

“CONTRACCIÓN POR SECADO DEL HORMIGÓN”

Becario: Marino Patricia Esther

Tutor: Barreda Marcelo Fabián

Área Estructuras y Materiales

Año: 2009

Introducción

La contracción por secado es la deformación más importante no dependiente de las cargas aplicadas que experimenta el hormigón convencional sano y es considerada una de las principales causa de su fisuración. Entre los parámetros no dependientes del hormigón que más afectan la contracción por secado están la humedad relativa, la velocidad y duración del secado, y también las dimensiones lineales del elemento estructural.

La pérdida de agua que provoca la contracción por secado corresponde a la pasta, actuando los agregados como elementos de restricción interna que reducen muy significativamente la magnitud de aquélla. Primero se produce la pérdida del agua libre, lo cual causa poca o ninguna contracción. A medida que continúa el secado, se pierde el agua adsorbida, es decir aquella que se encuentra en estrecho contacto con la superficie sólida de los poros y vacíos de la pasta de cemento endurecida. Se ha sugerido que la mayor causante de esta deformación es la pérdida del agua adsorbida y del agua intercapa del gel de cemento hidratado (C-H-S).

La magnitud de la contracción por secado depende de diversos factores, algunos de ellos vinculados con la composición del hormigón, otros con las condiciones ambientales de exposición, fundamentalmente humedad y temperaturas ambientes, pero también con aspectos vinculados a las dimensiones y forma de la estructura y la cantidad y distribución de las armaduras.

La magnitud de las tensiones de tracción desarrolladas durante el secado del hormigón, y consecuentemente la posibilidad de fisuración, depende de la combinación de factores tales como: a) magnitud de la contracción, b) grado de restricción, c) módulo de elasticidad del hormigón y d) creep o relajación del hormigón. Por lo tanto, en lo que hace a la fisuración, en este caso la contracción es sólo uno de los factores que determinan que aquélla efectivamente se produzca.

Todas aquellas medidas tomadas tanto para el diseño y empleo del hormigón, incluyendo su protección inicial y curado, que tiendan a reducir la contracción por secado del hormigón, reducirán también su tendencia a la fisuración. Pero hay que tener presente que algunas de esas medidas tienden a reducir también el creep o la relajación y a aumentar el módulo de elasticidad del hormigón, lo cual no es deseable para estos efectos.

En definitiva, la reducción de la tendencia a la fisuración por contracción por secado requiere también de medidas vinculadas con el proyecto estructural, en cuanto a la cantidad y distribución de armaduras y a distribución de juntas. Para minimizar y hasta eliminar la tendencia a la fisuración por estas causas también se pueden utilizar hormigones de contracción compensada, pero su uso está limitado a determinadas aplicaciones [1].

La contracción por secado se determina utilizando la norma argentina IRAM 1597, método de ensayo de cambio de largo en morteros y hormigones de cemento Pórtland.

Contracción por Secado del Hormigón

Durante su secado, el hormigón se contrae. Donde no haya restricción, el movimiento ocurre libremente y no desarrolla tensiones y fisuras (Figura 1 superior). Si los esfuerzos de tracción que resultan de la contracción por secado restringida superan la resistencia a tracción del hormigón, se desarrollan fisuras (Figura 1 inferior). Fisuras aleatorias se pueden desarrollar si las juntas no se espacian adecuadamente y el hormigón está restringido en cuanto a su acortamiento (Figura 2). Las juntas de contracción en losas sobre el terreno deben espaciarse con distancias de 24 a 36 veces el espesor de la losa para que puedan controlar las fisuras aleatorias (Figura 3). Las juntas en muros son igualmente importantes para el control de la fisuración (Figura 4).

Contracción y agrietamiento

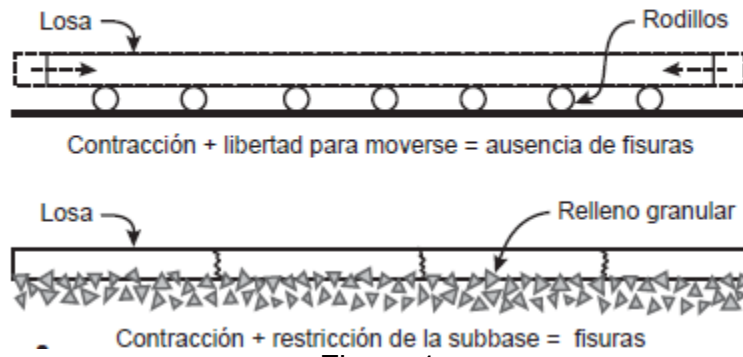


Figura 1



Figura 2



Figura 3



Figura 4

Fig. 1 No hay desarrollo de fisuración en el hormigón que esté libre para contraerse (losa sobre rodillos). Sin embargo, una losa sobre el terreno está restringida por la subbase (u otro elemento), creando tensiones y fisuras.

Fig. 2 Fisuras típicas de contracción de una losa sobre el terreno.

Fig. 3 Una junta de contracción que funciona adecuadamente controla la localización de las fisuras de contracción.

Fig. 4 Juntas de contracción en las losas y muro presentados aquí, minimizarán la formación de fisuras.

La figura 5 muestra la relación entre la tasa de secado en diferentes profundidades, contracción por secado y pérdida de masa del hormigón de densidad normal (Hanson 1968). La contracción puede continuar por muchos años, dependiendo del tamaño y de la forma del hormigón. La tasa y la cantidad final de contracción son normalmente menores en grandes masas de hormigón que en pequeñas masas, por otro lado, la contracción continúa por un periodo más largo, en grandes masas. Relaciones volumen-área superficial mayores (elementos grandes) experimentan menos retracción, como se enseña en la Figura 6.

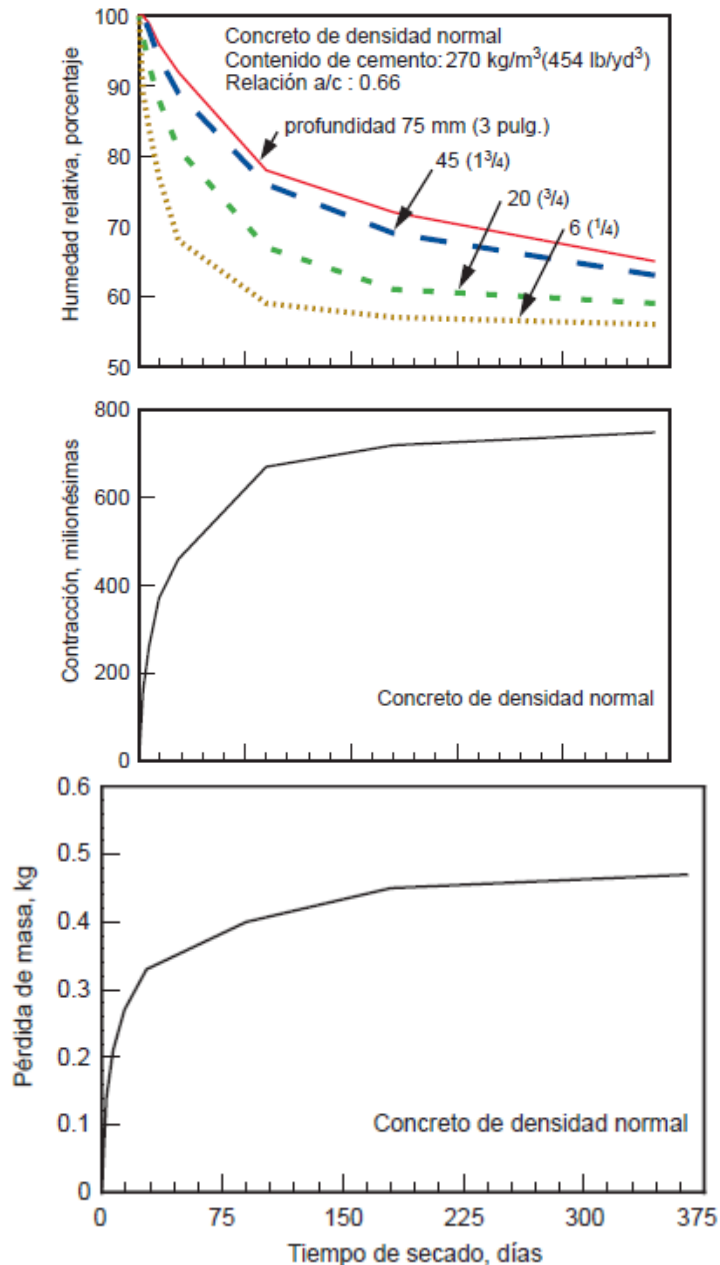


Fig. 5. Distribución de la humedad relativa en varias profundidades, contracción por secado y pérdida de masa de cilindros de 150 x 300 mm (6 x 12 pulg.) sometidos a curado húmedo por 7 días y posteriormente secados en ambiente de laboratorio a 23° C (73° F) y 50% HR (Hanson 1968).

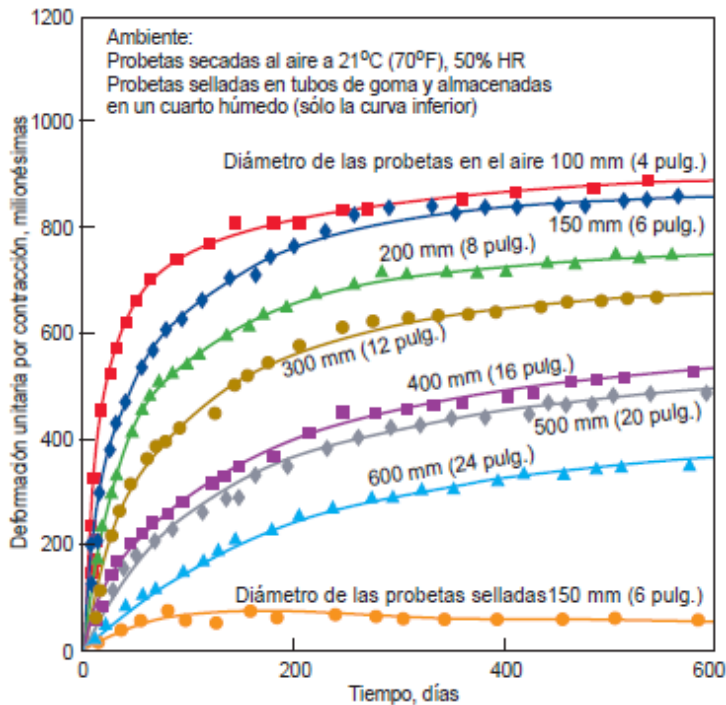


Fig. 6. Contracción por secado de cilindros de varios tamaños producidos con Elgin, hormigón de grava de Illinois (Hansen y Mattock 1966).

La tasa y la cantidad de contracción por secado en pequeños especímenes producidos con varios tipos de cemento se presentan en la Figura 7. Los especímenes tuvieron inicialmente un curado húmedo por 14 días a 21°C (70°F), después se almacenaron al aire por 38 meses a la misma temperatura y con humedad relativa de 50%. La contracción registrada en la edad de 38 meses varió de 600 a 790 millonésimas. El promedio de 34% de esta contracción ocurrió en el primer mes y, al final de 11 meses, se registró un promedio de 90% con relación a la contracción a los 38 meses.

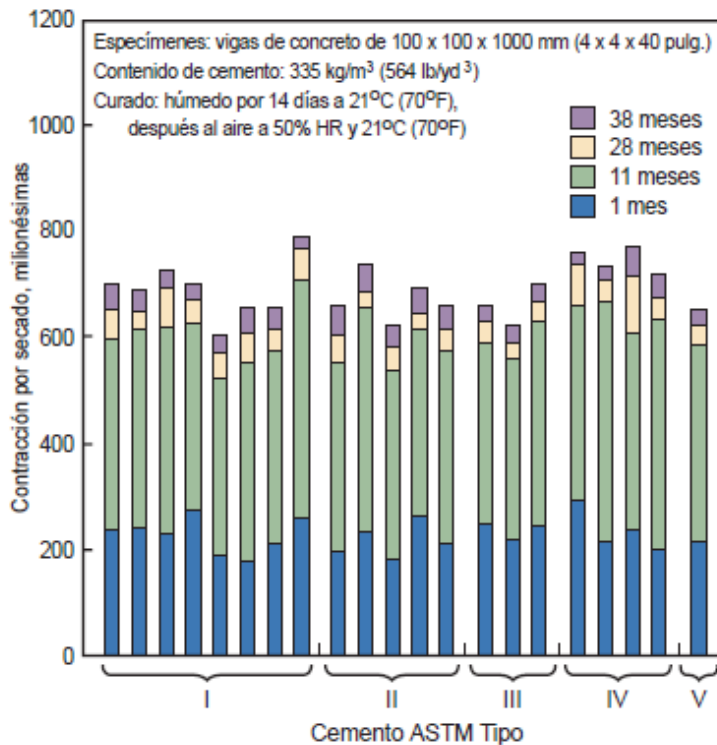


Fig. 7. Resultados de larga duración de ensayos de contracción por secado del Departamento de Recursos Hídricos Norteamericano (U.S. Bureau of Reclamation). La contracción varió de 600 a 790 millionésimas después de 38 meses de secado. En este estudio, la contracción de los hormigones producidos con cementos con aire incluido fue similar a la contracción de los hormigones sin aire incluido (Bureau of Reclamation 1947 y Jackson 1955).

Factores que Afectan la Contracción

Componentes

El factor controlable más importante, que afecta la contracción por secado, es la **cantidad de agua por unidad de volumen de hormigón**. La Figura 8 presenta los resultados de ensayos que muestran la relación entre contenido de agua y contracción por secado. Se puede minimizar la contracción manteniéndose el contenido de agua lo más bajo posible. Esto se puede lograr haciendo que el contenido de agregado grueso sea lo más alto posible (disminuyéndose el contenido de pasta).

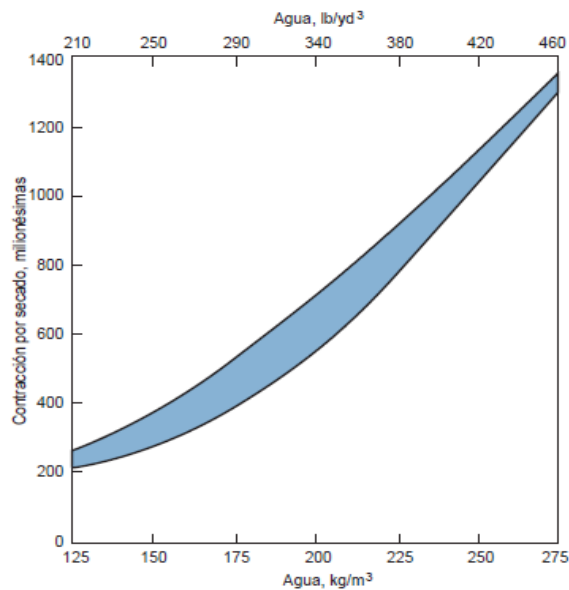


Fig. 8. Relación entre el contenido total de agua y la contracción por secado. El área sombreada representa un gran número de mezclas con varias proporciones. La contracción por secado aumenta con el incremento del contenido de agua.

El uso de bajo revenimiento (asentamiento de cono de Abrams) y métodos de colocación (colado) que minimizan los requisitos de agua son factores fundamentales en el control de la contracción del hormigón. Cualquier práctica que aumente los requisitos de pasta de cemento, tales como uso de alto asentamiento (sin superplastificantes), temperaturas del hormigón fresco excesivamente altas, contenido alto de agregado fino o uso de agregado grueso de tamaño pequeño incrementará la contracción. Una pequeña cantidad de agua se puede adicionar al hormigón premezclado en la obra sin afectar las características de contracción por secado, siempre que las adiciones estén de acuerdo con las especificaciones de mezcla (Suprenant y Malisch 2000).

La uniformidad general de la contracción en hormigones con **diferentes tipos de cemento** en diversas edades se muestra en la Figura 7. Sin embargo, esto no significa que todos los cementos o materiales cementantes tienen contracción similar. Los materiales cementantes suplementarios en dosis normales normalmente tienen poco efecto sobre la contracción. La Figura 9 muestra que los hormigones con dosis normales de cenizas volantes seleccionadas tuvieron un desempeño similar al hormigón de control, producido sólo con cemento portland como material cementante.

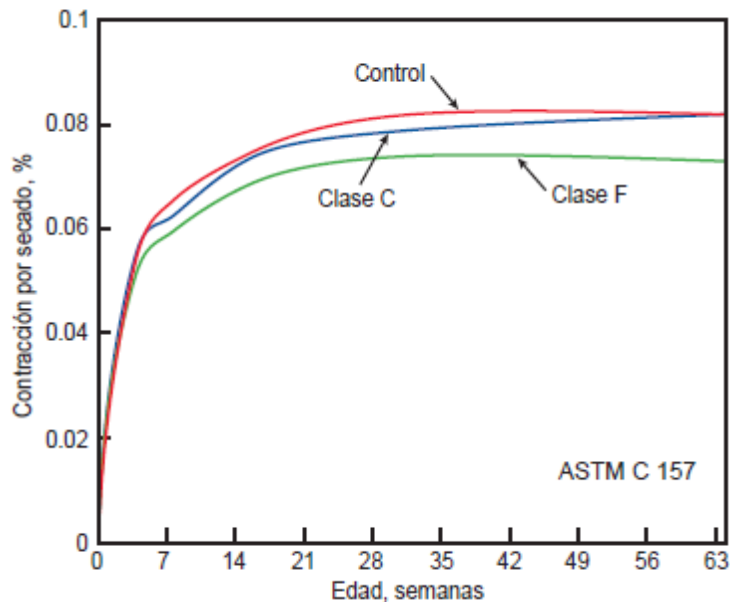


Fig. 9. Contracción por secado de hormigones con ceniza volante comparada con una mezcla de control. Los gráficos representan el promedio de cuatro cenizas volantes clase C (ASTM) y seis cenizas clase F (ASTM), con la contracción por secado raramente superando 0.01 punto porcentual. La dosis de ceniza volante fue de 25% del material cementante (Gebler y Klieger 1986).

Los **agregados en el hormigón**, especialmente los agregados gruesos, restringen físicamente la contracción de la pasta de cemento en hidratación. *La granulometría, el tamaño máximo, la forma y la textura del agregado se han sugerido como factores que influyen en la contracción. Se acepta en general que el módulo de elasticidad del agregado es lo más importante; la influencia de otras características del agregado puede ser indirecta, es decir a través de su efecto en el contenido de agregado del hormigón, o sobre su compactabilidad. La importancia del módulo de elasticidad del agregado en el control de las deformaciones es obvia de acuerdo con los datos de Troxell y otros¹, que muestran que la contracción se incrementa 2.5 veces cuando un agregado con un módulo de elasticidad alto fue sustituido por un agregado con bajo módulo de elasticidad.* El contenido de pasta afecta la contracción por secado de los morteros más que la de los hormigones. *En cuanto al influencia del tipo de agregado, los duros y rígidos difícilmente se comprimen y proporcionan más restricción a la contracción que los agregados más blandos y menos rígidos. Como un ejemplo extremo, si pelotas de acero sustituyesen el agregado grueso común, se disminuiría la contracción en 30% o más. La contracción por secado se puede reducir evitándose agregados que tienen contracción por secado alta, y agregados que contienen grandes cantidades de arcilla. Agregados de cuarzo, granito, feldespato, caliza y dolomita generalmente producen hormigones con baja contracción por secado (ACI comité 224).*

La mayoría de los **aditivos químicos** tienen poca influencia sobre la contracción. Sin embargo, el uso de aceleradores, tales como el cloruro de calcio, aumenta la contracción por secado del hormigón. Algunos aditivos reductores de agua, principalmente aquéllos que contienen un acelerador para compensar el efecto retardador del aditivo, a pesar de la disminución del contenido de agua, pueden aumentar la contracción por secado. Tanto los aditivos reductores de agua de alto rango (Fig. 10) como los inclusores de aire tienen poco efecto sobre la contracción por secado.

¹ G. E. Troxell, J. M. Raphael y R. E. Proc. ASTM, Vol. 58, Págs. 1101-20, 1958

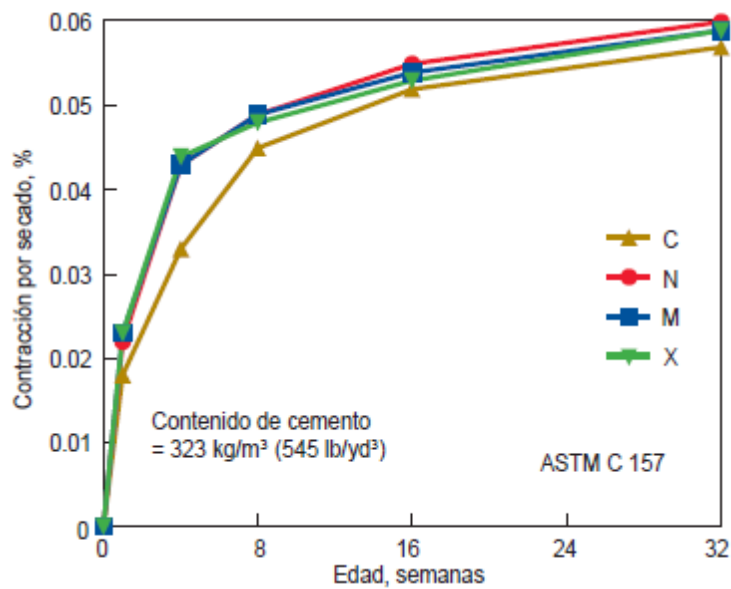


Fig. 10. Contracción por secado del hormigón, producidos con reductores de agua de alto rango seleccionados, (N, M y X), comparados con una mezcla de control (c) (Whiting y Dziedzic 1992).

Curado

La **duración y el tipo de curado** pueden afectar la tasa y la cantidad final de la contracción por secado. Los compuestos de curado, selladores y revestimientos pueden retener la humedad libre en el hormigón por largos periodos de tiempo, retrasando la contracción por secado. Los métodos de curado húmedo, tales como la niebla, el rociado o el yute húmedo, retardan la contracción hasta que el curado se haya acabado, después de los cuales, el hormigón se seca y se contrae a una tasa normal. Temperaturas iniciales de curado más bajas pueden disminuir la contracción por secado (Fig. 11). El curado al vapor también reduce la contracción por secado. Están disponibles programas de computadora para predecir el efecto del curado y de las condiciones ambientales sobre la contracción y el fisuración (FHWA y Transtec 2001). Hedenblad (1997) ofrece herramientas para el pronóstico de la contracción por secado para diferentes métodos de curado y tipo de construcción [2]

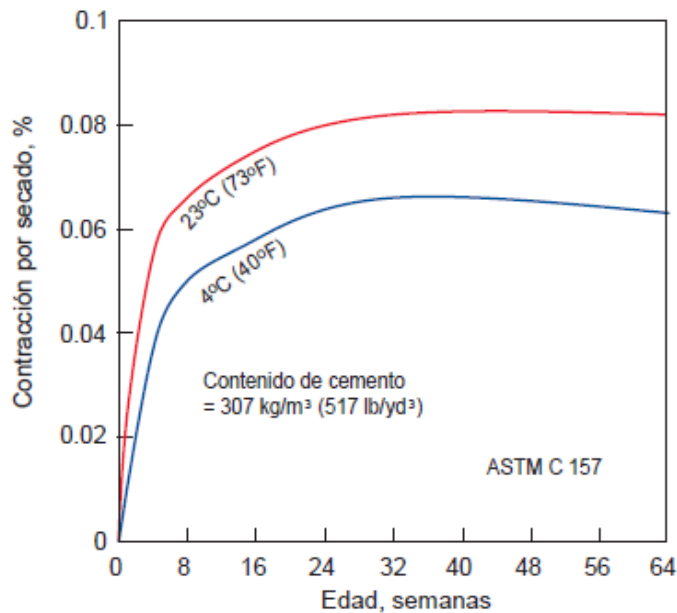


Fig. 11. Efecto del curado inicial sobre la contracción por secado de prismas de hormigón de cemento portland. El hormigón con curado húmedo inicial de siete días a 4°C (40°F) tuvo menos contracción que un hormigón con curado húmedo inicial a 23°C (73°F). Se obtuvieron resultados similares en hormigóns conteniendo 25% de ceniza volante como parte del material cementante (Gebler y Klieger 1986).

Tiempo y humedad

La difusión del agua adsorbida y el agua retenida por la tensión capilar en pequeños poros (por debajo de 50mm) de la pasta de cemento hidratada, hacia los grandes vacíos capilares dentro del sistema o hacia la atmósfera, es un proceso dependiente del tiempo que tiene lugar en periodos largos.

En pruebas a largo plazo, que duraron mas de 20 años, Troxell y otros encontraron que para un amplio rango de proporciones de la mezcla, tipos de agregado y condiciones ambientales y de carga, solamente de 20 a 25% de la contracción por secado de 20 años, se llevo a cabo en 2 semanas, 50 a 60% en 3 meses y 75 a 80 % en un año.

Geometría del elemento de hormigón

Debido a la resistencia del agua a transportarse del interior del concreto a la atmósfera, la velocidad de la perdida de agua será obviamente controlada por la longitud de la senda recorrida por el agua que esta siendo expelida durante la contracción por secado. A una humedad relativa constante, tanto el tamaño como la forma de un elemento de hormigón determinan la magnitud de la contracción. Es conveniente expresar los parámetros del tamaño y la forma por una simple cantidad de términos de espesor efectivo o *espesor teórico*, que es igual al área de la sección dividida el semiperimetro en contacto con la atmósfera [3].

Conclusión

Para minimizar los riesgos asociados a la aparición de fisuras de contracción se han desarrollado distintos recursos. Algunos de ellos asociados con el diseño de la mezcla, otros con el diseño estructural del elemento o simplemente previendo adecuadamente la ocurrencia de fisuras para guiarlas mediante juntas de control.

En lo que se refiere al diseño de la mezcla, la contracción esta asociada con el contenido y calidad de la pasta de cemento, además del desarrollo del grado de hidratación. La solución más elemental es incrementar el tamaño máximo del agregado y emplear

aditivos reductores de agua, aun cuando no este totalmente claro si este último recurso trae ventajas significativas en lo que respecta a la reducción de la contracción. El tipo y mineralogía del agregado también influye, análogamente a lo que ocurre con los distintos tipos de cemento.

Si se aborda el problema desde un punto de vista estructural, lo que se intenta entonces es absorber las tensiones de tracción mediante la armadura dimensionada a tal efecto. Básicamente, el acero no controla el nivel global de la contracción del hormigón (aunque esta puede restringirse parcialmente) sino que permite distribuir la fisuración de modo que no sea perjudicial para la resistencia y durabilidad del elemento estructural. Un caso que merece mención especial es el uso del pretensado para el control de la fisuración. En este caso no se controla la contracción sino que se evita la fisuración del hormigón mediante la aplicación de un esfuerzo de compresión originado en el tesado de la armadura.

El diseño y ejecución de juntas de control permite guiar el desarrollo de las fisuras para que tengan un aspecto aceptable desde un punto de vista estético y, lo más importante, para poder proceder a su tratamiento correspondiente (sellado e impermeabilización, si fuera necesario). El ejemplo más común lo encontramos en la ejecución de pavimentos de hormigón.

Entre los distintos hormigones especiales diseñados para reducir la tendencia a la fisuración o incluso evitarla, hay dos grandes grupos: aquellos que mediante el uso de aditivos especiales actúan de forma de reducir la contracción (aditivos reductores de contracción) y los que la compensan, total o parcialmente, mediante la generación de expansiones controladas en la masa, y que se conocen como *hormigones de contracción compensada* (HCC).

Referencias

- Klaric Milán. E., "Fisuración y Ataques Físicos al Hormigón", en AAVV, Durabilidad del Hormigón Estructural, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Irassar, Edgardo F. (ed.), La Plata, Provincia de Buenos Aires, República Argentina, 2001, pp. 54-58.
- Kosmatka, Steven H., Kerkhoff, Beatriz, Panarese, William C., Tanesi, Jussara, "Diseño y Control de Mezclas de Hormigón", Portland Cement Association, Skokie, Illinois, EE.UU., 2004, pp. 308-312.
- Mehta, P. Kumar, Monteiro, Paulo J. M. "Concreto. Estructura, propiedades y materiales", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, México, 1998, pp. 57-82
- Fernández Luco, Luis, "Hormigón de contracción compensada", en AAVV, Hormigones Especiales, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Irassar, Edgardo F. (ed.), La Plata, Provincia de Buenos Aires, República Argentina, 2004, pp.183-213.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.