



# DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ

**Cómo el método de madurez puede  
ayudarte a ganar en productividad**

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. Resumen ejecutivo</b>	<b>2</b>
<b>2. Retos del hormigón en la construcción</b>	<b>2</b>
<b>3. Desarrollo de la resistencia del hormigón</b>	<b>2</b>
3.1 Rotura de probetas cilíndricas o cúbicas:	3
3.2 Medidores de madurez	3
3.3 Martillo de rebote o martillo Schmidt	4
3.4 Sensores de seguimiento de la madurez	4
<b>4. caso de estudio: Ahorro de tiempo en proyecto en Boston</b>	<b>5</b>
<b>5. Reflexiones finales</b>	<b>6</b>

## 1. RESUMEN EJECUTIVO

**Conocer la resistencia del hormigón en obra puede ser un indicador clave para tomar decisiones en la misma.**

**Este documento ofrece una visión general de cuáles son los retos cuando se trabaja con el hormigón, qué parámetros pueden influir en el desarrollo de la resistencia del hormigón y qué métodos existen para medir su resistencia.**

## 2. RETOS DEL HORMIGÓN EN LA CONSTRUCCIÓN

A lo largo del último siglo, el hormigón armado ha demostrado ser un material versátil para proyectos de construcción de gran complejidad estructural.

Gracias a su capacidad para resistir cargas de tensión y compresión, y al hecho de que puede verterse en una amplia variedad de formas, está claro por qué el hormigón armado se utiliza ampliamente en los proyectos de construcción.

Además, los ingredientes del hormigón son fáciles de conseguir y la mezcla puede ajustarse a las exigencias específicas del proyecto.

Sin embargo, la utilización del hormigón en las obras también puede plantear ciertos retos en la fase de diseño y ejecución:

- Los elementos de hormigón y la armadura de acero deben diseñarse en función de la carga de la estructura.
- Es necesario definir el diseño adecuado de la mezcla de hormigón y, sobre todo, la resistencia final a la compresión.
- Deben tenerse en cuenta las condiciones de la obra, como la temperatura ambiente, las clases de exposición, el encofrado y el método de hormigonado.
- La integridad estructural de todos los elementos de hormigón debe comprobarse durante y después del proceso de construcción.
- El proceso de hormigonado debe estar alineados en el proceso de construcción, que a menudo se ve dificultado por los ajustados calendarios.
- Los cambios imprevistos en la obra afectan a la calidad y al calendario del proyecto.
- Es necesario documentar los datos y las decisiones sobre los procesos de construcción

## 3. DESARROLLO DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

Para retirar el encofrado y las cimbras, o para tensar las losas, es importante que el hormigón en obra haya alcanzado una determinada resistencia a la compresión.

A continuación, se exponen algunos de los métodos que se utilizan para conocer dicha resistencia:

### 3.1 Rotura de probetas cilíndricas o cúbicas:



Rotura de probetas por el método tradicional

Las muestras se toman durante el proceso de vertido del hormigón en la obra.

Después de 24 horas en la obra, las muestras se transportan a un laboratorio local de hormigón para realizar ensayos de rotura a determinados intervalos de tiempo (normalmente a 1, 3, 7, 14 y 28 días).

Los resultados se utilizan para determinar si se ha alcanzado una determinada resistencia.

#### Ventajas:

- Garantiza que la mezcla de hormigón utilizada en el proyecto de construcción ha sido probada en laboratorio
- Indica que la mezcla especificada fue entregada en la obra

#### Desventajas:

- Las probetas de hormigón suelen almacenarse a temperatura constante en laboratorio, mientras que el hormigón en la obra suele alcanzar mayores temperaturas y, por tanto, desarrolla su resistencia más rápidamente.
- Los resultados no están disponibles en "tiempo real". Si no se ha alcanzado la resistencia a la compresión en una rotura determinada, la obra debe esperar hasta la siguiente rotura para tomar una decisión, o bien haber previsto probetas adicionales.

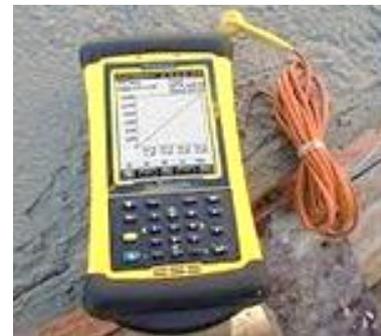
### 3.2 Medidores de madurez

Los medidores de madurez utilizan los datos de temperatura in situ para calcular la madurez del hormigón a través de los datos de calibración de la mezcla de hormigón introducidos por el usuario de antemano.

La mezcla de hormigón se calibra previamente en un laboratorio de hormigón.

Los sensores son sondas cableadas que se fijan a las barras de refuerzo antes de verter el hormigón.

Los medidores de madurez externos se conectan a los cables para recoger datos de temperatura y calcular la resistencia del hormigón en obra. Existen medidores de recogida de datos con cable e inalámbricos.



Sensores cableados con sondas fijadas a las barras de refuerzo

#### Ventajas:

- La temperatura y la resistencia in situ pueden medirse en la obra
- Método no destructivo

#### Desventajas:

- Los cables que sobresalen del elemento de hormigón pueden ser un peligro
- El proyecto debe garantizar la calibración previa de la misma mezcla de hormigón utilizada en la obra. Los cambios imprevistos de la mezcla de hormigón deben notificarse y pueden dar lugar a la necesidad de recalibración

### 3.3 Martillo de rebote o martillo Schmidt



Prueba del martillo Schmidt

El émbolo del martillo golpea la superficie del hormigón y la masa elástica dentro del martillo rebota en función de la dureza de la superficie del hormigón. El número de rebote que puede leerse en el martillo está correlacionado con la resistencia a la compresión.

#### Ventajas:

- Método fácil de usar
- Método no destructivo

#### Desventajas:

- Es necesario calibrar el martillo de rebote. Una herramienta mal calibrada puede dar resultados incorrectos
- Son necesarias varias muestras (unas 12) debido a las variaciones locales en los ensayos de hormigón
- Es importante que el martillo se sostenga en el ángulo correcto con respecto a la superficie al probar el hormigón

### 3.4 Sensores de seguimiento de la madurez

Los sensores son dispositivos inalámbricos totalmente integrados para controlar la temperatura y la resistencia del hormigón

La mezcla de hormigón se calibra previamente en un laboratorio.

Los sensores se activan con una aplicación de software escaneando el código QR antes de la instalación. Los sensores se fijan a las barras de refuerzo antes de verter el hormigón.

La recogida de datos se realiza de forma inalámbrica, ya sea mediante Bluetooth o tecnología de largo alcance.

#### Ventajas:

- Las mediciones de la temperatura y la resistencia del hormigón in situ pueden obtenerse fácilmente de los sensores mediante tecnología Bluetooth o de largo alcance.
- Se pueden establecer alertas para notificar a la obra cuando se alcanza una determinada resistencia del hormigón.
- Las lecturas de los sensores pueden documentarse fácilmente y compartirse con los colaboradores mediante la aplicación o la función de exportación de datos.
- Fácil instalación y activación de los sensores directamente en la barra de refuerzo.

#### Desventaja:

- El proyecto exige que se calibre previamente la misma mezcla de hormigón utilizada en la obra. Los cambios imprevistos de la mezcla de hormigón deben notificarse y pueden hacer necesaria una nueva calibración.



Sensor de hormigón Hilti

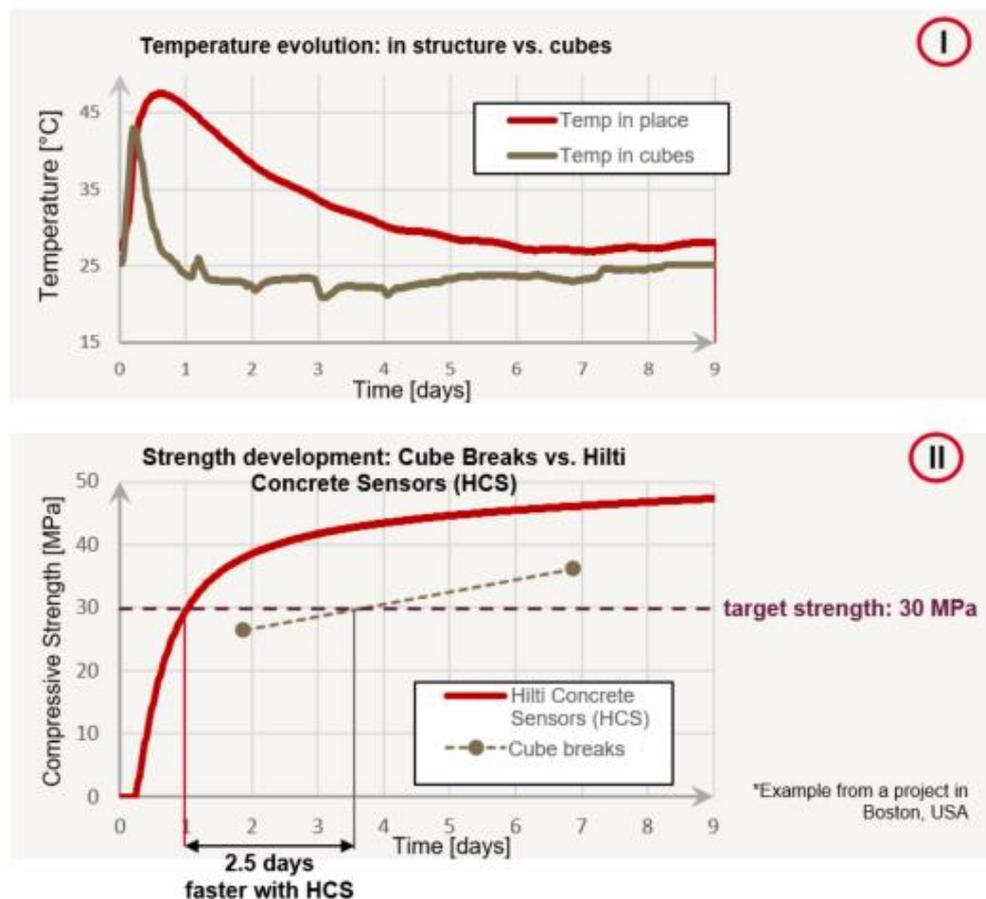
## 4. CASO DE ESTUDIO: AHORRO DE TIEMPO EN PROYECTO EN BOSTON

En el proyecto Kendall Square Initiative SoMa del MIT, en Cambridge (EE.UU.), el ingeniero estructural había determinado que la resistencia a la compresión del hormigón debía alcanzar un mínimo de 30 MPa para poder tensar las cubiertas de PT.

Tradicionalmente, en la obra se utilizaban ensayos de rotura de probetas de hormigón para determinar la resistencia del mismo. Las muestras de hormigón se tomaban del camión hormigonera en la obra y se almacenaban en el laboratorio de hormigón a una temperatura ambiente de unos 22°C.

A los dos días y de nuevo a los siete días, el laboratorio realizaba pruebas de rotura y comunicaba los resultados, representados en un gráfico, a la obra (véase la línea gris del gráfico II).

Siguiendo este método, el hormigón había alcanzado una resistencia a la compresión de 30 MPa al cabo de 3,5 días.



La temperatura ambiente media en la obra era muy superior a los 25 °C y el calendario del proyecto estaba sometido a mucha presión, por lo que el director del proyecto buscó un método que proporcionara una lectura más precisa de la resistencia del hormigón. Posteriormente, se decidió el uso de sensores de hormigón.

La mezcla de hormigón se calibró en el laboratorio de Hilti, donde se obtuvo la curva de referencia o de madurez y se introdujeron en el software.

En la obra, se instalaron sensores de hormigón en las cuatro esquinas y en el centro de la losa. A partir de la lectura de los sensores en las losas, quedó claro que la temperatura en obra era significativamente superior a 25°C, lo que significaba que la losa había alcanzado una resistencia a la compresión de 30 MPa después de sólo un día.

## 5. REFLEXIONES FINALES

Existen numerosos tipos de ensayos para determinar la resistencia del hormigón en proceso de curado, cada una de ellas con sus propias ventajas e inconvenientes.

Como demuestra el caso de estudio de Boston, los sensores de hormigón embebidos permiten a los interesados controlar la madurez de su hormigón en tiempo real en lugar de depender de los datos del laboratorio, que no siempre reflejan lo que está sucediendo en la obra y además no están disponibles en tiempo real.

De este modo, el contratista puede tomar decisiones informadas en obra y ajustar la programación de trabajos en obra de manera más eficiente, como retirar el encofrado o realizar el postesado / pretensado.



Hilti Española S.A.  
Avenida Fuente de la Mora 1  
Madrid, España  
902 100 475

[www.hilti.es](http://www.hilti.es)