



**Universidad Tecnológica Nacional**  
**Facultad Regional La Plata**

**“EI FENÓMENO DE CONTRACCIÓN EN PAVIMENTOS  
DE HORMIGON”.**

**Centro de investigaciones Viales LEMaC**  
**Área: Estructuras y Materiales de Construcción**  
**Becario: Daniel Monzon**  
**Director Tesis: Marcelo Barreda**

# EL FENÓMENO DE CONTRACCIÓN EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

**Monzón J.D.**

LEMaC – UTN – FRLP – 60 y 124 (1900) – Tel. 02214890413- Email : lemac@frlp.utn.edu.ar

## **Resumen**

La fisuración es una preocupación crítica en pavimentos de hormigón porque debilita el pavimento y conduce a un deterioro prematuro que acorta su vida útil. La contracción por secado causa a menudo fisuración en el hormigón cuando se lo restringe de contraerse libremente por refuerzo, inclusiones, o fricción de la base. El entendimiento de los factores que producen la fisuración por contracción en el hormigón es vital para el diseño y construcción de pavimentos más durables.

La contracción ocurre como resultado de pérdida de humedad. La cantidad de contracción experimentada es dependiente de varios factores incluyendo: condiciones medioambientales, edad, condiciones de curado, geometría, y composición del material. La temperatura ambiente alta, la velocidad del viento alta, y humedad relativa baja aceleran la pérdida de agua producen una proporción más alta de contracción.

Palabras claves: Fisuración, contracción.

## **1.- Introducción**

La exposición del hormigón a un ambiente no saturado de humedad provoca su contracción, tanto en el estado fresco como endurecido. Este fenómeno, que se produce a una temperatura ambiente, es favorecido a su vez, cuando existe una considerable acción del viento y también cuando aumenta la temperatura. Cuando la contracción es controlada, por sí sola no provoca efectos desfavorables sobre el material e inevitablemente se produce en los hormigones convencionales, por ejemplo, en las pequeñas probetas de ensayo cuando son estacionadas en ambiente de laboratorio. Pero en las estructuras el hormigón se encuentra restringido a los cambios de volumen, ya sea por substratos de fundación, encofrados, armaduras, por el hormigón subyacente sujeto a diferentes condiciones y aún por razones dimensionales, lo cual puede provocar una importante fisuración, tal como se verá más adelante.

La fisuración atenta contra la durabilidad y futuro comportamiento del hormigón, por cuanto las fisuras, además de provocar el debilitamiento del material, facilitan su agresión física química y, especialmente, la de las armaduras, y puede afectar su capacidad para soportar las cargas de diseño, además de dañar su apariencia.

En sentido contrario, cuando el hormigón endurecido cuando se encuentra sumergido en agua o permanentemente expuesto a un ambiente saturado de humedad, experimenta una expansión de magnitud inferior a la contracción mencionada, expansión que normalmente no conduce a la fisuración del material y por lo tanto no atenta su durabilidad.

Las deformaciones que se producen en el hormigón en estado fresco debido a la pérdida del agua no combinada son de dos tipos: consolidación plástica y contracción plástica, y la

que se produce en estado endurecido, también por pérdida de agua no combinada, se denomina **contracción por secado**.

### **3.- Cambios de volumen en el hormigón**

El hormigón cambia ligeramente de volumen por varias razones y la comprensión de la naturaleza de estos cambios es útil para el planeamiento o el análisis de las obras de hormigón. Si el hormigón fuera libre de cualquier restricción para deformarse, los cambios normales de volumen tendrían pocas consecuencias, pero, como el hormigón en servicio normalmente se restringe por los cimientos (cimentación, fundación), subrasante, refuerzo o elementos conectados, se pueden desarrollar esfuerzos considerables. Esto es principalmente verdad para los esfuerzos de tensión (tracción).

Las grietas (fisuras) se desarrollan porque el hormigón es relativamente débil en tensión, pero bastante resistente a compresión. El control de las variables que afectan los cambios de volumen puede minimizar las tensiones elevadas y el agrietamiento. El ancho admisible de las fisuras se debe considerar en el diseño estructural.

El cambio de volumen se define meramente como un incremento o una disminución del volumen. Más comúnmente, el tema del cambio de volumen del hormigón trata de la expansión lineal y al contracción ocasionada por ciclos de temperatura y humedad. Sin embargo, los efectos químicos como la contracción (retracción) por carbonatación, el ataque de sulfatos y la expansión perjudicial resultante de la reacción álcali-agregado también pueden causar cambios de volumen. También la fluencia es un cambio de volumen o una deformación causada por esfuerzos a cargas sostenidos. Igualmente importantes son los cambios elástico e inelástico en las dimensiones o forma, que ocurren instantáneamente bajo la aplicación del esfuerzo.

Por conveniencia, la magnitud de los cambios de volumen generalmente expresa en unidades lineales en lugar de volumétricas.

### **4.- Cambios de volumen en edad temprana:**

El cambio de volumen del hormigón empieza justo después del colado (colocación). Los cambios tempranos de volumen y la formación de fisuras en el hormigón endurecido, especialmente en hormigón endurecido, especialmente en hormigones con una baja relación agua - cemento. Siguen las discusiones sobre diversas formas de cambios de volumen a edad temprana.

- Contracción química (inicio del fraguado)
- Contracción autógena (después del fraguado)
- Contracción plástica: Se refiere a los cambios que ocurren mientras el hormigón aún está fresco, antes de endurecerse. Normalmente, se presenta en la forma de fisuras por contracción plástica, que ocurren antes o durante el acabado.
- *Contracción por secado*

### **5.- Contracción por secado: Cambios de humedad del hormigón endurecido.**

Los cambios volumétricos que experimenta el hormigón, habitualmente se establecen en términos de cambios relativos de longitud, empleándose para ello la unidad millonésimos.

Las contracciones que ocurren en el hormigón por causas vinculadas con la pérdida de agua no combinada desde unos pocos millonésimos hasta 1000 millonésimos.

Una vez endurecido, cuando el hormigón se seca, se contrae y cuando se humedece nuevamente, se expande, aunque sin recuperar la dimensión original, por cuanto en su contracción por secado existe una componente irreversible. 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 causas de su fisuración. Entre los parámetros no dependientes del hormigón el que más afecta 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 elemento 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 absorbida, 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 absorbida y del agua intercapa del gel de cemento hidratado (C-S-H).

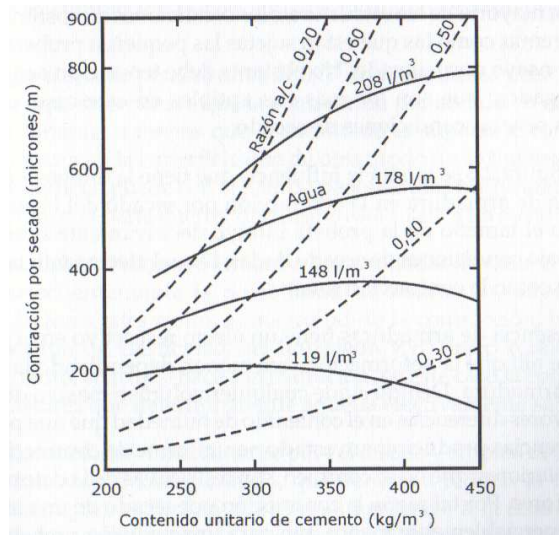
La magnitud de la contracción por secado depende de diversos factores, algunos vinculados con la composición del hormigón, otros con las condiciones ambientales de exposición, fundamentalmente humedad y temperaturas ambiente, pero también con aspectos vinculados a las dimensiones y forma de la estructura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

Estos cambios de volumen inducidos por los cambios de humedad son una característica propia del hormigón. Si la retracción del hormigón se produjera de manera no restringida el hormigón no se fisuraría. Es la combinación de la retracción y la restricción (generalmente proporcionada por otra parte de la estructura o por la subrasante) lo que provoca el desarrollo de tensiones de tracción. Cuando se supera la resistencia a la tracción del hormigón este se fisura. Las fisuras se pueden propagar a tensiones mucho menores que las requeridas para provocar el inicio de la fisuración.

En los elementos de hormigón masivo hay tensiones de tracción provocadas por la retracción diferencial entre el hormigón de la superficie y el hormigón del interior de la masa. La mayor retracción de la superficie provoca el desarrollo de fisuras, que con el tiempo pueden penetrar más profundamente hacia el interior del hormigón.

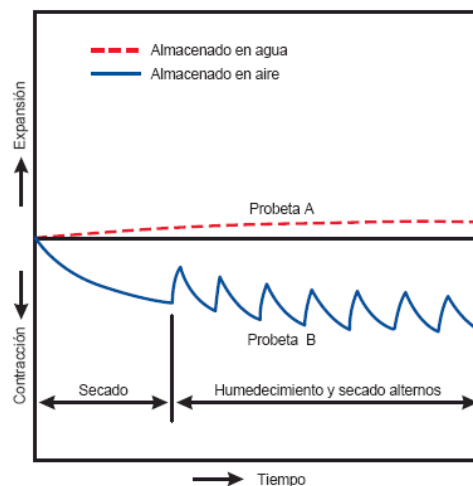
La magnitud de las tensiones de tracción inducidas por los cambios de volumen está influenciada por una combinación de diferentes factores, incluyendo la magnitud de la retracción, el grado de restricción, el módulo de elasticidad y la magnitud de la fluencia lenta. La magnitud de la retracción por secado depende principalmente de la calidad y el tipo de agregados y el contenido de agua de la mezcla. Cuanto mayor sea la cantidad de agregados, menor será la retracción del hormigón (Pickett, 1956). Cuanto más rígido sea el agregado, más efectivo será para reducir la retracción del hormigón (por ejemplo, la retracción de un hormigón que contiene arenisca puede ser más del doble que la de un hormigón que contiene granito, basalto o caliza (Carlson, 1938)). Cuanto mayor sea el contenido de agua, mayor será la retracción por secado (U.S. Bureau of Reclamation, 1975).

El contenido de agua de la mezcla es el factor más simple que más influye sobre la contracción por secado del hormigón, tal como se aprecia en la figura 1.a. Correspondientes a hormigones curados en agua durante siete días y luego expuestos al aire a 21°C y 50% de humedad relativa.



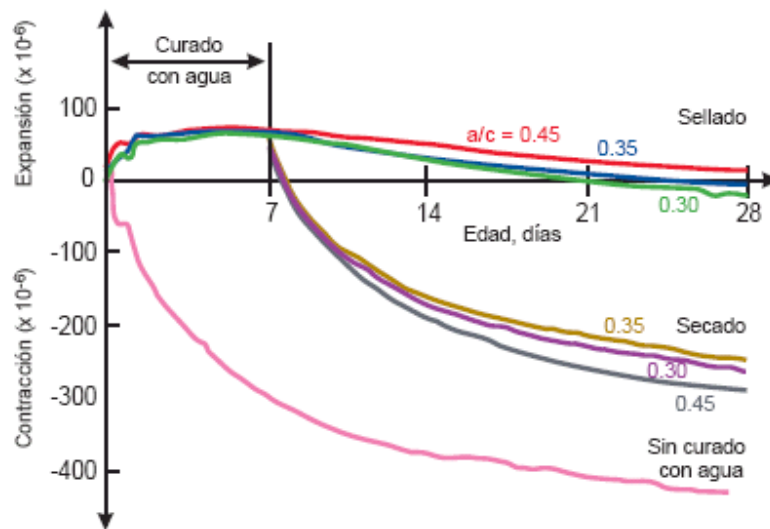
**Figura 1.a:** Influencia de los contenidos unitarios de agua y de cemento y de la razón a/c en la contracción por secado en el hormigón.

El hormigón endurecido se expande ligeramente con el aumento de la humedad y se contrae con la pérdida de la misma. Los efectos de estos ciclos de humedad se ilustran esquemáticamente en la figura 1.b. la probeta A representa el concreto almacenado constantemente en agua desde su colocación. La probeta B representa el mismo hormigón expuesto primeramente al secado del aire y después a ciclos alternados de humedecimiento y secado.



**Figura 1.b:** Ilustración esquemática de los movimientos de humedad del concreto.

Se debe observar que la expansión que ocurre durante el almacenamiento húmedo continuo durante un periodo de varios años es normalmente menor que 150 millonésimos. Esto es cerca de un cuarto de la contracción del hormigón secado al aire durante el mismo periodo. La figura 2 muestra que hay una expansión de los hormigones sujetos a curado húmedo por siete días, seguido la contracción, cuando se los sella o se los expone al secado al aire. La contracción (retracción) autógena reduce el volumen de los hormigones sellados a un nivel aproximadamente igual a la magnitud de la expansión a siete días. Observe que los hormigones curados con humedad por siete días tuvieron menos contracción autógena y por secado que el concreto sin curado húmedo. Esto muestra la importancia del curado húmedo temprano para minimizar la contracción (Aïtcin 1999).



**Figura 2:** Cambio de longitud de especímenes de hormigón expuestos a diferentes regímenes de curado.

Los ensayos indican que la contracción por secado de probetas pequeñas de hormigón simple (sin refuerzo) varía de cerca de 400 a 800 millonésimos, cuando son expuestas al aire a una humedad de 50%. El hormigón con una contracción unitaria de 550 millonésimos acorta cerca de la misma cantidad de la contracción térmica causada por una disminución de la temperatura de 55°C (100°F). El hormigón con agregado precolocada tiene una contracción por secado de 200 a 400 millonésimos, que se considera menos que el concreto normal, debido al contacto punta-a-punta de las partículas de agregado. La contracción por secado del hormigón ligero (liviano) estructural tiene una variación de casi 30% más que el concreto de densidad normal, dependiendo del tipo de agregado empleado.

La contracción por secado del hormigón reforzado es menor que aquella del concreto simple y la diferencia depende de la cantidad de refuerzo. El acero de refuerzo restringe, pero no previene, la contracción por secado. En estructuras de concreto reforzado con

cantidades normales de refuerzo, la contracción por secado es cerca de 200 a 300 millonésimos. Valores similares se encontraron en losas sobre el terreno restringidas por la subrasante.

En muchas aplicaciones externas, el concreto alcanza su contenido máximo de humedad en el invierno. Por lo tanto, en esta época, el cambio de volumen debido al incremento de humedad tiende a compensarse con el cambio resultante de la disminución del promedio de temperatura.

La cantidad de humedad en el concreto se afecta por humedad relativa del aire ambiente. El contenido de humedad libre de los elementos de concreto, después de secados al aire a una humedad relativa del 50% al 90% por varios meses, se cerca del 1% al 2% de la masa del concreto. La cantidad real depende de los constituyentes del concreto, contenido original de humedad, condiciones de secado, tamaño y forma del elemento de concreto. Después que el concreto se haya secado hasta una humedad, una disminución de la humedad relativa hace con que pierda humedad y un incremento hace que gane humedad. El concreto se contrae o se expande con cada cambio de contenido de humedad debido principalmente a las respuestas de la pasta de cemento a los cambios de humedad. La mayoría de los agregados presenta poca respuesta a los cambios de contenido de humedad, aunque hay pocos agregados que se expanden o contraen en respuesta a estos cambios.

Durante su secado, el concreto se contrae. Donde no haya restricción, el movimiento ocurre libremente y no desarrolla esfuerzos y fisuras (Figura 3 superior). Si los esfuerzos de tensión (tracción) que resultan de la contracción por secado restringida superan la resistencia a tracción del concreto, se desarrollan grietas (Figura 3.a inferior). Fisuras aleatorias se pueden desarrollar si las juntas si no se espacian adecuadamente y el concreto está restringido en cuanto a su acortamiento (figura 3.b). 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.c). Las juntas en muros son igualmente importantes para el control del agrietamiento (figura 3.d). La figura 4 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 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 contracción, como se enseña en la figura 5.

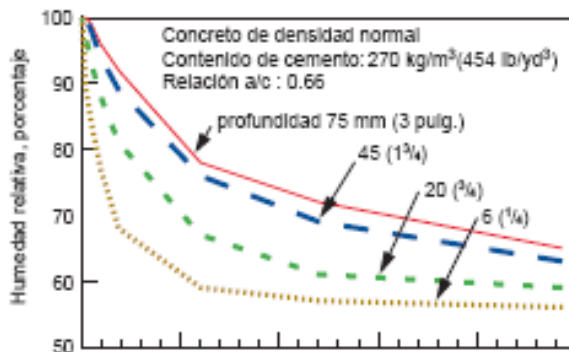
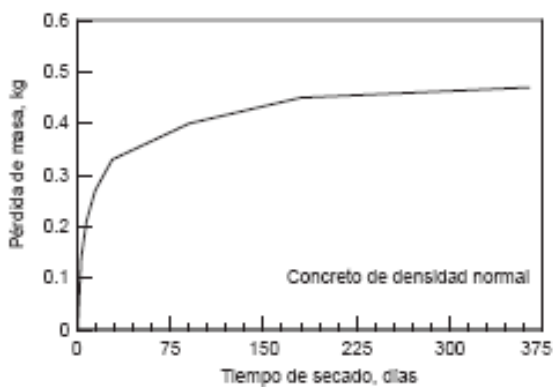
La tasa y la cantidad de contracción por secado en pequeños especímenes producidos con varios tipos de cemento se presenta en la figura 6. Los especímenes tuvieron inicialmente un curado húmedo por 14 días a 21°C, después se almacenaron al aire por 38 meses a la misma temperatura y con humedad relativa de 50%.

La contracción registrada en la edad de 38 meses varió de 600 a 790 millonésimos. 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.



**Figura 3:** Ilustración que muestra que no hay desarrollo de agrietamiento en el hormigón que èste libre para contraerse (losa sobre rodillos). Estas son grietas típicas de contracción de una losa sobre terreno.

**Figura 4:** Distribución de la humedad relativa en varias profundidades, contracción por secado y pérdida de masa de cilindros de 150 x 300 mm.

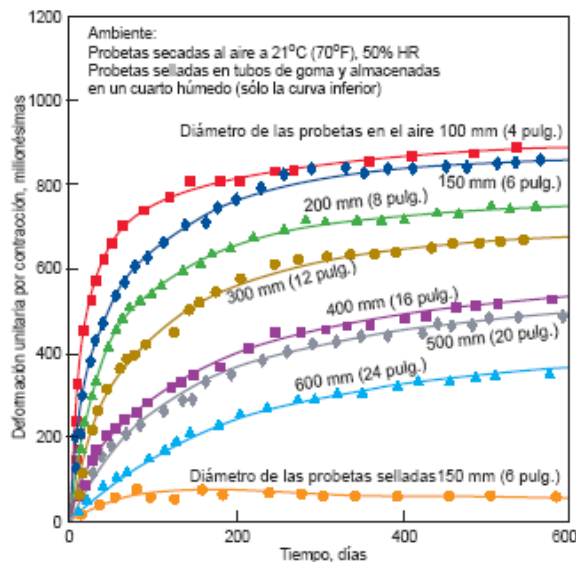


## 6.- Efectos de los ingredientes sobre la contracción por secado.

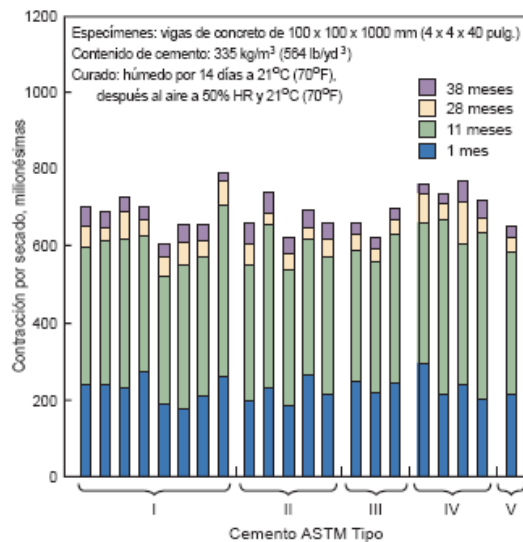
El factor controlable más importante, que afecta la contracción por secado, es la cantidad de agua por unidad de volumen de hormigón. La figura 7 presenta los resultados de



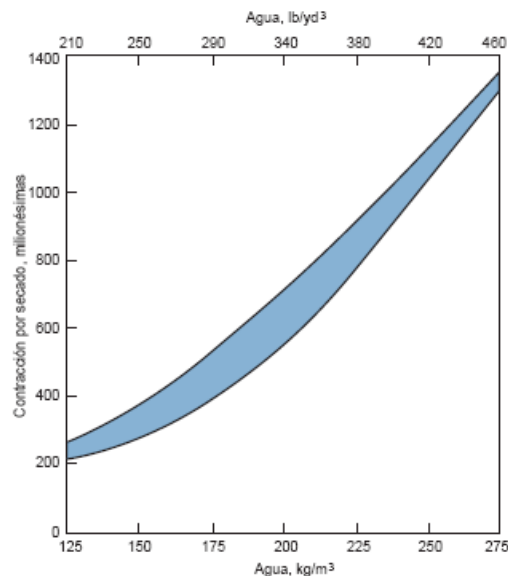
ensayos que muestran la relación entre contenido de agua y contracción por secado. Se puede minimizar la contracción (retracción) manteniéndose el contenido de agua lo más bajo posible. Esto se puede lograr haciendo que el contenido de agregado grueso sea lo más alto posible (disminuyéndose el contenido de la pasta).



**Figura 5:** Contracción por secado de cilindros de varios tamaños.



**Figura 6:** Resultados de larga duración de ensayos de contracción por secado (U.S. Bureau of Reclamation)



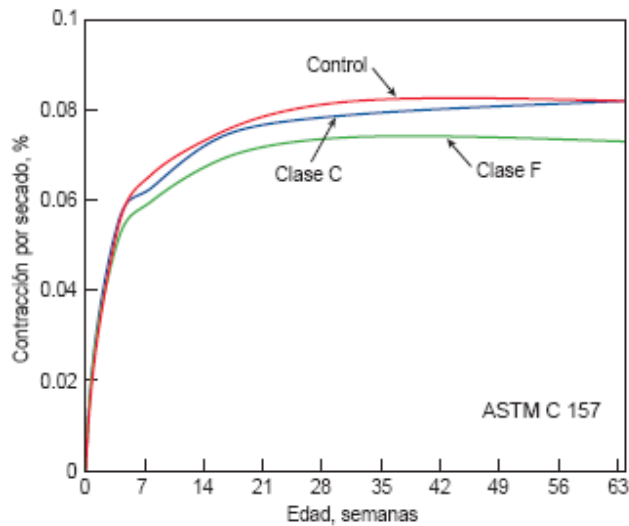
**Figura 7:** Relación entre el contenido total de agua y la contracción por secado.

El uso de bajo revenimiento (asentamiento de cono de abhams) 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 revenimiento (sin súper plastificante), 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 concreto premezclado en la obra sin afectar las características de contracción por secado, siempre que las adiciones estén de acuerdo con las especificaciones de mezcla (Suprennant y Malish 2000).

La uniformidad general de la contracción en hormigones con diferentes tipos de cemento en diversas edades en la figura 6. 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 (retracción). La figura 8 muestra que los concretos en dosis normales de cenizas volantes seleccionados tuvieron un desempeño similar al concreto de control, producido sólo con cemento Pórtland como material cementante.

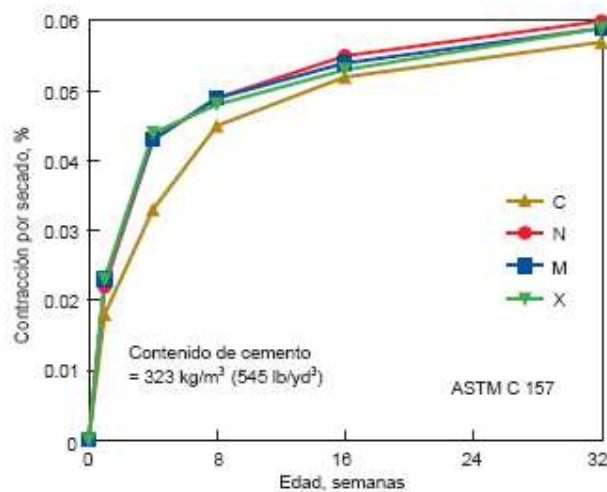
Los agregados en el concreto, especialmente los agregados gruesos, restringen físicamente la contracción de la pasta de cemento en hidratación. El contenido de pasta afecta la contracción por secado de los morteros más que la de los hormigones. La contracción por secado también depende del tipo de agregado. Los agregados rígidos y duros 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 sustituyen 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).



**Figura 8:** Contracción por secado de hormigones de ceniza volante comparada con una mezcla de control.

La mayoría de los aditivos químicos tienen poca influencia sobre la contracción. Sin embargo, el uso de aceleradores, tales como cloruro de calcio, aumenta la contracción por secado del hormigón. Algunos aditivos reductores de agua, principalmente aquellos 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 figura 9 como los inclusores de aire tienen poco efecto sobre la contracción por secado.



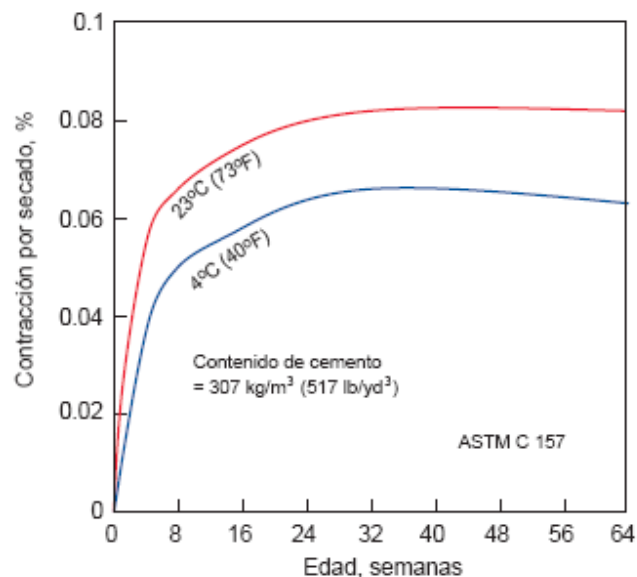
**Figura 10:** Contracción por secado de hormigones, producidos con reductores de agua de alto rango seleccionados (N,M y X), comparados con una mezcla de control ©.

La contracción por secado se puede evaluar a través de:

- ASTM C 157 (AASHTO T 160)
- COVENIN 346
- NCh2221
- NTC 3938

### 6. Efecto del curado sobre la contracción por secado.

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 (Figura 17 ) el curado al vapor también reduce la contracción por secado. Están disponibles programas de computadora para predecir el efecto de curado y de las condiciones ambientales sobre la contracción y el agrietamiento (FHWA y Transtec 2001). Hendenblad (1997) ofrece herramientas para el pronóstico de la contracción por secado para diferentes métodos de curado y tipo de construcción.



**Figura 11:** Efecto del curado inicial sobre la contracción por secado de prismas de hormigón de cemento Portland. Se obtuvieron resultados similares en hormigones conteniendo 25% de ceniza volante como parte del material cementante.

## 7.- Cambios de temperatura en el hormigón endurecido.

El hormigón se expande ligeramente con el aumento de la temperatura y se contrae a medida que ésta disminuye, aunque se puede expandir levemente cuando el agua libre en el hormigón se congela. Los cambios de temperatura se pueden causar por condiciones ambientales o por la hidratación del cemento. Un valor promedio del coeficiente de expansión térmica del hormigón es cerca de 10 millonésimos por grado Celsius (5.5 millonésimos por grado Fahrenheit), a pesar que se observaron valores variando de 6 a 13 millonésimos por grado Celsius (3.2 a 7.0 millonésimos por grado Fahrenheit). Esto resulta en cambios de longitud de 5 mm por 10 metros de hormigón, sometidos a aumento o disminución de temperatura de 50°C. El coeficiente de expansión térmica para el hormigón estructural de baja densidad (ligero) varía de 7 a 11 millonésimos por grado Celsius. El coeficiente de expansión térmica del hormigón se puede determinar a través de la AASHTO TP 60.

La expansión y la contracción térmica del hormigón varían con factores tales como el tipo de agregado, el contenido de cemento, la relación agua-cemento, la variación de la temperatura, la edad del hormigón y la humedad relativa. De éstos, el tipo de agregado tiene mayor influencia.

La tabla 1 muestra algunos valores experimentales del coeficiente de expansión térmica de hormigones producidos con varios tipos de agregados. Estos datos se obtuvieron a través de pruebas en especímenes pequeños, en los cuales todos los factores fueron los mismos, con excepción del tipo de agregado. En cada caso, el agregado fino era el mismo material que el agregado grueso.

Tipo de agregado de una fuente	Coeficiente de expansión, millonésimos por °C	Coeficiente de expansión, millonésimos por °F
Cuarzo	11.9	6.6
Arenisca	11.7	6.5
Grava	10.8	6.0
Granito	9.5	5.3
Basalto	8.6	4.8
Caliza	6.8	3.8

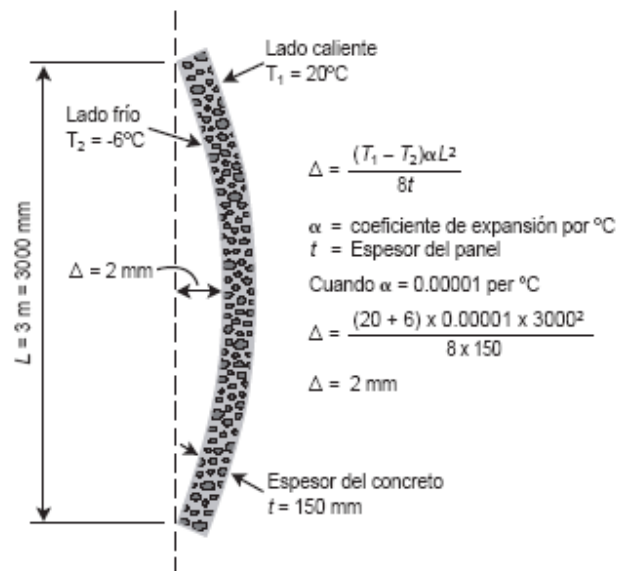
**Tabla 1:** Efecto del tipo de agregado sobre el coeficiente de expansión térmica.

El coeficiente de expansión térmica del acero es cerca de 12 millonésimos por grado Celsius, el cual se compara al del hormigón. El coeficiente del hormigón reforzado se puede asumir como el promedio del hormigón y del acero, o sea, 11 millonésimos por grado Celsius.

Los cambios de temperatura que resultan en contracciones pueden figurar los elementos de hormigón que son altamente restringidos por otra parte de la estructura o por fricción (rozamiento) con el terreno. Considere un elemento de hormigón largo, restringido, colado (colocado) sin juntas, que, después del curado húmedo, tuvo una disminución de temperatura baja, el hormigón tiende a acortarse, pero no lo consigue pues está restringido longitudinalmente. Los esfuerzos de tracción resultantes pueden agrietar el hormigón.

Tanto la resistencia a la tracción del hormigón como el modulo de elasticidad del concreto se pueden asumir como proporcionales a la raíz cuadrada de la resistencia a compresión del hormigón, y los cálculos enseñan que una caída muy acentuada de la temperatura va a grietar el hormigón, a pesar de su edad o resistencia, siempre que el coeficiente de expansión no cambie con la variación de temperatura y el concreto esté totalmente restringido (FHWA y Transtec 2001 y PCA 1982).

Los paneles prefabricados (premoldeados, precolocados) para muros, losas y pavimentos sobre el terreno son susceptibles a la flexión y al alabeo, causados por gradientes de temperatura que se desarrollan cuando el hormigón está frío en uno de los lados y caliente en el otro. La cantidad calculada de alabeo en un panel de muro se ilustra en la figura 12. Para el efecto de los cambios de temperatura en el hormigón masivo, debidos al calor de hidratación.



**Figura 12:** Alabeo de un muro de hormigón simple ocasionado por la variación uniforme de la temperatura desde el interior al exterior.

- **Temperaturas bajas.**

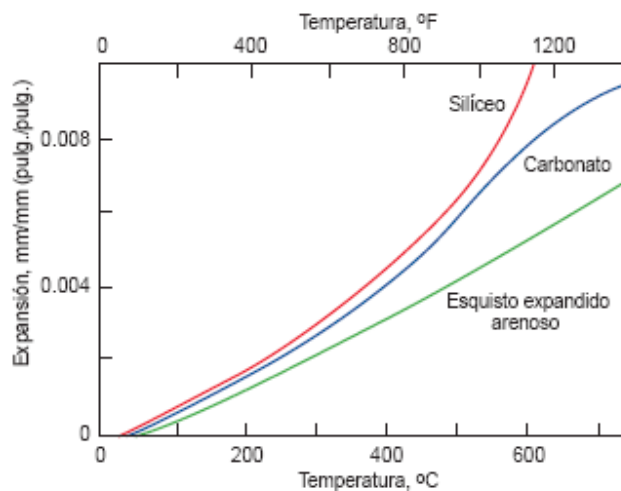
El hormigón continúa a contraerse a medida que la temperatura disminuye por debajo de la congelación. La magnitud del cambio de volumen a temperatura bajo  $0^\circ\text{C}$  es altamente influenciada por el contenido de humedad, el comportamiento del agua (estado físico-hielo o líquido) y el tipo de agregado en el hormigón. En un estudio, el coeficiente de expansión térmica para el rango de  $24^\circ\text{C}$  a  $-157^\circ\text{C}$  varió de  $6 \times 10^{-6}$  por  $^\circ\text{C}$  en mezclas con arena y grava. Temperaturas bajo  $0^\circ\text{C}$  pueden aumentar considerablemente las resistencias a compresión y a tracción y el modulo de elasticidad del hormigón húmedo. Las propiedades del hormigón seco no se afectan por las bajas temperaturas. En el mismo estudio, el concreto húmedo, con una resistencia a compresión originalmente de  $35 \text{ Mpa}$  a  $24^\circ\text{C}$ , alcanzo mas de  $117 \text{ Mpa}$  a  $-100^\circ\text{C}$ . El mismo hormigón ensayado, que se ha secado al horno a  $50\%$  de humedad relativa interna, tuvo un incremento de resistencia de sólo cerca

de 20%. El módulo de elasticidad para el hormigón con arena y grava y 50% de humedad relativa fue sólo 8% mayor a  $-157^{\circ}\text{C}$  que a  $24^{\circ}\text{C}$ , mientras que el concreto húmedo tuvo un aumento del módulo de elasticidad de 50%. Al cambiarse de  $24^{\circ}\text{C}$  para  $157^{\circ}\text{C}$ , la conductibilidad térmica del hormigón de peso normal también aumenta, especialmente en el hormigón húmedo. La conductibilidad térmica del hormigón con agregado ligero es poco afectada.

- **Temperaturas elevadas.**

Temperaturas más altas que  $95^{\circ}\text{C}$ , cuando se sostienen por varios meses o solamente por algunas horas, pueden afectar considerablemente el hormigón. La cantidad total de cambio de volumen del hormigón es la suma de los cambios de volúmenes de la pasta de cemento y de los agregados. A temperaturas elevadas, la pasta se retrae debido a la deshidratación, mientras que los agregados se expanden.

Para el hormigón con agregados normales, la expansión del agregado excede la contracción de la pasta, resultando en una expansión del hormigón. Algunos agregados, tales como el esquisto (pizarra) expandido, la andesita o la piedra pómez, con coeficientes de expansión bajos, pueden producir un hormigón con gran estabilidad de volumen en ambientes de temperaturas altas figura 13. Por otro lado, algunos agregados presentan cambios grandes de volumen y repentinos en ciertas temperaturas, causando la falla del hormigón. Por ejemplo, en un estudio, un agregado de caliza dolomítica conteniendo impurezas de sulfuro de hierro causó expansión, agrietamiento y desintegración severos en el concreto expuesto a una temperatura de  $150^{\circ}\text{C}$  por cuatro horas.



**Figura 13:** Expansión térmica del hormigón conteniendo varios tipos de agregado.

A temperaturas mayores y menores que  $150^{\circ}\text{C}$  no hubo expansión perjudicial. El coeficiente de expansión térmica tiende a aumentar con el incremento de la temperatura. Además del cambio de volumen, las altas temperaturas sostenidas pueden también tener otros efectos irreversibles, tales como reducción de resistencia, del módulo de elasticidad, de la conductibilidad térmica y aumento de la fluencia. A temperaturas más altas que  $100^{\circ}\text{C}$ , la pasta empieza a deshidratarse (pérdida del agua químicamente combinada de la

deshidratación), resultando en pérdidas considerables de resistencia. La resistencia disminuye con el aumento de la temperatura hasta que el hormigón pierde prácticamente toda su resistencia. El efecto de la exposición a temperaturas elevadas sobre la resistencia de hormigones producidos con varios tipos de agregados se enseña en la fig. (). Muchos factores, incluyendo el contenido de humedad en el hormigón, tipo y estabilidad del agregado, contenido de cemento, tiempo de exposición, tasa de aumento de temperatura, edad del hormigón, restricción y esfuerzo existente influyen en el comportamiento del hormigón a altas temperaturas.

Si se usan agregados estables y si, en el diseño de la mezcla, se llevan en consideración la reducción de la resistencia y los efectos sobre otras propiedades, el hormigón de alta calidad se puede exponer a temperaturas de 90°C a 200°C por periodos prolongados. Algunos elementos de concreto fueron expuestos a temperaturas de hasta 250°C por periodos de tiempo. Sin embargo, se deben adoptar medidas especiales (tales como cemento de aluminato de calcio resistente a altas temperaturas) en exposiciones a temperaturas mayores que 200°C. Antes que se exponga cualquier hormigón a temperaturas elevadas (mayores que 90°C), se deben hacer pruebas para determinar las propiedades térmicas del hormigón. Esto evitará cualquier esfuerzo inesperado.

#### **8.- Evaluación de la fisuración:**

Antes de reparar las fisuras del hormigón, es importante identificar primero su ubicación y extensión. Se debería determinar si las fisuras observadas indican problemas estructurales actuales o futuros, considerando las condiciones actuales y las condiciones de carga anticipadas para el futuro.

Antes de especificar las reparaciones es necesario establecer las causas de la fisuración. Se deberían revisar los planos, especificaciones y registros de construcción y mantenimiento.

Si estos documentos, junto con las observaciones recogidas in situ, no proporcionan la información necesaria, antes de proceder con las reparaciones se debería efectuar una investigación in situ y un análisis estructural completo.

Las fisuras se deben reparar si éstas reducen la resistencia, rigidez o durabilidad de la estructura a niveles inaceptables, o si la función de la estructura resulta seriamente perjudicada. En algunos casos, como el de las fisuras en estructuras para contención de agua, la función de la estructura determinará la necesidad de realizar reparaciones, aún cuando la resistencia, rigidez o apariencia no estén significativamente afectadas. Las fisuras en pavimentos y losas de cimentación pueden requerir reparaciones para impedir descascamientos en los bordes, migración de agua hacia la subrasante o para transmitir cargas.

Además, puede ser deseable efectuar reparaciones que mejoren el aspecto de la superficie de una estructura de hormigón.

#### **9.- Determinación de la ubicación y magnitud de la fisuración**

La ubicación y magnitud de la fisuración, así como el estado general del hormigón de una estructura, se pueden determinar mediante:



- **Observación directa e indirecta:** Se deben registrar las ubicaciones y anchos de las fisuras utilizando un esquema de la estructura. Marcar una grilla sobre la superficie de la estructura puede ser útil para ubicar con precisión las fisuras en el esquema.
- **Ensayos no destructivos:** Se pueden realizar ensayos no destructivos para determinar la presencia de fisuras y vacíos internos y la profundidad de penetración de las fisuras visibles en la superficie (Ensayo ultrasónico no destructivo).
- **Ensayos en testigos de hormigón:** Los testigos y sus perforaciones ofrecen la oportunidad de medir con precisión el ancho y profundidad de las fisuras ( Con ensayos petrográficos del hormigón fisurado permite identificar las causas de la fisuración).

#### **10.- Control de la fisuración y contracción por secado:**

La contracción por secado se puede reducir aumentando la *cantidad de agregado y reduciendo el contenido de agua*.

La fisuración por retracción se puede controlar utilizando juntas de contracción y un adecuado detallado de las armaduras. La fisuración por retracción también se puede reducir utilizando cemento compensador de la retracción. Reducir o eliminar la restricción bajo una losa también puede ser una medida efectiva para reducir la fisuración por retracción de losas de cimentación (Wimsatt et al., 1987). Los requisitos mínimos de ACI 318 no siempre resultan adecuados para casos donde el control de la fisuración es particularmente importante.

Estos temas se evalúan con mayor detalle en **ACI 224.3R**, publicación que describe prácticas constructivas adicionales, diseñadas para ayudar a controlar la fisuración por retracción por secado que efectivamente ocurre, y en **ACI 224.3R**, documento que describe el uso y la función de las juntas en las construcciones de hormigón.

#### **Bibliografía:**

- “Durabilidad del hormigón estructural” , Asociación Argentina de Tecnología del hormigón.
- ACI 224.1R-93 “Causas, evaluación y reparación de fisuras en estructuras de hormigón” , American Concrete Institute.
- “Diseño y control de mezclas de hormigón”, Concrete Portland Cement.
- ACI 224R-01“Control de fisuración de estructuras de hormigón” American Concrete Intitute.
- Aïtcin, Pierre-Claude, “Does Concrete Shrink or Does it Swell”, Concrete International, American Concrete Institute, Farmington Michigan.