



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

Evolución de la resistencia del hormigón con la edad y la temperatura.

Apellidos, nombre	Valcuende Payá, Manuel Marco Serrano, Empar Jardón Giner, Rafael Gil Andrés, Alejandro
Departamento	Construcciones Arquitectónicas
Centro	E. T. S. de Arquitectura



1 Resumen de las ideas clave.

A continuación se va a exponer cual es la **influencia** de la **edad** y la **temperatura** sobre el desarrollo de la **resistencia del hormigón**, en concreto, de su resistencia a compresión, pues es el parámetro de referencia que utilizamos tanto para la designación de un hormigón, como para llevar a cabo las operaciones de control de calidad sobre un hormigón puesto en obra.

Asimismo, veremos cómo podemos cuantificar el valor y la manera en que evolucionará la adquisición de resistencia a lo largo del tiempo.

Por último, veremos cómo se aplica en la práctica sobre un caso real de una estructura de hormigón.

2 Objetivos.

Una vez leído con detenimiento este documento, el alumno será capaz de predecir o determinar el valor de la resistencia a compresión de un hormigón puesto en obra, conociendo sus características, su edad y el historial de temperaturas medias diarias registradas cada día desde su puesta en obra.

3 Introducción.

El incremento de resistencia del hormigón es mayor en las primeras edades, ralentizándose el proceso con el paso del tiempo hasta que se estabiliza. Normalmente se adopta como patrón la resistencia a la edad de 28 días, habiéndose alcanzado a esa edad gran parte de la resistencia total.

Los factores que más influyen sobre la velocidad de endurecimiento del hormigón son las características del cemento, el proceso de curado y el empleo de aditivos y adiciones.



4 Desarrollo.

Dada la gran cantidad de factores que intervienen en el proceso de endurecimiento del hormigón, es muy difícil predecir la resistencia a una edad a partir de los resultados obtenidos a edades más tempranas, o viceversa.

La Instrucción española EHE en su tabla 30.4.b proporciona unos valores estimativos de la resistencia a compresión a la edad de "j" días en relación con la resistencia a 28 días.

Tabla 1. Resistencia a compresión sobre probetas del mismo tipo.

Edad del hormigón (días)	3	7	28	90	360
Hormigones de endurecimiento normal	0,40	0,65	1,00	1,20	1,35
Hormigones de endurecimiento rápido	0,55	0,75	1,00	1,15	1,20

Es decir, a los 3 días su resistencia será del orden del 40% de la que tendrá a los 28 días; a los 7 días, del 65%, etc.

¿Podemos llegar a establecer la evolución de la resistencia del hormigón con el tiempo de forma más precisa?, ¿Podemos predecir la resistencia a una edad cualquiera?

Dado que la EHE sólo proporciona valores a edades muy concretas, se puede recurrir a otras normativas para establecer la evolución de la resistencia con el tiempo.

En este sentido, tomando la expresión facilitada por el **Código Modelo CEB-FIP 1990** se tiene:

$$f_c(j) = \beta_{cc}(j) f_{c,28}$$

donde $\beta_{cc}(j)$ es un coeficiente de valor:

$$\beta_{cc}(j) = e^{\left[s \left(1 - \sqrt{\frac{28}{j}} \right) \right]}$$

siendo:

$f_c(j)$ Resistencia a compresión a la edad j.

$f_{c,28}$ Resistencia a compresión a la edad de 28 días.

s Coeficiente que depende del tipo de cemento y que adopta los valores:
0,20 para cementos de endurecimiento rápido y de alta resistencia.



- 0,25 para cementos de endurecimiento normal o rápido.
- 0,38 para cementos de endurecimiento lento.

La evolución de la resistencia del hormigón depende también de la temperatura de conservación, evolucionando más rápidamente cuanto mayor es la temperatura, pues la temperatura actúa como catalizador de las reacciones de hidratación del cemento.

Para poder relacionar la evolución de la resistencia con la temperatura se suele utilizar el concepto de **madurez**: *“Dos hormigones de igual dosificación pero de distinta edad tienen la misma resistencia si tienen la misma madurez.”*

La madurez “m” es el producto de la temperatura por el tiempo de actuación de la misma. La expresión utilizada es la siguiente:

$$m = \sum_{i=1}^n [(T_i + 10)t_i]$$

En el caso particular de hormigones sometidos durante “j” días a una temperatura constante de 20 °C, la expresión anterior sería:

$$m = 30 j$$

Igualando las dos expresiones anteriores y despejando “j”, se tiene:

$$j = \frac{\sum_{i=1}^n [(T_i + 10)t_i]}{30}$$

Esta edad “j” se denomina **edad teórica o equivalente** de un hormigón, y es el tiempo que ha de permanecer dicho hormigón a la temperatura de referencia de 20°C para alcanzar la misma madurez (y, por lo tanto, la misma resistencia) que si hubiese estado durante t_i días reales a una temperatura de T_i .



Veamos, a continuación, la aplicación de práctica de todos estos conceptos sobre un supuesto real de una estructura de hormigón armado.

Imagina que estamos dirigiendo la construcción de un edificio de viviendas, y que se ha hormigonado un forjado el lunes de la segunda semana de febrero.

Pasada una semana, el jefe de obra nos pregunta:

¿Podemos quitar ya los puntales del encofrado del forjado hormigonado el lunes pasado?

Para poderle contestar, contamos con el registro de temperaturas medias diarias de la semana anterior, desde que se hormigonó el forjado hasta hoy.

Además, sabemos que para poder quitar los puntales se necesita que el hormigón haya adquirido una resistencia de 20 Mpa y que el hormigón utilizado es HA-25/B/16/IIa y el cemento utilizado es de endurecimiento rápido.



Días	Temperatura media, °C
1º Lunes	10
2º martes	7
3º miércoles	11
4º jueves	10
5º sábado	7
6º domingo	7
7º lunes	8

Dado el historial de temperaturas, y debido a que las temperaturas medias diarias son distintas de 20°C, se debe determinar a qué edad teórica j equivale el historial de temperaturas registrado durante la semana transcurrida.

$$j = \frac{\sum_{i=1}^n [(T_i + 10)t_i]}{30} = 4,33 \text{ días}$$

Por lo tanto, el historial de temperaturas reales equivale a 4,33 días a una temperatura de 20°C.

La resistencia a compresión del hormigón el día 7º será equivalente a la de un hormigón con una edad de 4,33 días mantenido a una temperatura de 20°C.

Tomando la expresión facilitada por el Código Modelo CEB-FIP 1990 obtendremos la resistencia a compresión de dichos hormigones:

$$f_c(j) = \beta_{cc}(j) f_{c,28}$$

donde $\beta_{cc}(j)$ es un coeficiente de valor:

$$\beta_{cc}(j) = e^{\left[s \left(1 - \sqrt{\frac{28}{j}} \right) \right]}$$



siendo:

- $f_{c,28}$ Resistencia a compresión a la edad de 28 días = 25 MPa.
s para cementos de endurecimiento normal o rápido = 0,25.
j edad teórica = 4,33 días.

Con todo ello, se tiene:

$$\beta_{cc}(j) = e^{\left[s \left(1 - \sqrt{\frac{28}{j}} \right) \right]} = e^{\left[0,25 \left(1 - \sqrt{\frac{28}{4,33}} \right) \right]} = 0,7344$$
$$f_c(j) = \beta_{cc}(j) f_{c,28} = 0,7344 \times 25 = 18,36 \text{ MPa}$$

La resistencia a compresión del hormigón, una semana después del hormigonado del forjado, es de 18,36 MPa, menos a la resistencia requerida para poder quitar los puntales, que es de 20 MPa.

Conclusión: *"No se pueden quitar aún los puntales"*.

El jefe de obra pregunta a continuación cuándo podrán quitarse, pregunta que no le podemos responder, pues no sabemos la temperatura de los próximos días, pero le indicamos que ya le avisaremos llegado el momento.

Días	Temperatura media, °C
8º martes	8
9º miércoles	11
10 miércoles	13

Durante los dos días siguientes, martes y miércoles, las temperaturas siguen siendo muy bajas, y el miércoles aumentan algo, por lo que el jueves por la mañana volvemos a efectuar los cálculos.



Días	Temperatura media, °C
1º Lunes	10
2º martes	7
3º miércoles	11
4º jueves	10
5º sábado	7
6º domingo	7
7º lunes	8
8º martes	8
9º miércoles	11
10 miércoles	13

Determinamos de nuevo, desde el día 1º, la edad teórica j equivalente a los 10 días reales transcurridos:

$$j = \frac{\sum_{i=1}^n [(T_i + 10)t_i]}{30} = 6,40 \text{ días}$$

Por lo tanto, el historial de temperaturas reales equivale a 6,40 días a una temperatura de 20°C.

La resistencia a compresión del hormigón el día 10º será equivalente a la de un hormigón con una edad de 6,40 días mantenido a una temperatura de 20°C.

Tomando la expresión facilitada por el Código Modelo CEB-FIP 1990 obtendremos la resistencia a compresión de dichos hormigones.

$$\beta_{cc}(j) = e^{\left[s \left(1 - \sqrt{\frac{28}{j}} \right) \right]} = e^{\left[0,25 \left(1 - \sqrt{\frac{28}{6,40}} \right) \right]} = 0,8036$$

$$f_c(j) = \beta_{cc}(j) f_{c,28} = 0,8036 \times 25 = 20,09 \text{ MPa}$$

La resistencia a compresión del hormigón, 10 días después del hormigonado del forjado, es de 20,09 MPa, por encima de la resistencia requerida para poder quitar los puntales, que es de 20 MPa.

Conclusión: *"Ya se pueden quitar los puntales"*.

5 Cierre.

Como habréis podido ver y poner en práctica, de forma sencilla y mediante datos fáciles de obtener en la práctica, podemos determinar la resistencia a compresión de un hormigón puesto en obra a una edad determinada en función del historial de temperaturas medias diarias registradas cada día.

Se trata, por lo tanto, de conceptos de gran utilidad práctica a la hora de tomar decisiones durante la ejecución de una estructura respecto al ritmo de ejecución, de cimbrado y descimbrado, de puesta en carga, etc. decisiones, todas ellas, de gran responsabilidad y aparente incertidumbre, pero que podemos llegar a decidir con bastante precisión y fiabilidad.



6 Bibliografía

6.1 Libros:

Jiménez Montoya P., García Meseguer A., Morán Cabré F. *Hormigón Armado*. 14^a edición. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2000.

Ministerio de Fomento. *EHE. Instrucción de Hormigón Estructura EHE-08I*. Ed. Centro de Publicaciones de la Secretaría Técnica del Ministerio de Fomento. Madrid, 2008.

6.2 Referencias de fuentes electrónicas:

Para conocer el historial de temperaturas medias registradas: www.aemet.es

Para conocer las propiedades de un cemento: www.cemex.es