

# El Concreto en la Práctica

## ¿Qué, Por qué y cómo?



## CIP 39 - Madurez del Concreto

### ¿QUÉ es la madurez del concreto?

El concepto de madurez utiliza el principio en que la resistencia del concreto (y otras propiedades) está directamente relacionada con la edad y el desarrollo de su temperatura. Los métodos de madurez proveen una aproximación relativamente simple para estimar de manera confiable la resistencia a compresión (y flexión) del concreto a edad temprana (14 días o menos) en el sitio durante la construcción. El concepto de madurez asume que las muestras de una mezcla de concreto que tengan la misma madurez, tendrán resistencias similares, independientemente de la combinación de tiempo y temperatura con la que se alcance la madurez. El índice de madurez medido en el concreto en el sitio, en función de su desarrollo de temperatura y edad, es utilizado para estimar el desarrollo de la resistencia, basado en una calibración predeterminada de la relación tiempo-temperatura-resistencia desarrollada sobre ensayos de laboratorio para esa mezcla.

### ¿POR QUÉ utilizar los métodos de madurez?

Los métodos de madurez son utilizados como un indicador más confiable de la resistencia del concreto en el sitio durante la construcción, en vez de los ensayos a compresión de cilindros curados en obra. La práctica tradicional de medir la resistencia de los cilindros en obra, curados en las mismas condiciones que la estructura, es usada para programar actividades de construcción tales como: el retiro de las formaletas o el reapuntalamiento, el relleno de muros de contención, programar operaciones de pretensado y postensado, determinar el tiempo para abrir al tránsito en pavimentos y puentes, el corte de juntas, y para establecer cuando deben concluir las medidas de protección en climas fríos.

Los métodos de madurez usan el concepto fundamental de que las propiedades del concreto se desarrollan con el tiempo en la medida que el cemento hidrata y libera calor. La tasa de desarrollo de resistencia a edades tempranas está relacionada con la tasa de hidratación del cemento. El calor generado por la reacción de hidratación se debe registrar como un incremento de temperatura del concreto. La principal ventaja del método de madurez es que usa el perfil de temperatura actual del concreto para estimar su resistencia en el sitio. La práctica tradicional de utilizar los cilindros curados en obra no replica el mismo perfil de temperatura del concreto colocado en el sitio, y probablemente no estima su resistencia con precisión.

Con los métodos de estimación de madurez la información de resistencia es suministrada en tiempo real dado que las mediciones de madurez son realizadas en el sitio en cualquier momento. Como resultado, se optimiza el flujo de trabajo en la construcción, y la programación de las actividades de construcción se pueden basar en una información de resistencia en el sitio más precisa.

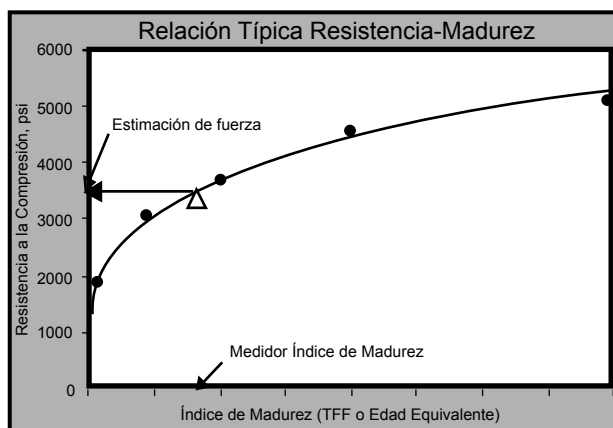


Figura 1: La relación madurez-resistencia con ensayos de laboratorio es usada para estimar en el sitio el índice de madurez.

### ¿CÓMO se usan los métodos de madurez?

El procedimiento para estimar la resistencia del concreto usando los conceptos de madurez se describe en la ASTM C 1074, Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. La relación temperatura-tiempo-resistencia de una mezcla de concreto es desarrollada en base a ensayos de laboratorio. Esto permite establecer una o dos funciones de madurez (tal como se explica abajo) para esa mezcla. Durante la construcción, el índice de madurez se determina con base en las mediciones de temperatura y edad. El índice de madurez es utilizado para estimar la resistencia en el sitio con base en las relaciones preestablecidas de madurez-resistencia. Esto se ilustra en la Figura 1.

El concepto de madurez es gobernado por la suposición de que las muestras de concreto de una determinada mezcla tendrán la misma resistencia cuando tengan el mismo índice de madurez. Por ejemplo un concreto curado a una temperatura de 10°C (50°F) por 7 días puede tener el mismo índice de madurez, que un concreto curado a 27°C (80°F) por 3 días, y en consecuencia tendrían resistencias similares.

La ASTM C 1074 provee dos tipos de funciones de madurez:

La función Nurse-Saul asume que la tasa de desarrollo de resistencia es una función lineal de la temperatura. El índice de madurez es expresado como un factor temperatura-tiempo (FTT) del producto de la temperatura y tiempo en °C-horas o °C-días. El método requiere un valor para el dato de temperatura por debajo del cual se asume que no ocurre hidratación del cemento. La ASTM C 1074 proporciona un procedimiento para determinar este valor para una mezcla de concreto específica o sugiere asumir un valor de 0°C.

La precisión de la predicción Nurse-Saul no es adecuada cuando hay rangos amplios de temperatura de curado, pero su precisión es considerada adecuada para la mayoría de aplicaciones.

La función Arrhenius asume que la tasa de desarrollo de resistencia sigue una relación exponencial con la temperatura. El índice de madurez es expresado en términos de una edad equivalente referida a una temperatura. La edad actual es típicamente normalizada para una edad equivalente a 20°C o 23°C. El valor de la energía de activación es necesario para esta función de madurez. La ASTM C 1074 suministra un procedimiento para determinar la energía de activación o sugiere alternativamente que un valor de 40,000 a 45,000 J/mol es una suposición razonable para un concreto con cemento tipo 1. Utilizando la función de madurez establecida, la edad actual y la temperatura medida, se hace la conversión a una edad equivalente para predecir la resistencia del concreto.

La función Arrhenius es considerada como científicamente más precisa. No obstante, la función Nurse-Saul es más usada por varias agencias estatales de carreteras en los EEUU, debido principalmente a su simplicidad.

El método de madurez involucra los siguientes pasos:

- Determinar una relación resistencia-madurez para la mezcla de concreto a ser usada en la estructura, empleando los materiales y proporciones de mezcla propuestos para el proyecto. Monitorear el desarrollo de la temperatura de los especímenes de prueba empleando termopares introducidos en uno o más de los cilindros. Medir la resistencia a compresión a diferentes edades de cilindros curados en condiciones normales. Estos datos son usados para establecer la función de madurez (Nurse-Saul o Arrhenius).
- Medir el desarrollo de la temperatura del concreto en la estructura, insertando sensores en sitios de la estructura que son críticas en términos de condiciones de exposición y requerimientos estructurales.
- Calcular el índice de madurez con base en el registro de temperatura y edad.
- Estimar la resistencia del concreto en el sitio de obra con base en el índice de madurez calculado y la relación predeterminada resistencia-madurez (Figura 1)

Algunas de las limitaciones de los métodos de madurez que pueden llevar a estimaciones erróneas de la resistencia en el sitio son:

- a. El concreto usado en la estructura no es representativo de aquel usado para los ensayos de calibración en el laboratorio debido a cambios de material, precisión en la preparación, contenido de aire, etc.
- b. Temperaturas elevadas a edad temprana resultarán en una predicción incorrecta de la resistencia a largo plazo.
- c. El concreto debería ser adecuadamente colocado, consolidado y las condiciones de curado deberían permitir la hidratación continua del cemento.
- d. El uso de datos de temperatura o valores de energía de activación que no son representativos de la mezcla de concreto.

Los puntos (a) y (b) antes mencionados, son limitaciones inherentes al método de madurez. La ASTM C 1074 sugiere que deben realizarse ensayos complementarios antes de llevar a cabo operaciones críticas para la seguridad, tales como retiro de encofrado o un postensado. Mientras estos ensayos adicionales no sean siempre requeridos, es una buena práctica verificar periódicamente que la relación madurez-resistencia para el concreto específico es todavía válida. Los métodos sugeridos incluyen:

1. Ensayos no destructivos en el sitio: ASTM C 803 (resistencia a la penetración), ASTM C 873 (cilindros vaciados en el sitio) o ASTM C 900 (resistencia a la extracción).
2. Método de ensayo C 918 que proyecta la resistencia a edad posterior con base en ensayos a edad temprana.
3. Usando curado acelerado de especímenes de ensayo para estimar la resistencia a edad posterior de acuerdo con la ASTM C 684.
4. Ensayos a edad temprana de cilindros elaborados en obra instrumentados con equipos para medir madurez.

Las relaciones resistencia-madurez, los datos de temperatura y la energía de activación son específicos para una mezcla de concreto. En consecuencia cualquier modificación significativa al diseño de mezcla o la fuente de material debe ir acompañada de una recalibración de estos valores.

Varios dispositivos de madurez están disponibles comercialmente y miden de manera continua la temperatura del concreto, calculan la madurez y muestran el índice de madurez digitalmente en cualquier momento. Se pueden monitorear de manera simultánea un número ilimitado de ubicaciones. Es importante seleccionar un sistema que sea confiable, y provea los datos de manera ininterrumpida e inalterada, que soporte la función de madurez que esta siendo usada para el proyecto, y permita ajustes a las constantes de madurez apropiadas.

Es importante tener en cuenta que la madurez no pretende reemplazar el ensayo de testigos curados en condiciones normales. La madurez usada conjuntamente con otros ensayos no destructivos puede reemplazar al ensayo de cilindros curados en obra y facilitar la toma de decisiones para las operaciones de construcción. Puede ser una buena herramienta para el control de calidad, en la medida que se reduce la cantidad de ensayos de resistencia a ser ejecutados. Debido al ensayo de madurez, los proyectos y procesos pueden realizarse más rápidamente, con seguridad y económicamente, como resultado de tener la información correcta en el lugar correcto y en el tiempo correcto.

---

## Referencias

1. ASTM C 1074-04 "Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method", ASTM International, [www.astm.org](http://www.astm.org)
  2. Guide to Non Destructive testing of Concrete, FHWA, Publication No. FHWA-SA-97-105, Sep. 1997, [www.fhwa.dot.gov/pavement/](http://www.fhwa.dot.gov/pavement/)
  3. Significance of Test and Properties of Concrete-Making Materials, ASTM STP 169C, ed. Klieger, P., and Lamond, J.F., 1994, [www.astm.org](http://www.astm.org)
  4. Carino, N.J., "The Maturity Method", Chapter 5 in Handbook on Nondestructive testing of Concrete, 2nd Edition, Malhotra, V.M., and Carino, N.J., Eds., CRC Press Inc, Boca Raton, FL, and ASTM international, 2004.
- 

