

# Retracción y expansión del hormigón armado.

<b>Apellidos, nombre</b>	Lliso Ferrando, Josep Ramon <sup>1</sup> (jollife2@arq.upv.es) Valcuende Payá, Manuel <sup>1</sup> (mvalcuen@csa.upv.es)
<b>Departamento</b>	<sup>1</sup> Departamento de Construcciones Arquitectónicas
<b>Centro</b>	Escuela Técnica Superior de Arquitectura Universitat Politècnica de València

## 1 Resumen de las ideas clave

El presente artículo aborda el **fenómeno de la retracción**, es decir, **el proceso que afecta al hormigón armado durante las etapas de fraguado y endurecimiento, y que puede prolongarse a lo largo de toda su vida útil**. Este fenómeno **se caracteriza por una variación volumétrica del material**, por lo que su consideración resulta esencial debido a las posibles implicaciones tanto estéticas como estructurales que pueda tener, así como por su impacto en la durabilidad del hormigón.

A lo largo de este artículo, se expondrá el procedimiento para determinar dicha variación de volumen en elementos de hormigón armado, considerando diversas variables que influyen en el proceso (ambientales, geométricas, de composición y armado, etc.). Finalmente, se presentará una aplicación práctica basada en un caso real de un elemento estructural de hormigón armado.

## 2 Objetivos

Una vez leído con detenimiento este documento, será posible **determinar la retracción en elementos de hormigón armado** en función del tiempo, a partir de las condiciones de exposición, la geometría de la pieza y el armado de esta, y las propiedades del material y los componentes utilizados para su fabricación.

## 3 Introducción

A lo largo de su vida útil, el hormigón experimenta una variación volumétrica conocida como **“retracción”**. Este fenómeno consiste en una disminución de volumen que se inicia poco después del hormigonado y se desarrolla progresivamente con el paso del tiempo. No obstante, cabe destacar que este proceso ocurre principalmente durante las primeras edades, y su velocidad de desarrollo disminuye de forma notable con el tiempo.

La causa de esta variación volumétrica se origina, fundamentalmente, por dos procesos distintos: por un lado, la pérdida de agua debido a la evaporación y al autoconsumo generado por las reacciones químicas; por otro, las transformaciones químicas propias del proceso de hidratación del cemento, en el que se forman productos de menor volumen que los componentes iniciales.

Además, la coacción ejercida por las armaduras produce una reducción en la magnitud de la retracción que puede experimentar un elemento de hormigón armado, en comparación con una pieza equivalente de hormigón en masa.

Los factores que influyen en los procesos de retracción y endurecimiento pueden clasificarse en dos grandes grupos. Por un lado, los factores externos, que afectan a la pérdida de agua, como la temperatura, la humedad relativa, el viento o el grado de exposición. Por otro, los factores internos, relacionados con las características de la pasta de cemento, entre los que se incluyen el tipo y contenido de cemento, la dosificación utilizada, la relación agua/cemento, así como parámetros asociados como el grado de hidratación o la porosidad del material.

El interés en el estudio de la retracción en el hormigón armado radica en las consecuencias que este fenómeno puede acarrear en elementos estructurales. Al tratarse de una deformación impuesta, si el libre acortamiento de la pieza se ve impedido, pueden generarse tensiones de tracción significativas en el hormigón, provocando la aparición de fisuras. Estas fisuras, además de afectar estéticamente el elemento analizado, pueden comprometer su comportamiento mecánico. Asimismo, pueden convertirse en vías de entrada de agentes agresivos que desencadenen la corrosión en las armaduras, reduciendo así la vida útil del elemento estructural.

Todo ello pone de relieve la importancia de estudiar la retracción del hormigón armado y la necesidad de contar con herramientas para su estimación, tanto en la fase de diseño —con el fin de prevenir posibles patologías— como en la fase de inspección y evaluación, para identificar el origen de los daños y planificar intervenciones de reparación adecuadas.

## 4 Desarrollo

Como se ha visto, existen una gran cantidad de factores que pueden condicionar la deformación de una pieza de hormigón armado, lo que convierte en todo un reto su estudio y tener la capacidad para determinarla con precisión. Ahora bien, ¿es posible llevar a cabo este estudio de manera fiable y precisa?

El Código Estructural, en el Anejo 19, Proyecto de estructuras de hormigón. Reglas generales y reglas para edificación, Artículo 3.1.4., Punto 6, propone un método de cálculo de la deformación total por retracción del hormigón armado ( $\varepsilon_{cr}$ ) reducido a la suma de dos componentes, la deformación de retracción por secado ( $\varepsilon_{cd}$ ) y la deformación de retracción autógena<sup>1</sup> ( $\varepsilon_{ca}$ ) corregida por un coeficiente que tiene en cuenta la cuantía geométrica de armaduras de la pieza estudiada ( $\rho_r$ ):

$$\varepsilon_{cr} = \rho_r \cdot (\varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca})$$

El desarrollo en el tiempo de la retracción por secado tiene la siguiente expresión:

$$\varepsilon_{cd} = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0}$$

donde  $k_h$  es un coeficiente que depende del espesor medio ( $h_0$ ) de la sección del elemento analizado (Tabla 1 (correspondiente a la Tabla A19.3.3. del Código Estructural)), siendo este igual:

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u}$$

donde " $A_c$ " hace referencia al área de sección de hormigón y  $u$  al perímetro de la sección de hormigón expuesto al secado. El Código Estructural únicamente indica 4 valores de " $h_0$ " y " $k_h$ ", por lo que para valores intermedios se deben interpolar. Por otro lado, se debe señalar que la expresión anterior está planteada para el caso particular en el que la temperatura de exposición es de 20°C. Por tanto, y en el caso de analizar elementos en

---

<sup>1</sup> A causa de la hidratación del cemento se produce una disminución de agua en los poros. Debido a la tensión superficial del agua, al disminuir la humedad en los poros capilares la fuerza de atracción entre las paredes de los poros aumenta, dando lugar a un incremento de la retracción. Esta retracción se denomina retracción autógena. Esta retracción es mayor cuanto menor es la relación a/c y, por lo tanto, en general cuanto mayor es la resistencia del hormigón.

condiciones distintas a esta, el espesor medio se debe corregir por un coeficiente " $\alpha_T$ " que depende de la temperatura de exposición ( $T$ ):

$$\alpha_T = e^{(-0,06 \cdot (T-20))}$$

Resultando:

$$h_0 = \alpha_T \cdot \left( \frac{2 \cdot A_c}{u} \right)$$

Respecto al coeficiente " $\beta_{ds}(t, t_s)$ ", este se puede determinar de acuerdo con:

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{t - t_s}{(t - t_s) + 0,04 \cdot \sqrt{h_0^3}}$$

y tiene en cuenta el paso de tiempo desde la edad del hormigón (en días) al comienzo de la retracción por secado (o expansión) ( $t_s$ ) y que coincide normalmente con el final del curado, aunque se puede considerar 1 día en caso de no conocerse y del lado de la seguridad, y la edad a la que se calcula la retracción ( $t$ ) en días. Por último, el valor nominal de la retracción por secado ( $\varepsilon_{cd,0}$ ) es un parámetro que tiene en cuenta la humedad relativa (%) y la resistencia característica del hormigón a la edad de 28 días ( $f_{ck}$ ). El Código Estructural facilita una tabla (Tabla 2, correspondiente a la Tabla A19.3.2. del Código Estructural) con los valores de  $\varepsilon_{cd,0}$  en función del tipo de cemento utilizado para la fabricación del hormigón<sup>2</sup>. Sin embargo, se trata de una tabla genérica, con valores concretos de resistencia característica y humedad relativa, y para el supuesto en el que el hormigón analizado ha sido fabricado con un cemento de Clase N. Por tanto, en el Apéndice B de este mismo documento se indica la fórmula para estimar el valor nominal de la retracción por secado ( $\varepsilon_{cd,0}$ ) con precisión y para casos distintos a lo indicado anteriormente. Este parámetro se calcula según:

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \cdot \beta_{HR} \cdot (220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot e^{(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{10})} \cdot 10^{-6}$$

donde " $f_{cm}$ " hace referencia a la resistencia media del hormigón a 28 días, y que ha falta de datos experimentales puede suponerse:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8$$

Por otro lado, " $\beta_{HR}$ " corresponde a un coeficiente que dependiendo de las condiciones del elemento analizado adopta los siguientes valores:

-estructuras sumergidas (HR=100%):  $\beta_{HR} = 0,25$

-estructuras al aire (HR<100%):  $\beta_{HR} = -1,55 \cdot \left( 1 - \left( \frac{HR}{100} \right)^3 \right)$

Por último, los coeficientes " $\alpha_{ds1}$ " y " $\alpha_{ds2}$ " hacen referencia a la velocidad de endurecimiento del cemento y su valor se recoge en la Tabla 2.

---

<sup>2</sup> Por lo general, se considerarán cementos de endurecimiento lento los CEM 32,5 N (Clase S). Los cementos de endurecimiento normal (Clase N) son los CEM 32,5 R y los CEM 42,5 N. Los cementos CEM 42,5, 52,5 N y 52,5 R se consideran cementos de endurecimiento rápido (Clase R). Sin embargo, el Código Estructural, en su artículo 33.3 señala que se consideran hormigones de endurecimiento rápido aquellos fabricados con cemento 42,5R, 52,5 o 52,5R siempre que su relación a/c sea menor o igual que 0,60, los fabricados con cemento 32,5R o 42,5 siempre que su relación a/c sea menor o igual que 0,50 o bien aquellos en los que se utilice acelerante de fraguado. El resto de los casos, se consideran hormigones de endurecimiento normal.

$h_0$	$k_h$
<100	1,00
200	0,85
300	0,75
$\geq 500$	0,70

Tabla 1. Valores para " $k_h$ " (para valores intermedios, debe realizarse una interpolación lineal). Tabla A19.3.3. del Código Estructural.

	Endurecimiento lento (clase S)	Endurecimiento normal (clase N)	Endurecimiento rápido (clase R)
$\alpha_{ds1}$	3	4	6
$\alpha_{ds2}$	0,13	0,12	0,11

Tabla 2. Valores de los coeficientes " $\alpha_{ds1}$ " y " $\alpha_{ds2}$ ". Adaptación, Apéndice B.2. Anejo 19, Código Estructural.

Por otro lado, para el cálculo de la deformación por retracción autógena ( $\varepsilon_{ca}$ ), el Código Estructural señala que esta se puede determinar según:

$$\varepsilon_{ca} = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty)$$

siendo:

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6}$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - e^{(-0,2 \cdot t^{0,5})}$$

donde " $t$ " está expresado en días. Por tanto:

$$\varepsilon_{ca} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot (1 - e^{(-0,2 \cdot t^{0,5})}) \cdot 10^{-6}$$

Como se ha señalado anteriormente, las armaduras ejercen una coacción que favorece un descenso en la retracción respecto al hormigón en masa y depende fundamentalmente de la cuantía de acero. Para poder estimar esta coacción, el Código Estructural propone corregir la variación volumétrica obtenida por un coeficiente ( $\rho_r$ ) que corresponde a:

$$\rho_r = \frac{1}{1 + n \cdot \rho}$$

donde " $n$ " es el coeficiente de equivalencia ( $n = E_s/E_c$ ) y " $\rho$ " es la cuantía geométrica de armadura total de la pieza ( $\rho = A_s/A_c$ ). El módulo de deformación del acero ( $E_s$ ) es igual a 200.000 MPa, mientras que el módulo de deformación del hormigón puede estimarse según:

$$E_c \approx 22000 \cdot \alpha \cdot [0,1 \cdot (f_{ck} + 8)]^{0,3}$$

siendo “ $\alpha$ ” un coeficiente que depende del tipo de árido empleado en la fabricación del hormigón (Tabla 3).

Tipo de árido empleado	$\alpha$
Cuarcita	1,00
Arenisca	0,70
Caliza	0,90
Ofita, basalto y otras rocas volcánicas	1,20
Granito y otras rocas plutónicas	1,10
Diabasas	1,30

Tabla 3. Valores para  $\alpha$ . Adaptación Código Estructural.

Algo que se debe tener en cuenta a la hora de estimar la deformación de los elementos de hormigón en masa es que, para estructuras sumergidas (y donde se considera que la humedad relativa de exposición es del 100%), la deformación volumétrica se caracteriza por tratarse de una ligera expansión, fenómeno denominado “**entumecimiento**”. Sin embargo, en aquellos elementos expuestos a condiciones atmosféricas y, por tanto, al aire (y que consecuentemente la humedad relativa de exposición es inferior al 100%), la deformación que experimenta la pieza analizada es de contracción (retracción), siendo habitual obtener valores negativos que reflejen el acortamiento de esta.

Tras esta descripción, ¿crees que eres capaz de aplicar estas fórmulas a un caso real?

## 5 Caso práctico

A continuación, se presenta un ejemplo de aplicación práctica de todos los conceptos descritos anteriormente y que está basado en un caso real.

*Durante una inspección realizada en una estructura de hormigón armado, se ha detectado que en una serie de viguetas que conforman una pérgola han aparecido algunas fisuras como la que se muestra en la Figura 1, todo ello teniendo en cuenta que la estructura tiene apenas 3 años de servicio. Se pide determinar si el origen de este daño puede ser por la retracción del hormigón. Se debe tener en cuenta que el movimiento está coartado ya que las viguetas están empotradas a los muros laterales.*

*Como información complementaria, se cuenta con los siguientes datos: la geometría y armado de las viguetas se muestra en la Imagen 1 y se conoce que fueron fabricadas con un hormigón cuya resistencia característica es de 20 MPa. Además, se sabe también que para su fabricación se utilizó un árido de tipo cuarcita y un cemento 32,5N. La longitud de las piezas es de 6 metros. La estructura se encuentra situada en Valencia, donde se puede considerar que la temperatura promedio anual es de 22°C y la humedad relativa es del 66%.*

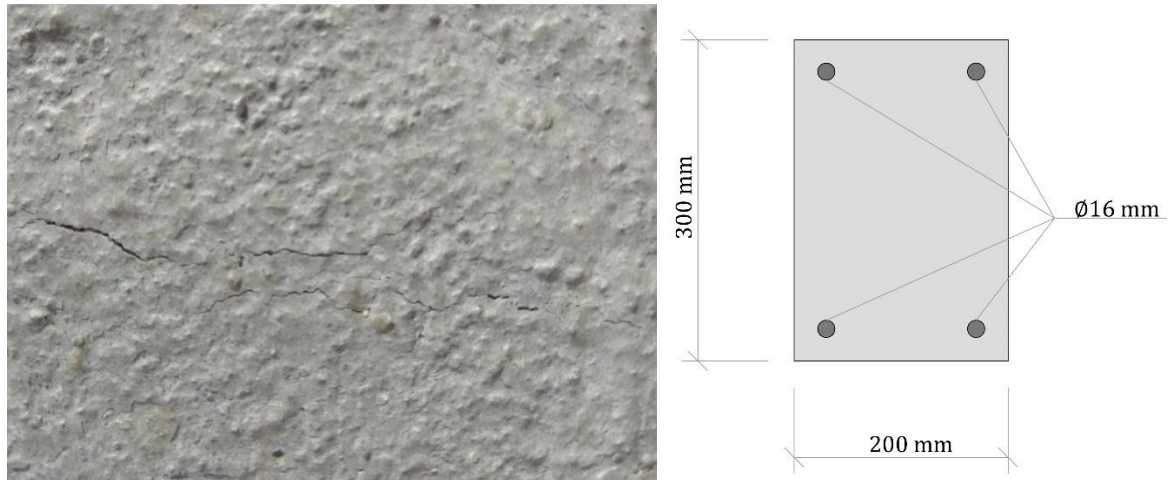


Imagen 1. Caso de estudio. Adaptación Safiuddin.

## 5.1 Estimación de la retracción del caso de estudio

A pesar de que se trata de un elemento estructural expuesto a las condiciones atmosféricas y cuya temperatura y humedad varía con el tiempo, de manera simplificada, se pueden tomar los datos promedio de exposición de la ciudad donde se sitúa el caso de estudio y, por tanto, poder aplicar sistemáticamente las fórmulas recogidas en el Código Estructural. En primer lugar, se debe estimar la retracción por secado. Recuperando las ecuaciones presentadas anteriormente:

$$\varepsilon_{cd} = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0}$$

donde:

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 300 \cdot 200}{300 + 200 + 300 + 200} = 120$$

Ya que la temperatura no es igual a los 20°C que el Código Estructural toma como referencia, sino que se ha considerado que en Valencia las condiciones de temperatura media son de 22°C, el espesor medio debe ser corregido con la siguiente fórmula:

$$\alpha_T = e^{-0,06 \cdot (T-20)} \rightarrow \alpha_T = e^{-0,06 \cdot (22-20)} \rightarrow \alpha_T = 0,887$$

Por tanto:

$$h_{0,22} = 120 \cdot 0,887 \rightarrow h_{0,22} = 106,44 \rightarrow k_h = 0,9356$$

El valor de “ $k_h$ ” se ha obtenido mediante interpolación lineal. Otro de los parámetros que debe ser calculado es el coeficiente  $\beta_{ds}(t, t_s)$  según:

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{t - t_s}{(t - t_s) + 0,04 \cdot \sqrt{h_0^3}} = \frac{1,095 - 1}{(1,095 - 1) + 0,04 \cdot \sqrt{106,44^3}} = 0,9614$$

En este caso, se ha considerado que  $t_s = 1$ , suponiendo que la retracción comienza al primer día de edad. Por último, para estimar el valor nominal de la retracción por secado:

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \cdot \beta_{HR} \cdot (220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot e^{(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{10})} \cdot 10^{-6}$$

En este caso, se ha considerado:

$$\beta_{HR} = -1,55 \cdot \left(1 - \left(\frac{66}{100}\right)^3\right) = -1,1044$$

$$\alpha_{ds1} = 3$$

$$\alpha_{ds2} = 0,13$$

$$f_{cm} = 20 + 8 = 28 \text{ MPa}$$

Por tanto:

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \cdot (-1,1044) \cdot (220 + 110 \cdot 3) \cdot e^{(-0,13 \cdot \frac{28}{10})} \cdot 10^{-6}$$

$$\varepsilon_{cd,0} = -358,777 \cdot 10^{-6}$$

En definitiva, la retracción por secado resultante equivale a:

$$\varepsilon_{cd} = 0,9614 \cdot 0,80 \cdot (-358,777 \cdot 10^{-6})$$

$$\varepsilon_{cd} = -275,94 \cdot 10^{-6}$$

La segunda componente que debe tenerse en cuenta en el estudio de la reología del hormigón es la retracción autógena, estimada según:

$$\varepsilon_{ca} = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty)$$

siendo:

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot (20 - 10) \cdot 10^{-6} = 25 \cdot 10^{-6}$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - e^{(-0,2 \cdot t^{0,5})} = 1 - e^{(-0,2 \cdot 1,095^{0,5})} = 0,99$$

Por tanto:

$$\varepsilon_{ca} = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) = 25 \cdot 10^{-6} \cdot 0,99 = 24,75 \cdot 10^{-6}$$

De esta forma, se puede estimar la deformación total como la suma de la retracción por secado y la retracción autógena:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = -275,94 \cdot 10^{-6} + 24,75 \cdot 10^{-6}$$

$$\varepsilon_{cs} = -251,19 \cdot 10^{-6}$$

Una vez conocida la deformación de la pieza, se debe incluir en los cálculos la coacción que ejercen las armaduras, por tanto:

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200.000}{22.000 \cdot \alpha \cdot [0,1 \cdot (f_{ck} + 8)]^{0,3}}$$

Sustituyendo:

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200.000}{22.000 \cdot 1,00 \cdot [0,1 \cdot (20 + 8)]^{0,3}} \rightarrow n = 6,675$$

El coeficiente que tiene en cuenta la cuantía de armadura se puede calcular según:

$$\rho = \frac{A_s}{A_c} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 8^2}{200 \times 300} = 0,0134$$

Por tanto, corrigiendo la retracción obtenida considerando que se trataba de una pieza de hormigón en masa:

$$\varepsilon_{cr} = \frac{1}{1 + n \cdot \rho} \cdot \varepsilon_{cs}$$

Sustituyendo:



$$\varepsilon_{cr} = \frac{1}{1 + 6,675 \cdot 0,0134} \cdot (-251,19 \cdot 10^{-6})$$
$$\varepsilon_{cr} = -230,567 \cdot 10^{-6}$$

Conociendo que la deformación obtenida corresponde al cociente de la variación de longitud y la longitud inicial, es posible estimar el cambio de longitud de la pieza según:

$$\varepsilon_{cs} = \frac{\Delta L}{L}$$

Sustituyendo y operando:

$$-230,1567 \cdot 10^{-6} = \frac{\Delta L}{6000} \rightarrow \Delta L = -1,38 \text{ mm}$$

El resultado obtenido es de signo negativo, evidenciando que se trata de un acortamiento de la pieza fruto de la retracción por exposición al aire. Ahora bien, todavía no se puede certificar que la fisura que ha experimentado la pieza sea consecuencia de este fenómeno de tracción. Para poder comprobar esto, es suficiente con estimar la tensión de tracción ( $\sigma_c$ ) a la que está sometido el hormigón. Para ello, conociendo el módulo de deformación del hormigón ( $E_c$ ) y la deformación lineal de la pieza ( $\varepsilon_{cr}$ ), se puede calcular de manera aproximada según:

$$E_c = \frac{\sigma_c}{\varepsilon_{cr}}$$
$$22.000 \cdot 1.00 \cdot [0.1 \cdot (20 + 8)]^{0.3} = \frac{\sigma_c}{-230,567 \cdot 10^{-6}}$$
$$29.961,95 = \frac{\sigma_c}{-230,567 \cdot 10^{-6}}$$
$$\sigma_c = -6.91 \text{ MPa}$$

El resultado obtenido (de signo negativo evidenciando una tracción) denota una tensión de tracción superior al límite del hormigón. Aproximadamente, se puede considerar que la tensión de tracción del hormigón es un 10% de la tensión de compresión que, en este caso, sería un 10% de 20 MPa, es decir, 2 MPa. La tensión a la que ha estado sometida la pieza es más del triple de la tensión que el hormigón podría haber resistido, lo que ha generado una fisura por retracción.

En el caso de ir más allá, y buscar alternativas que podrían haber evitado esta retracción, se debería analizar qué parámetros son los que mayor repercusión pueden tener para reducir la retracción, y por ende la tensión de tracción: modificar la geometría de la pieza, calidad del material, cantidad de armado, condiciones de curado, etc. Sin embargo, su influencia en las ecuaciones empleadas no generará un descanso significativo. En cambio, emplear una pieza como la descrita, pero sin tener el acortamiento coartado favorecerá que la retracción impuesta sea libre y no conduzca a la aparición de fisuras de manera temprana. Esto es algo que se debe prever en fase de diseño.

## 6 Cierre

En este objeto de aprendizaje se ha podido ver de manera teórica y práctica el procedimiento para determinar la retracción o entumecimiento del hormigón armado en función de las condiciones de exposición. Además, se ha visto cómo determinar si esta

deformación volumétrica puede ser la causa de una de las patologías más habituales en el hormigón, la fisuración por retracción.

Se trata de un procedimiento de gran utilidad para prevenir daños que, además de la merma estética que generan, pueden tener una gran repercusión en las propiedades mecánicas del hormigón o incluso, la durabilidad. Sin embargo, también pueden ser de gran utilidad durante la inspección y evaluación de construcciones existentes de hormigón armado como herramienta para la detección de patologías.

## **7 Bibliografía**

### **7.1 Libros:**

Bertolini, L., Elsener, B., Pedferri, P., Redaelli, E., Polder, R. Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis and Repair. Editorial VCH. 2013.

Delibes Liniers, A. Tecnología y propiedades mecánicas del hormigón. 2ª edición. Ed. INTERMAC. Madrid, 1993.

Fernández Cánovas, M. Hormigón. Ed. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Colección Escuelas. 6ª edición. Madrid. 2003.

García Meseguer, A., Morán Cabré, F., Arroyo Portero, JC., Jiménez Montoya. Hormigón Armado. 15ª edición. Ed. Gustavo Gili. Barcelona. 2009.

Orchard, D.F. Concrete technology. Ed. Applied Science Publishers Ltd. Volumen 2. Londres, 1979.

Soroka, I. Portland cement past & concrete. Ed. Mc Millan Press Ltd. Londres, 1979.

### **7.2 Artículos:**

Safiuddin, Md., A. B. M. Amrul Kaish, Chin-Ong Woon, and Sudharshan N. Raman. 2018. "Early-Age Cracking in Concrete: Causes, Consequences, Remedial Measures, and Recommendations" Applied Sciences 8, no. 10: 1730. <https://doi.org/10.3390/app8101730>.

### **7.3 Normativa:**

Comité Europeo de Normalización (CEN). Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1: Reglas generales y reglas para edificación. Ed. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR. Madrid. 1994.

Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana. Gobierno de España. Código Estructural. 2021.