

La retracción por secado del hormigón

por Miguel Ángel Soler Ruiz

La retracción del hormigón puede producirse por diversas razones y es una de las causas más importantes que provocan la fisuración de éste. Se pretende analizar en este texto la incidencia sobre el hormigón de la “retracción por secado”, también denominada “retracción hidráulica”. Se hará hincapié en los procesos que inician este fenómeno así como en las consecuencias que conlleva y cómo afecta a la durabilidad de la estructura. El análisis de la retracción es fundamental en el estudio del hormigón como material de construcción. Se trata de un aspecto inevitable en este material, pero un buen control sí puede evitar daños que pueden llegar a ser irreversibles en una estructura. Iniciaremos el estudio revisando los diversos tipos de retracción, lo continuaremos centrándonos en la propia retracción hidráulica, pasando por su cálculo, y finalizaremos observando las diversas patologías causadas como consecuencia de este fenómeno en las estructuras.

Introducción

“El hormigón es el material que se forma mezclando cemento, árido grueso y fino y que se origina por la hidratación de la pasta de cemento (cemento y agua); además de estos compuestos básicos, también puede contener aditivos y adiciones” (CEB-FIP, 1993) (UNE 83900 IN:1996)

Para entender y controlar las propiedades del hormigón hay que estudiar su estructura, la cual consta de tres fases: los áridos, la pasta de cemento endurecida y la zona de transición (Taylor, 1997). Tal estudio, no obstante, entraña dificultades, que están relacionadas con la heterogeneidad y complejidad del

material y se deben a la existencia de la zona de transición, a la naturaleza multifásica de todos los elementos y a la continua variación de la estructura del material con el paso del tiempo (Mehta, 1994).

El hormigón experimenta variaciones de volumen, dilataciones o contracciones, durante toda su vida útil por causas físico - químicas. El tipo y magnitud de estas variaciones están afectados en forma importante por las condiciones ambientales existentes de humedad y temperatura y también por los componentes presentes en la atmósfera.

La retracción del hormigón es una “disminución de volumen” de la masa original de hormigón y está ligada a diversas causas que pueden ser de origen térmico, hidráulico, interno, etc. Puede producirse por el *secado* (provocado por altas temperaturas o porque la humedad relativa exterior al sistema sea menor que la interior), por las *reacciones internas* (que son de carácter exotérmico), y hay que tener en cuenta que el volumen final de los compuestos combinados químicamente no es igual a la suma de los volúmenes de los compuestos por separado.

Dependiendo de la fase de construcción de la estructura, tendremos diversos tipos de retracción. Antes del inicio del fraguado del hormigón se producirá un “asentamiento” de éste en su vertido, que producirá una disminución inicial del volumen. Una vez comience a fraguar, tendrá lugar la retracción “plástica” debida al gradiente de humedades interior-exterior.



E.T.S. CAMINOS, CANALES Y
PUERTOS - VALENCIA



Asociación de Ciencias
Ambientales de la Comunidad
Valenciana (ACA-CV)

Habrá una pérdida de volumen en la estructura causada por la evaporación del agua de amasado. De aquí que el curado de las estructuras de este tipo sea clave para la vida de las mismas.

Una vez ha terminado el proceso de fraguado, entonces tienen lugar las retracciones “por secado”, “autógena”, “térmica” y por “carbonatación”.

La retracción “autógena” es una disminución de volumen que experimenta el hormigón en una situación de no-intercambio de agua con el exterior (Apuntes de clase, 2008). En sistemas sellados (sin aporte de agua exterior al sistema), los poros finos drenan agua desde los capilares de mayor tamaño, causando una reducción de la humedad relativa en el interior del material llamada “secado autógeno”, que aumenta la actividad del agua de los poros y produce una disminución del volumen aparente.

En cuanto a la retracción “térmica”, el hormigón puede experimentar variaciones de volumen causadas por la temperatura, las cuales pueden provenir tanto externamente de la temperatura ambiente como internamente de la generada durante el fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento. La evaluación de la retracción térmica puede efectuarse a partir del valor de las temperaturas producidas y de las características de dilatación térmica del elemento.

Por  ltimo, El proceso de hidratación de la pasta de cemento deja una cierta proporción de cal libre, es decir, sin participar en el proceso químico de fraguado. Esta cal libre es susceptible de combinarse con el anhídrido carbónico del aire, produciendo carbonato de calcio, combinación química que tiene un carácter contractivo, por lo cual el espesor de hormigón afectado por él disminuye su volumen inicial, generándose la denominada retracción por carbonatación. En general, el espesor afectado es pequeño, alcanzando sólo algunos milímetros en la zona cercana a la superficie en contacto con el aire. Sin embargo, por el confinamiento que produce el hormigón interior adyacente, esa capa queda sometida a tensiones de tracción, pudiendo fisurarse.

Centrémonos ahora en el estudio de la *retracción por secado* del hormigón o *retracción hidráulica*.

La retracción por secado

a – Defini n

Disminución de volumen que presenta el hormigón ya endurecido como consecuencia de la pérdida de agua por evaporación. (Apuntes de clase, 2008)



Aspecto de una losa que ha sufrido retracción



E.T.S. CAMINOS, CANALES Y
PUERTOS - VALENCIA



Asociación de Ciencias
Ambientales de la Comunidad
Valenciana (ACA-CV)

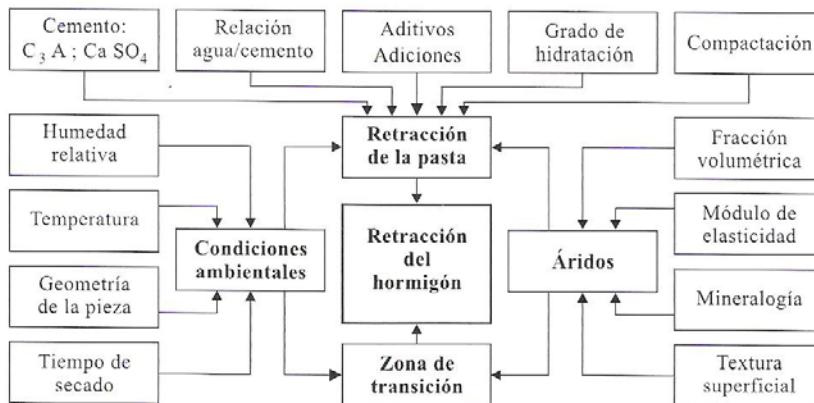


Fig. 1 Variables que interactúan en la retracción del hormigón

b – Variables que interactúan

Se trata de una deformación volumétrica, pero se suele expresar como si se tratara de una deformación lineal. Depende de numerosas variables que, además, se interactúan (ver Fig 1).

c – Algunos aspectos a tener en cuenta

La retracción es un fenómeno lento: la única fuerza motriz es la pérdida de agua que sucede si la humedad relativa exterior es menor que la existente en el interior de los poros (Aitcin, 1997). Esta pérdida controla un proceso lento de *difusión* del agua a través de la estructura porosa (fib, 1999), que depende, por tanto, de la *geometría* de la pieza, del *período de secado* y de las *condiciones ambientales*, y no, excepto a una edad muy temprana, de la velocidad del viento (Neville, 1995).

Sólo parte de la retracción es reversible. La retracción máxima ocurre en el primer ciclo de secado y el fenómeno se va haciendo más reversible con ciclos posteriores de humectación-secado (Soroka, 1979), lo que es importante, pues permite mejorar la estabilidad dimensional de los elementos prefabricados con un almacenamiento previo a su puesta en obra.

Si se conserva el material en atmósfera saturada o sumergido en agua, en vez de retracción experimenta un aumento de volumen llamado entumecimiento, bastante menor que la disminución

volumétrica debida a la retracción, pero de evolución más rápida en el tiempo.

d – Parámetros preponderantes

d.1 – Composición química del cemento

Influye principalmente en la variación de volumen, dado que ésta deriva del desarrollo del proceso de fraguado. En estas condiciones, si la composición del cemento favorece un fraguado rápido de la pasta, ella también será favorable para una más alta contracción inicial, si existen condiciones ambientales no saturadas de humedad. Por las razones indicadas, un alto contenido de C3A favorecerá una rápida y alta contracción.

d.2 – Finura del cemento

Una mayor finura del cemento favorece también una evolución rápida de sus propiedades, en particular de su fraguado.

d.3 – Dosis de cemento

Existe una relación casi directa entre la dosis de cemento y la retracción hidráulica por estas causas.

d.4 – Dosis de agua

Dado que un mayor contenido de agua en el interior del hormigón conducirá a una mayor cantidad de fisuras y poros saturados, desde donde se origina la tensión superficial.



E.T.S. CAMINOS, CANALES Y
PUERTOS - VALENCIA



Asociación de Ciencias
Ambientales de la Comunidad
Valenciana (ACA-CV)

d.5 – Porosidad de los áridos

El valor de la retracción por esta causa queda condicionado por la finura del árido, siendo mayor cuando ésta aumenta, puesto que ello implica una mayor cantidad de discontinuidades en la masa del árido.

d.6 – Humedad

Puesto que ella condiciona la velocidad de evaporación del agua interior del hormigón.

e. Fisuración provocada por la retracción hidráulica

e.1 – Causas y definición

Se producen a consecuencia de las tensiones de tracción creadas en la masa de hormigón al quedar impedida la deformación provocada por los cambios volumétricos en la retracción de secado. Si se restringe, se van desarrollando fuerzas centradas o excéntricas, que producen fisuras cuando se agota la deformación última del material a tracción (Hartl, 1984). Es el caso, por ejemplo, de la Fig. 2, que representa un muro de hormigón de cierto espesor construido sobre un cimiento hormigonado con bastante antelación y que limita el acortamiento por retracción del alzado (ACI Fall Convention, 1985)

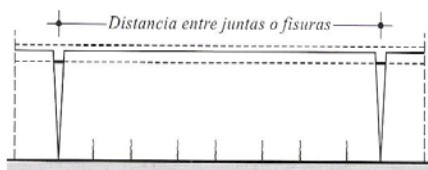


Fig. 2 Retracción por secado en el alzado de un muro

Los áridos muy gruesos se oponen a la retracción de la matriz y causan una fisuración interna en torno a ellos que no se acusa al exterior y no modifica el volumen aparente de la pieza (Ver Fig. 3) (Fernández Cánovas, 1994)

Las armaduras también coaccionan la retracción del hormigón circundante debido a que la adherencia se desarrolla mucho más rápidamente que la retracción, lo que puede generar fisuras de apariencia similar a las debidas a esfuerzos e flexión o de tracción (CEB, 1982).

El fenómeno suele ir asociado a la retracción diferencial entre las capas superficiales y el núcleo de las piezas, que origina un estado de “tensiones autoequilibradas” (ver Fig. 4): de tracción en la superficie y de compresión en el interior.

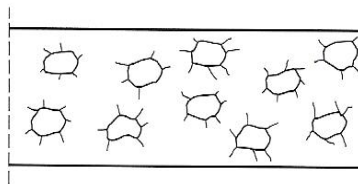


Fig. 3 Fisuración interna en la retracción por secado (Fernández Cánovas, 1994)

e.2 – Morfología

La fisuración superficial producida es, principalmente, una fisuración en “mapa” (ver Fig. 5), difícil de distinguir de la que causan estados tensionales similares debidos a gradientes térmicos actuantes a lo largo de la sección transversal (ver Fig. 4).

La instalación de un acondicionamiento térmico puede disminuir la humedad relativa media habitual, aumentando la retracción y se puede fisurar el hormigón en cualquier instante de la vida útil de la estructura (CEB, 1982)

Las fisuras de retracción de secado, a diferencia de otras retracciones, suelen tener una anchura constante y un trazado limpio sin entrecruzado ni ramificaciones. Si la distribución de las fisuras es buena, estas fisuras de



E.T.S. CAMINOS, CANALES Y PUERTOS - VALENCIA



Asociación de Ciencias Ambientales de la Comunidad Valenciana (ACA-CV)

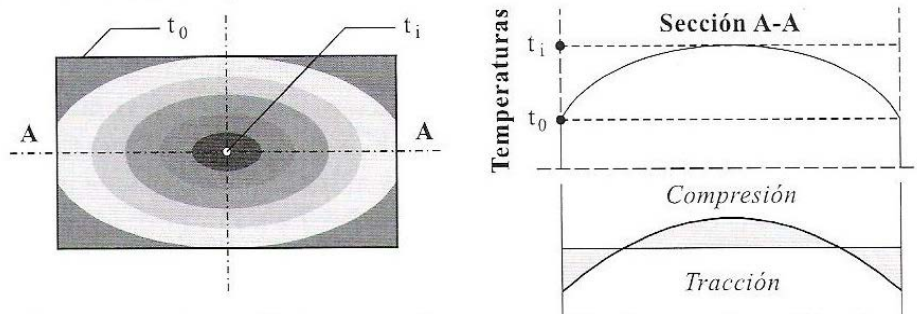


Fig. 4 Isotermas en la sección transversal y representación de las tensiones autoequilibradas

retracción son muy estrechas, del orden de 0,05 a 0,1 mm de anchura y es frecuente que no tengan más de 0,02 mm. Tampoco son profundas y no suelen penetrar en el hormigón de 4 a 10 mm. Pueden aparecer a partir de las dos o tres semanas desde el vertido del hormigón, pero el riesgo de su aparición persiste en condiciones normales hasta un año, retardándose a veces hasta los dos y tres años, en función de las condiciones de sequedad atmosférica.

e.3 – Influencia de la rigidez en la fisuración

En este tipo de fisuración juegan un papel importante la rigidez del elemento estructural y sobre todo, la del conjunto estructural que le afecta. Se puede dar el caso de que en vez de producirse la fisuración en el elemento que se acorta, se produzca en los elementos que están unidos a él (Véase Fig.5). Este efecto es frecuente en vigas de sección grande y muy armadas unidas a pilares esbeltos y poco rígidos; en este caso las fisuras aparecen en la cabeza y pie de los pilares

en vez de en la viga. En el caso contrario, en vigas con luz más o menos grande, pueden aparecer fisuras perpendiculares a su eje, de espesor constante, que seccionan las vigas si éstas se encuentran coaccionadas por pilares de gran rigidez.

e.4 – Fisuración en los distintos tipos de elementos estructurales

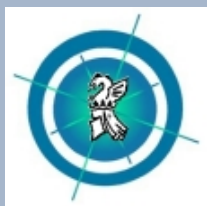
Haremos un breve recorrido por los diversos elementos que podemos encontrar en una estructura y el comportamiento de éstos frente a la fisuración debida a la retracción por secado que se produce.

e.4.1 – Elementos tipo pórtico

Un caso típico de fisuras de retracción hidráulica lo tenemos en el caso de un pórtico de una crujía con dos vigas a distinto nivel. Si la viga superior tiene más rigidez y está más armada que la inferior retraerá menos que ésta, dando lugar a que la última sea la que se fisure.



E.T.S. CAMINOS, CANALES Y PUERTOS - VALENCIA



Asociación de Ciencias Ambientales de la Comunidad Valenciana (ACA-CV)

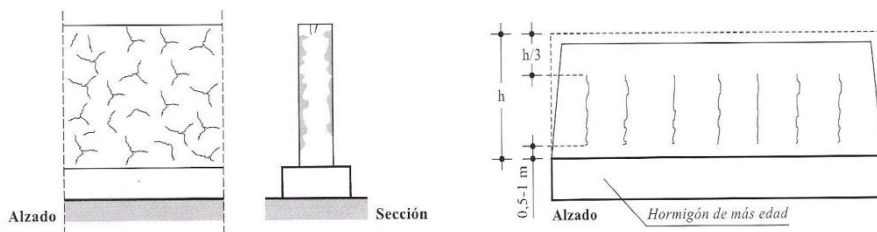
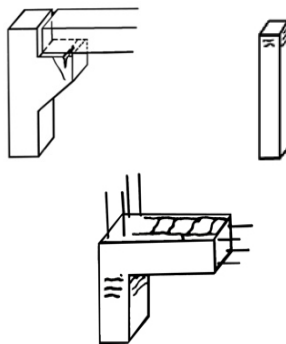


Fig. 5 Fisuración en mapa y afección de elementos estructurales con distinta rigidez

En los forjados pueden aparecer fisuras de retracción si estos están coaccionados por vigas o nervios unidos a ellos.

e.4.2 – Elementos verticales

La retracción en elementos verticales puede originar fisuras en elementos horizontales que funcionen hiperestáticamente con ellos. En el caso de retracción diferencial en los diferentes elementos verticales, da lugar a un estado tensional en las vigas y forjados que puede ser comparable al producido por un asiento diferencial del terreno.



Fisuración en ménsulas, pilares y vigas

e.4.3 – Láminas y cáscaras

La retracción en láminas y cáscaras, al tener más libertad de deformación que los otros elementos estructurales, se traduce en una reducción de las flechas si las vigas de borde impiden los movimientos en estas líneas. Sin embargo, al deformarse la lámina por retracción pueden aparecer fisuras en su intradós. Las fisuras de retracción en láminas deformables, pero coaccionadas en sus bordes, son muy parecidas a las de flexión presentando una abertura variable que va disminuyendo desde el intradós hasta la línea neutra de la sección.

e.4.4 – Muros de contención

Los muros de contención de tierras son elementos de gran masa con tendencia a sufrir los efectos de la retracción. Por lo general, las fisuras en estos muros, suelen presentarse en su coronación y van decreciendo hacia el terreno a la vez que van cerrándose hasta llegar a desaparecer en la proximidad de éste debido a que la humedad y el abrigo que proporciona el terreno son unas condiciones muy favorables para el curado.

e.5 – Algunos ejemplos de fisuración por retracción hidráulica

La fisuración por retracción hidráulica puede afectar solamente a los recubrimientos. Esto ocurre en los

elementos muy armados en los que las propias armaduras son las que coaccionan los movimientos del núcleo de la pieza y no los de ellos que al ser más superficiales son más propensos a retraer, dando lugar a la aparición de fisuras superficiales y en ocasiones a pequeños desprendimientos localizados en zonas del recubrimiento.

e.6 – Fisuración por entumecimiento hidráulico

El caso opuesto a la retracción también puede presentar patologías. Aquellas que aparecen a consecuencia del aumento de volumen del hormigón, como consecuencia de un contacto permanente con el agua. Desde el punto de vista de la fisuración, son menos peligrosas que las de retracción debido a la menor resistencia a tracción de los hormigones y a los valores relativos más altos de las retracciones con respecto a los entumecimientos.

e.7 – La fisuración del hormigón

Finalmente queda exponer la famosa figura de Beeby (1984) donde se recoge un resumen de todas las causas que pueden producir fisuración en el hormigón:



E.T.S. CAMINOS, CANALES Y
PUERTOS - VALENCIA



Asociación de Ciencias
Ambientales de la Comunidad
Valenciana (ACA-CV)



The Chemical Company

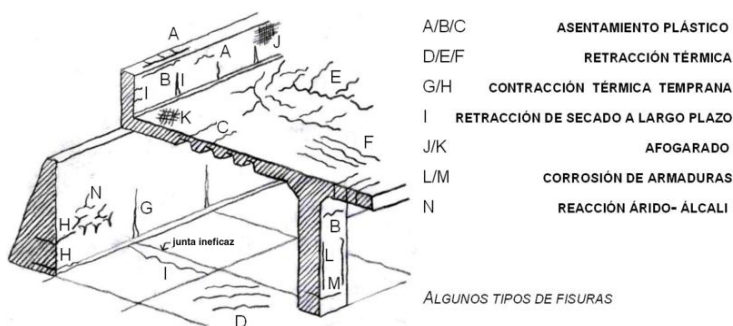


Fig. 6 Las causas de la fisuración en el hormigón (Beeby, 1984)

f- Cálculo de la retracción por secado

Siendo:

Vamos a introducir un modelo de cálculo muy aproximado para la obtención de la retracción por secado $\epsilon_{cs}(t,t_s)$ en una pieza de hormigón.

f_{cm} resistencia media a compresión del hormigón a la edad de 28 días, en MPa
 β_{sc} coeficiente función de la velocidad intrínseca de hidratación del cemento

$$\epsilon_{cs}(t,t_s) = \epsilon_{cs0} * \beta_s(t-t_s)$$

$\beta_{sc}=4$ velocidad lenta (CEM 32,5)
 $\beta_{sc}=5$ velocidad normal (CEM 32,5R y CEM 42,5)
 $\beta_{sc}=8$ velocidad rápida (CEM 42,5R y CEM 52,5)

Siendo:

HR humedad relativa de la atmósfera en tanto por ciento

t edad del hormigón, en días, en el instante de la evaluación

t_s edad del hormigón, en días, cuando comienza la retracción

ϵ_{cs0} coeficiente básico de retracción

$\beta_s(t-t_s)$ coeficiente que modula la evolución de la retracción en el tiempo

f.2- A continuación calcularemos el coeficiente $\beta_s(t-t_s)$, mediante la expresión:

f.1- Abordemos a continuación el cálculo de los coeficientes que intervienen. En primer lugar calcularemos el coeficiente básico de la retracción ϵ_{cs0} :

$$\beta_s(t-t_s) = \left(\frac{t-t_s}{0,035 e_m^2 + (t-t_s)} \right)^2$$

Donde:

$$\epsilon_{cs0} = \epsilon_s * \beta_{HR}$$

$$e_m = \frac{A_c}{u/2} = \frac{2 A_c}{u}$$

Donde:

espesor medio de la pieza, en milímetros

$$\epsilon_s = [160 + \beta_{sc}(90 - f_{cm})] \times 10^{-6}$$

Siendo:

$$\beta_{HR} = -1,55 [1 - (HR/100)^3]$$

A_c área de la sección transversal del elemento en mm^2

si $40\% \leq HR < 99\%$ β_{s1}

u perímetro de ésta en contacto con el medio exterior en mm

$$\beta_{HR} = 0,25$$

si $HR \geq 99\%$ β_{s1}

$$\beta_{s1} = (0,35 / f_{cm})^{0,1}$$



E.T.S. CAMINOS, CANALES Y PUERTOS - VALENCIA



Asociación de Ciencias Ambientales de la Comunidad Valenciana (ACA-CV)

Bibliografía

CEB-FIP (1993), Código Modelo (Model Code) 1990. CEB Bull. d'Information Nº 213/214. Ed. Thomas Telford. Londres.

TAYLOR, H.F.V. (1997), Cement Chemistry. 2ª edición. Reimpresión de 1998. Ed. Thomas Telford. Londres.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. (1994), Concreto. Estructura, propiedades e materiais. Ed. Pini Ltda. Sao Paulo, Brasil.

AITCIN, P-C. (1997), Integrated view of shrinkage deformation. Concrete International. Septiembre.

fib (Fédération Internationale du Béton) (1999), Structural concrete.

NEVILLE, A.M. (1995), Properties of Concrete. 4ª y última edición. Reimpresión de 1997. Ed. Addison Wesley Longman Ltd. Essex, Inglaterra.

SOROKA, I. (1979), Portland cement paste and concrete. 1ª edición. Ed. The Macmillan Press Ltd. Londres.

HARTL, G. (1984), Physical processes related to concrete. CEB-RILEM International Workshop: Durability of concrete structures. CEB Bull. d'Information Nº152, Abril.

ACI FALL CONVENTION (1985), Debate: crack with, cover, and corrosion. Concrete International, vol. 7, Nº5, Mayo

FERNÁNDEZ CÁNOVAS, M. (1994), Patología y terapéutica del hormigón armado. 3ª edición, Ed. Colegio de Ing. Caminos, C. y P. Madrid.

CEB (1982), Durability of concrete structures. State of the-Art-Report. CEB Bull. d'Information Nº148. Febrero.

PEREPÉREZ, B.; BARBERÁ, E. (2005), Manual del hormigón estructural. Valencia.

BEEBY, A.W. (1984), Causes of cracking – Summary. CEB-RILEM International Workshop: Durability of concrete structures. CEB Bull. d'Information Nº152. Abril.



E.T.S. CAMINOS, CANALES Y
PUERTOS - VALENCIA



Asociación de Ciencias
Ambientales de la Comunidad
Valenciana (ACA-CV)