edad equivalente en horas, basta con 2 ciclos.

8.3 Se usan la constante “b” y la ecuación del numeral 8.2.1 para determinar la resistencia proyectada a partir de los resultados de los ensayos a edad temprana.

Nota 5: Si se desea verificar la exactitud de la primera estimación del valor “b”, se fabrican especímenes duplicados (compañeros) de los que se van a ensayar a temprana edad, se curan de acuerdo con el procedimiento normalizado de la norma INV E-420, se anotan sus historias de temperatura y se ensayan a 28 días. El valor “b” se reestima usando la ecuación:

$$b = \frac{\sum (S - S_m)}{\sum (\log M - \log m)} \quad [422.3]$$

Donde: b: Pendiente de la línea;

S: Resistencia a la compresión medida al índice de madurez M;

M: Índice de madurez correspondiente al ensayo a 28 días;

S_m: Resistencia a la compresión medida al índice de madurez m;

m: Índice de madurez del espécimen ensayado a edad temprana.

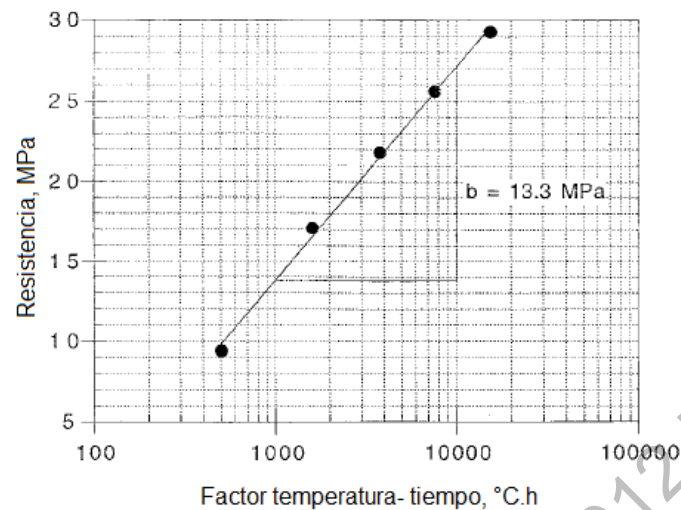


Figura 422 - 1. Ejemplo de datos de resistencia en función del logaritmo del factor temperatura-tiempo y línea de mejor ajuste que representa la ecuación de predicción

9 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

9.1 Como se indica en la Sección 11, la variabilidad de la resistencia a compresión a edad temprana obtenida por este método de ensayo es igual o menor que la obtenida en métodos de ensayo tradicionales. Por lo tanto, los resultados son aplicables para una evaluación rápida de la variabilidad de los procesos de control y señalar la necesidad de ajustes. Se debe tener mucha precaución al usar los resultados de este método de ensayo para predecir el cumplimiento de las especificaciones sobre resistencia a edades posteriores, por cuanto los requisitos de resistencia de las especificaciones y códigos no se basan en los resultados de ensayos a edades tempranas.

9.2 Se desarrolla un intervalo de confianza de un lado para la resistencia proyectada, para uso en la decisión de aceptación. El intervalo de confianza se basa en las diferencias medidas entre las resistencias proyectadas y las medidas a una edad determinada. Usualmente, dicho intervalo se desarrolla para un nivel de confianza de 95 %, y la decisión es aceptar el concreto cuando cumpla la especificación, si se satisface la siguiente condición:

$$S_M > (S_L + K) \quad [422.4]$$

Donde: S_M : Resistencia proyectada a la edad determinada;

S_L : Límite inferior especificado, expresamente la resistencia especificada a la edad determinada.

$$K = \bar{d} + t_{0.95, n-1} \frac{s_d}{\sqrt{n}} \quad [422.5]$$

Donde: \bar{d} : Diferencia promedio entre la resistencia medida y la proyectada.

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n (S_M - S)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i)}{n} \quad [422.6]$$

Donde: S: Resistencia medida después del curado normal hasta la edad determinada;

d_i : Diferencia entre el par "i" de valores de resistencia;

n: Número de pares de valores S_M y S usados en el análisis;

$t_{0.95, n-1}$: Valor de la distribución t al nivel 95 % para n – 1 grados de libertad;

s_d : Desviación estándar de la diferencia entre las resistencias medidas y proyectadas.

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n - 1}} \quad [422.7]$$

10 INFORME

10.1 El informe con los resultados del ensayo a edad temprana debe contener lo siguiente:

10.1.1 Número de identificación del cilindro de ensayo.

10.1.2 Diámetro del cilindro de ensayo, mm (pg.)

10.1.3 Área de la sección transversal del cilindro de ensayo, mm² (pg²).

- 10.1.4** Carga máxima de ensayo sobre el cilindro, N (lbf).
- 10.1.5** Resistencia a la compresión del cilindro, redondeada a 0.1 MPa (10 lbf/pg²).
- 10.1.6** Tipo de fractura del cilindro, si fue diferente de la usual de cono.
- 10.1.7** Edad del cilindro en el instante del ensayo.
- 10.1.8** Temperatura inicial de la mezcla, aproximada a 1° C (2° F).
- 10.1.9** Registros de temperatura.
- 10.1.10** Método de transporte usado para remitir las muestras al laboratorio.
- 10.2** Si los datos de resistencia a edad temprana se usan para proyectar la resistencia a edades posteriores, el informe deberá incluir:
 - 10.2.1** Índice de madurez, *m*, de los especímenes de edad temprana, en el momento de ser ensayados.
 - 10.2.2** La edad de la resistencia proyectada.
 - 10.2.3** La resistencia proyectada, calculada con aproximación a 0.1 MPa (10 lbf/pg²).

11 PRECISIÓN Y SESGO

11.1 *Precisión:*

- 11.1.1** Los datos usados para preparar las siguientes declaraciones de precisión se obtuvieron empleando medidas en el sistema inglés (pulgada – libra).
- 11.1.2** El coeficiente de variación para un solo laboratorio fue 3.6 % para un par de cilindros de 150 × 300 mm fundidos de la misma amasada. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados en el mismo laboratorio sobre dos cilindros individuales hechos con los mismos materiales, no deben diferir en más de 10 % de su promedio.

11.1.3 El coeficiente de variación para un solo laboratorio en días diferentes fue 8.7 % para el promedio de pares de cilindros de 150 × 300 mm fundidos de amasadas realizadas en dos días. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos de resistencia adecuadamente realizados, consistente cada ensayo en el promedio de dos cilindros de la misma amasada en el mismo laboratorio, con los mismos materiales y proporciones y en diferentes días, no deben diferir en más de 25 % de su promedio.

11.2 *Sesgo* – Este método de ensayo no tiene sesgo determinable, por cuanto los valores obtenidos sólo se pueden definir en términos de este método de ensayo.

12 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 918/C 918M – 07