ROMPIENDO BARRERAS EN EL SECTOR DE LA **CONSTRUCCIÓN**

20 años de monitoreo de probetas de retracción en laboratorio.

1. El fenómeno de la retracción en el concreto

Aunque la retracción no es estrictamente un sinónimo de fisuración en el concreto, se acepta que ambos fenómenos están estrechamente relacionados. Tradicionalmente, se define la retracción como la reducción del volumen del concreto debido a la pérdida de su agua libre, situación que inicia en el momento de la hidratación inicial y que se puede extender durante varios años. La retracción es perjudicial cuando el material se agrieta debido a que este no es libre de contraerse pues se encuentra restringido (por ejemplo, por la formaleta o por el terreno). Si bien una retracción sin restricciones dentro de ciertos límites podría eliminar la fisuración, bajo condiciones reales es frecuente que el concreto tienda a agrietarse en obras donde la superficie libre sea importante y exista la posibilidad de una mayor pérdida de agua libre (por ejemplo, en pavimentos o losas de entrepiso).

Los cambios volumétricos del concreto asociados con la retracción comienzan a suceder poco después de su colocación, siendo frecuente agruparlos dependiendo si estos suceden principalmente dentro de las primeras horas después de fundido el material o posterior a estas. De forma general, se puede clasificar el fenómeno dependiendo del momento en el que este se presenta: retracción plástica y retracción de secado.

La retracción plástica resulta de una combinación de retracción química y autógena, junto con una rápida evaporación de la humedad de la superficie. Lo anterior, teniendo en cuenta que en el concreto fresco el agua tiende a moverse hacia la superficie libre del

Figura 1. *Seguimiento fisuración por retracción plástica: a) 1 hora; b) 4 horas; c) 12 horas. Autor: Tesis UNAL*

material con cierta facilidad debido a que este material es el de menor densidad de los diferentes com-

ponentes de la mezcla (fenómeno conocido como exudación). Cuando el agua de exudación se pierde fácilmente por evaporación, se presentan cambios volumétricos conocidos como retracción plástica.

Esta retracción es principalmente un fenómeno físico causado por las fuerzas de tensión superficial. A medida que la superficie del material se seca, se forman meniscos entre las partículas sólidas, generando así fuerzas de tensión capilar. La magnitud de la contracción depende de la velocidad y cantidad de agua que se pierde de la superficie, lo cual está influenciado por la humedad relativa del ambiente, la temperatura, pero sobre todo la velocidad del viento. Cuando la capa superficial del concreto trata de retraerse, esta se encuentra restringida por las capas subyacentes que no experimentan la misma reducción de volumen. Esta restricción también puede ser parcialmente suministrada por el acero de refuerzo, la fricción en la superficie de la formaleta, o la subbase granular (en el caso de losas sobre el terreno). Como resultado de esta restricción a edades tempranas (<24 horas), se desarrollan esfuerzos de tracción sobre la superficie del concreto, el cual tiene aún muy poca resistencia mecánica, por lo que se podrían desarrollar grietas en su superficie. Por lo general las grietas por retracción plástica pueden presentar anchos menores a 1 mm y una profundidad de 20 a 50 mm, disminuyendo su ancho hacia el interior del material. Ver Figura 1.

Por su parte, la retracción por secado o a largo plazo ocurre después de que el concreto ha alcanzado su fraguado final y se ha completado una buena parte del proceso de hidratación de los compuestos del cemento. Esta contracción corresponde también a una disminución en el volumen del elemento de concreto cuando pierde parte de su humedad por evaporación. Lo anterior teniendo en cuenta que la cantidad de agua incluida en una mezcla de concreto es mayor que la necesaria para hidratar el cemento, es decir, parte del agua incluida en el diseño es necesaria para promover la trabajabilidad y compactación del concreto. El agua no combinada químicamente con el cemento se mantiene libre dentro de los poros capilares, siendo susceptible a ser evaporada si la estructura en servicio se expone a condiciones de alta velocidad del viento, baja humedad relativa o alta radicación solar.

Cuando el concreto no tiene restricción y se puede mover libremente, a medida que el concreto pierde agua y se contrae, no se desarrollan esfuerzos de tensión ni grietas significativas. Por el contrario, si los esfuerzos de tensión resultantes de la contracción por secado se dan en una situación restringida, es posible que se supere la resistencia a la tracción del concreto, formándose grietas sobre su superficie (este es el caso que sucede en el 99% de las estructuras de concreto). Ver Figura 2.

Figura 2. *Fisura por retracción de secado. Fuente: Sika Colombia S.A.S.*

Figura 3. *Medición de probetas de retracción. Fuente: SIKA Colombia S.A.S.*

En general, la retracción se presenta en la pasta de cemento, con influencia de los demás componentes del concreto, es así como las características de los agregados gruesos como su forma, textura, y proporción en la mezcla son relevantes en temas de retracción, permitiendo que este sea menos propenso a grandes deformaciones, en general, a mayor relación entre agregado grueso y contenidos totales de agregados en la mezcla menor cantidad de pasta y por ende menor susceptibilidad a presentar retracción, tradicionalmente también se acepta que cuanto mayor es la relación agua/material cementante, mayores son los efectos de la contracción. Esta también sucede con elementos de concreto con una alta relación entre su superficie libre y su volumen. De la misma forma, parámetros medioambientales como la velocidad del viento impactan negativamente la retracción del concreto, al igual que la humedad relativa: mientras mayor sea la humedad relativa, menor retracción se debería esperar. Para elementos de concreto totalmente saturados, se esperan valores de retracción mínimos o inexistentes. La temperatura y radiación solar son otros factores importantes, pues inciden de manera directa en la evaporación del agua libre del concreto.

2. Medición de la retracción a largo plazo: caso de estudio de medición de probetas durante 20 años.

Considerando la importancia de la retracción en cuanto a las posibles consecuencias que pueda generar en la durabilidad de las estructuras construidas en concreto y con el ánimo de comprender mejor este fenómeno, en el año 2003 se realizó el trabajo de grado "Evaluación de Variables que Influyen en el Fenómeno de Retracción del Concreto", desarrollado por los ingenieros Jaime Hernán González Libreros y José Alejandro Romero Olis, el cual fue dirigido por los Ingenieros Germán Hermida Barrera y Caori Takeuchi Tam.

Este trabajo fue desarrollado en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de Sika Colombia S.A.S (LEM), y fue el inició de un proyecto de investigación que al momento completa ya más de 20 años y que ha permitido evaluar el comportamiento de diferentes mezclas y materiales en relación a sus cambios dimensionales por retracción. Si bien el trabajo de grado de González y Romero realizó mediciones de retracción hasta 56 días, con el fin de evidenciar los cambios dimensionales a largo plazo, Sika y su área de investigación, independiente del paso de diferentes profesionales en la dirección del laboratorio y de la empresa, ha mantenido activo este proyecto.

Los concretos estudiados corresponden a diferentes configuraciones de diseños de mezcla, con variaciones en su relación agua material cementante, contenido de pasta, cementante y contenido de agua. Aunque los resultados detallados de retracción a largo plazo salen del alcance de este artículo y serán objeto de otra publicación; a continuación, se presentan aquí algunos aspectos que se consideran de relevancia técnica. Por ejemplo, para minimizar al máximo las variables que puedan influir, específicamente las condiciones ambientales, las mediciones de retracción por secado se realizan por personal técnico capacitado utilizando la norma ASTM C157/C157M, "Método de ensayo estándar para el cambio de longitud del mortero y concreto endurecido de cemento hidráulico", en un cuarto de curado bajo condiciones controladas en términos de humedad relativa y temperatura

(50% ± 4% y 23°C ± 2°C respectivamente). Durante los más de 20 años de desarrollo de esta investigación las probetas se han mantenido todo el tiempo en el ambiente controlado diseñado y construido específicamente para este fin. La Figura 3 muestra el proceso de medición y el cuarto de curado con condiciones controladas del LEM.

A continuación, se presenta un ejemplo específico del comportamiento de la retracción por secado en función del tiempo para una mezcla de concreto con contenido de cemento de 324 kg/m³, una relación agua/cemento de 0.57, y un contenido de pasta del 290 l/m³. La Figura 4 muestra para esta mezcla, la evolución de los valores de retracción en el tiempo, donde

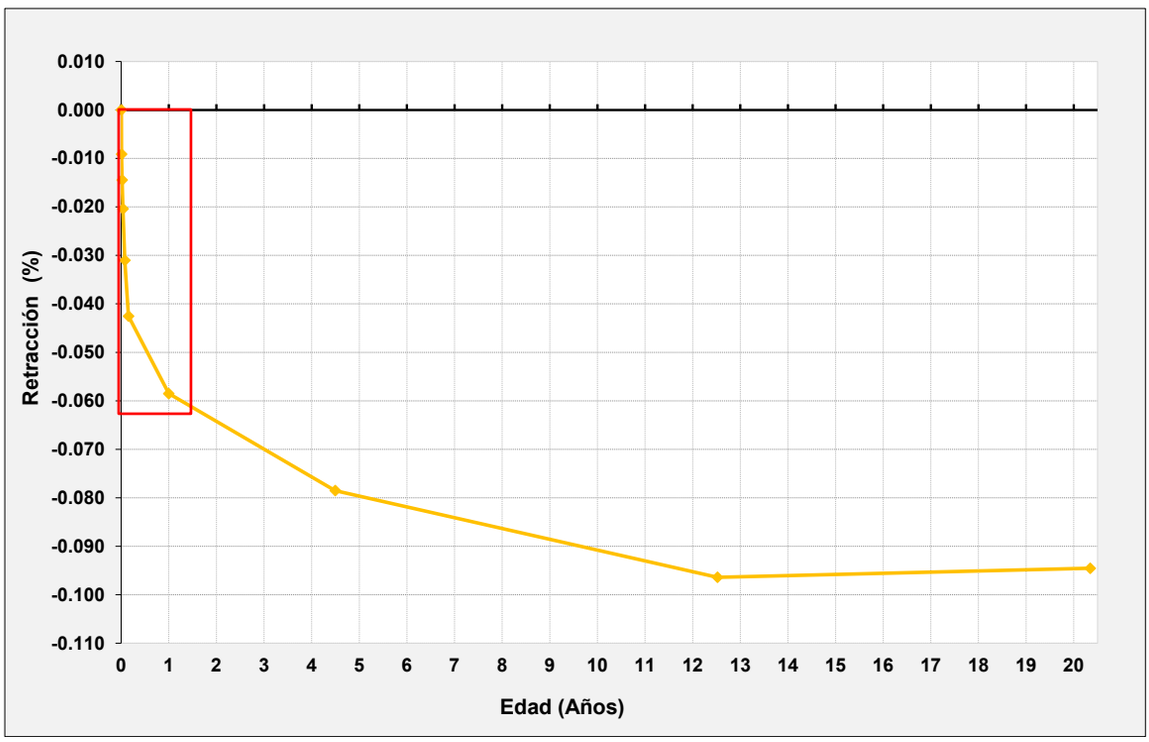

Figura 4. *Comportamiento de la retracción durante 20 años*

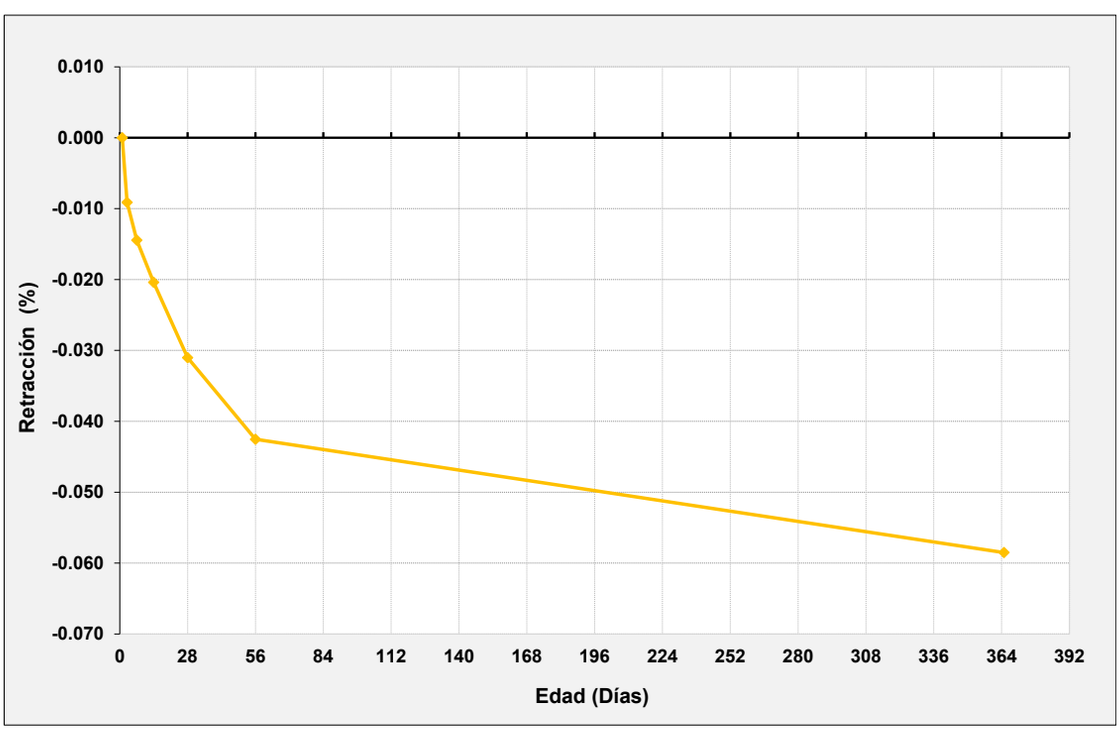

Figura 5. *Comportamiento de la retracción durante 1 año*

se observa que en el primer año únicamente se ha desarrollado aproximadamente el 55% de la retracción medida a los 20 años. Esto es de especial interés pues no es frecuente hacer mediciones más tardías entre 56-180 días, por lo que los resultados tempranos deben ser interpretados con precaución.

3. Métodos para disminuir la retracción o sus efectos

Las acciones para mitigar la retracción de secado son fundamentales para poder minimizar la fisuración de las estructuras de concreto. Algunos ejemplos de estas se relacionan a continuación.

Control de las mezclas de concreto: Realizar una adecuada evaluación inicial de los constituyentes de la mezcla con el fin de optimizar ciertos parámetros como reducción del contenido de agua sin comprometer la trabajabilidad. Usar agregados de buena calidad y en proporciones adecuadas que aporten una mejor estructura interna y minimizar los contenidos de pasta.

Aditivos reductores de agua: Teniendo en cuenta las características de los materiales constituyentes de la mezcla, la incorporación de aditivos reductores de agua de rango medio o alto con tecnologías avanzadas permiten disminuir la cantidad de agua necesaria otorgando a la mezcla propiedades de trabajabilidad reduciendo factores que pueden ayudar a causar la retracción.

Aditivos compensadores de retracción: Incorporando aditivos especiales al diseño de mezcla de concreto con potencial de disminuir la magnitud y velocidad de presentar retracción por secado y pandeos por contracción para concretos de altos desempeños.

Curado adecuado: Sujeto a las acciones previas de optimización del diseño de mezcla la implementación de procesos de curado eficiente como el uso de membranas curadoras, barreras de viento o concretos auto curadores con el fin de mantener la humedad del concreto por un período suficientemente prolongado después de su colocación, minimizando la posibilidad de pérdida de agua a altas velocidades.

Diseño de juntas adecuado: Así como evaluar los materiales constituyentes del diseño de mezcla, es igualmente importante el diseño de las juntas de control, su ubicación estratégica nos lleva a mitigar la aparición de fisuras causadas por la retracción.

Control en obra: El control en la obra es una sumatoria de acciones que nos proveen herramientas para no incrementar las posibilidades de generación de la retracción, no agregar agua adicional para ajustar la trabajabilidad del concreto en el sitio de construcción, el uso de un curado adecuado, y en general, conservar adecuadamente las medidas mencionadas anteriormente en este apartado.

Evitar cambios bruscos en las condiciones ambientales: Es necesario considerar en el diseño y planteamiento de la ejecución de las estructuras el ambiente en el cual se ejecutará el proyecto, esto con el fin de tomar las acciones necesarias para proteger el concreto de cambios bruscos en temperatura o humedad, que pueden acelerar el secado y aumentar la evaporación, aumentando el fenómeno de retracción.

4. Conclusiones

A partir de la información obtenida durante la investigación experimental realizada, experiencias en obra y la revisión bibliográfica acerca del fenómeno de la retracción, se presentan las siguientes conclusiones:

- Los procedimientos de ensayo establecidos para cuantificar la retracción de secado se realizan para tiempos comprendidos entre 56 y 180 días, aunque para condiciones de obra parecen ser tardíos; como se demuestra en este artículo, están lejos de representar el final del fenómeno de la retracción correspondiendo apenas al 55% del valor medido a los 20 años.

- Se requiere del desarrollo de investigaciones a largo plazo que generen conocimiento real del comportamiento de los fenómenos de retracción del concreto en Colombia.

- Aunque la retracción por secado es inevitable y como consecuencia de esta se podrían generar grietas, es claro que, con buenas prácticas desde el diseño del concreto y sus fases constructivas, los procesos de fisuración pueden disminuirse. Es necesario entonces considerar las tecnologías actuales para minimizar el fenómeno de retracción y aumentar la resistencia a la fisuración del concreto.
- Es posible indicar, que a partir de los 12 años los

procesos de cambio de longitud por retracción tienden a estabilizarce para los datos evaluados en el estudio de Sika Colombia S.A.S.; sin embargo, como se ha mencionado a lo largo de este artículo el fenómeno de retracción contempla múltiples variables que pueden influir en el comportamiento del concreto, siendo la retracción inherente a cada concreto en específico.

5. Bibliografía

K. B. Kosmatka SH, Panarese WC, Design and Control Design and Control of Concrete Mixtures, FOURTEENTH. Portland Cement Association, 2002.

P. K. Mehta and P. J. M. Monteiro, Concrete: Microstructure, Properties, and Materials, 4th Editio. New York: McGraw-Hill Education, 2014.

Nawy, E.G. (Ed.). (2008). Concrete Construction Engineering Handbook (2nd ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420007657.

Editors: John Newman, B S Choo. Advanced Concrete Technology 2, Concrete Properties, 1st Edition - October 31, 2003, Language: English. Paperback ISBN: 9780080972053.

Adam M. Neville, J. J. Brooks, Concrete Technology, Prentice Hall, 2010 - 442 páginas, ISBN: 0273732196, 9780273732198.

Jaime Hernán González Libreros y José Alejandro Romero Olis (2003), Evaluación de Variables que Influyen en el Fenómeno de Retracción del Concreto, Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Autores: Ing Andria Jaramillo – Jefe LEM Sika Colombia SAS y Ing Juan Manuel Lizarazo – Profesor asociado Universidad Nacional de Colombia.