



Eduardo de J. Vidaud Quintana

Ingeniero Civil/Maestría en Ingeniería.

Su correo electrónico es: evidaud@mail.imcyc.com



FISURACIÓN DEL CONCRETO

Fisuración por Contracción Térmica Inicial (Parte II)

LA CLAVE PARA reducir el diferencial térmico, y con ello el riesgo de fisuración, es reconocer cuándo puede ocurrir y tomar las medidas necesarias para minimizarlo. Las especificaciones típicas para concretos masivos incluyen no sobrepasar una máxima temperatura, ni un máximo diferencial entre el núcleo del elemento (donde se desarrollan las mayores temperaturas) y su superficie. La temperatura máxima debe referirse al tiempo que toma en alcanzar una temperatura "pico" (entre 8 y 48 horas luego del colado), la cual también debe ser limitada; ya que puede traer aparejado otros problemas de durabilidad, como un posible ataque interno de sulfatos.

El diferencial de temperatura límite intenta minimizar las fisuras debido al cambio volumétrico de los elementos. Los valores más empleados son para la temperatura máxima de 60 a 70 °C y para el máximo diferencial admisible de temperatura, de 20 °C; aunque el concreto puede fisurarse ante gradientes menores. Las temperaturas se miden con termocuplas colocadas en diferentes puntos estratégicos dentro de la masa de concreto, registrando sus variaciones en los primeros días. Se recomienda que se estudien y estimen las temperaturas máximas y su evolución en las primeras edades; para optimizar recursos y encontrar la mejor solución según los requisitos técnicos establecidos en las normativas.

Para prevenir este tipo de fisuras, las responsabilidades recaen sobre el proyectista, el constructor y el proveedor de concreto. Deben establecerse en un acuerdo las especificaciones para la dosificación de concreto, los límites de temperatura máxima y gradientes, medidas para aislar la estructura y, en algunos casos, la inclusión de sistemas de post-enfriado de elementos estructurales.

Un aspecto importante para minimizar este tipo de fisuración es la reducción del calor de hidratación, diseñando concretos en donde se optimice el contenido de cemento y se empleen cementos de bajo calor de hidratación (BCH); que en muchos casos se adicionan con porcentajes importantes de puzolanas o escorias.

En el concreto masivo es indispensable una reunión previa al colado, para coordinar y definir responsabilidades; debiendo establecerse procedimientos de aceptación en función de la tempe-

ratura, de los métodos de curado y de la duración de los colados.

En el caso de estructuras con una gran superficie expuesta, colocar el concreto temprano en la mañana puede resultar la situación más crítica, ya que el pico de temperatura de la hidratación coincidiría con la temperatura máxima ambiente. En estas estructuras puede reducirse la ganancia de calor de la radiación solar, mediante "nieblas" de agua en losas y pavimentos, o proveer sombra durante las primeras horas; también las barreras contra el viento pueden incrementar la ganancia de calor y en algunos casos críticos, debe estudiarse la reducción del espaciamiento entre juntas. En pavimentos, las lluvias repentinas con frentes fríos pueden generar fuertes gradientes de temperatura; además es importante, cuando existan variaciones importantes de temperatura en el día, vigilar que el concreto no sufra cambios de temperatura de más de 3 °C/hora, y que no se sobrepasen en 24 horas, los 20 °C de diferencia.

La reparación de este tipo de fisuras debe contar siempre con el consentimiento del proyectista; inapropiadas técnicas de reparación pueden resultar en daños más importantes en el tiempo. En muchos casos, si las juntas trabajan adecuadamente, luego de un par de semanas pasan a ser fisuras estáticas. Las losas y pavimentos pueden ser reparados utilizando materiales de reparación compatibles o mediante el corte de las fisuras y el relleno con materiales elásticos.

En general, las técnicas de reparación son similares a las usadas para la contracción por secado (CS), aunque pueden ser intervenidas mucho antes; ya que el fenómeno de contracción térmica se estabiliza unas semanas después del colado y no después de los 6 u 8 meses, que tardan en estabilizarse los daños de CS.

La reparación de fisuras térmicas en el concreto masivo depende del ancho de fisuras y de las condiciones de serviciabilidad de la estructura. Las fisuras muy finas (<0.2 mm) son antiestéticas y pueden no requerir ninguna reparación desde el punto de vista estructural. De todas maneras, estas fisuras pueden promover posibles inconvenientes de durabilidad en un futuro. Las fisuras más anchas deberán ser selladas con materiales epóxicos, una vez que las fisuras se hayan estabilizado y no tengan movimientos apreciables. **C**

REFERENCIAS:

Segerer M., "Los cuándo, por qué y cómo de las fisuras en el concreto endurecido: Fisuración por Contracción Térmica Inicial", publicado en Revista Hormigonar, No. 20, Abril 2010.



CONCRETO AUTOCOMPACTABLE

La orientación de las fibras en el concreto autocompactable

SON MUY VARIADAS las ventajas del Concreto Autocompactable (CAC) asociadas a la tecnología del concreto actual. Una tendencia radica en incorporar elementos dentro de la matriz, de modo que mejoren sus características mecánicas. Las fibras se presentan como una de las adiciones más destacadas gracias a su versatilidad y facilidad de suministro. De este modo el desarrollo de los CAC reforzados con fibras implica grandes ventajas, ya que a las bondades propias del CAC se le suman las prestaciones mecánicas del concreto con fibras.

La contribución de las fibras en la tenacidad depende en gran medida de su orientación respecto a las fisuras. Las fibras entonces deben estar uniformemente distribuidas. Muchos autores aseveran que la vibración externa durante la compactación en concreto convencional reforzado con fibras, produce la segregación de estas y su orientación en planos horizontales. Bajo esta motivación se considera que la orientación preferencial de las fibras puede ser favorable siendo de suma importancia su estudio.

Se exponen a continuación los resultados de una investigación desarrollada en la UPC en España en el año 2008, en el marco del proyecto HABITAT 2030; en la que se evaluó la influencia de la forma de colocación en la distribución y orientación de las fibras dentro de mezclas de CAC adicionadas con fibras de acero y sintéticas.

En el estudio se evaluaron vigas que fueron moldeadas llenándolas desde el centro del molde en posición horizontal (H), vigas que se llenaron desde un extremo mediante un tubo que permitía al concreto fluir a lo largo de una distancia de 5 metros (T) y vigas que se moldaron en posición vertical (V).

Según los resultados es posible concluir que en el CAC, a pesar de no ser vibrado, las fibras también adquieren una orientación determinada. El plano preferencial de orientación es el horizontal y dependerá principalmente del molde que contenga al concreto; por lo que el efecto pared juega un papel predominante.

Igual que en concretos convencionales, la sección con mayor densidad de fibras en los tres tipos

de moldeo fue la transversal; aunque dependiendo del flujo de llenado, esta orientación tendría mayor o menor preponderancia. Las vigas moldeadas "V" fueron las que presentaron una orientación más homogénea debido a la disposición vertical de los moldes; en las moldeadas "T" se pudo observar cómo las paredes de este encauzan las fibras en dirección longitudinal al mismo; mientras que en las moldeadas "H" la mayor orientación se presentó en el plano horizontal.

El comportamiento mecánico de las vigas correspondió con el tipo y la cantidad de fibras en la sección de fractura, siendo las vigas moldeadas "T" las que mejor se comportaron. Las vigas moldeadas "V", a pesar de presentar la distribución de fibras más homogénea, no tuvieron un comportamiento

satisfactorio; ya que la dirección donde la densidad de fibras era menor, coincidía con la de los máximos esfuerzos de tensión. Controlando la forma de moldeo y la disposición del molde, es posible optimizar el uso de fibras en CAC.

Asimismo se constató una mejora sustancial que supone la incorporación de fibras en CAC de cara a mejorar su tenacidad y la respuesta en flexotensión. Esta mejora se hizo evidente

en el uso de fibras de acero ya que confirieron al material una elevada ductilidad tras la rotura de la matriz; dando lugar a una rama de endurecimiento plástico con la ductilidad que ello conlleva.

Una clara tendencia a la orientación de fibras se manifestó especialmente en aquellas que por su forma y densidad eran más susceptibles de verse afectados por el propio fluir del material en el interior de las cimbras; en este caso se refiere a las fibras de acero, siendo determinante sus características geométricas. Fibras largas y esbeltas se verán más afectadas por la orientación del flujo en estado fresco, pudiendo dar lugar a configuraciones finales del material en estado endurecido altamente satisfactorias de cara al comportamiento en flexotensión del material; configurándose así el moldeo de los elementos como una variable importante para el diseño de la mezcla.

En lo que respecta al comportamiento a compresión y módulo de elasticidad no se observaron grandes diferencias entre los dos tipos de fibras. **C**



REFERENCIAS:

Yubero E., de Pablo R., "Orientación de fibras en concreto autocompactable", publicado en *Anales de Construcciones y Materiales Avanzados*, Vol 6, Curso 2006-2007.



BOMBEO DE CONCRETO

Bombeo de concreto a grandes alturas: caso de la Torre Burj Khalifa

LA CONSTRUCCIÓN del edificio más alto en el mundo fue un gran desafío técnico y logístico. La conocida torre Burj Khalifa (inaugurada en el año 2010 en Dubai, Emiratos Árabes Unidos) alberga entre otros servicios un hotel, apartamentos y oficinas; con una altura que supera los 800 metros, incluyendo una antena.

En los primeros 600 metros de altura, donde la estructura es básicamente de concreto armado, se estima que se consumió aproximadamente 250 mil m³ del material. Esta es la razón que establece al suministro de concreto en este proyecto, como un reto de la planeación y la tecnología.

El concreto seleccionado para esta gigantesca obra debía tener una resistencia de 10 MPa después de 15 horas, con endurecimiento retardado. Para mejorar la trabajabilidad de la mezcla se adicionó un superplastificante con retardante, que resuelve un punto crítico fundamental para edificios altos; en donde el concreto puede estar en movimiento durante 30 minutos, dependiendo del rendimiento.

Dadas las condiciones de bombeo a esta altura se dispuso un completo plan para llevar el concreto a toda la obra. Fue necesario transportarlo por dos tuberías, manteniendo una de ellas como reserva; para que en caso de que la bomba principal hubiera alcanzado su límite, pudiendo mantener la presión, estas fueran intercambiadas y así la de reserva se hacía principal y no se detenía el bombeo. En general, tuvieron que ser bombeados un poco más de 164 mil m³ de concreto.

Para cumplir con las altas presiones y volúmenes de entrega, fue necesaria una tubería con un diámetro interno de 146.3 mm; diseñada para una presión estática de operaciones de 25 MPa. Fue necesario

que la compañía Putzmeister desarrollara bombas de súper alta presión; propulsadas por un motor diésel de 470 KW, con presión máxima de 32 MPa en la bomba. De este modo se logró un rendimiento máximo teórico de suministro de 71 m³/h.

Las bombas de concreto se situaron en una plataforma desde la cual salían dos tuberías de entrega que subían el concreto a la torre. En la obra se instalaron cuatro tuberías de colocación de concreto y una tubería de respaldo.

La planta de concreto se concibió a unos 500 metros de la obra, por lo cual el concreto se transportó en camión revolvedor hasta el edificio. La plataforma inicial se construyó primero; debido a que allí podrían llegar más fácilmente las mezcladoras. Esto significaba que la obra tendría un área central de bombeo, desde donde podía suministrarse a todo el edificio; facilitando así este proceso.

Para obtener mayor certeza sobre las posibilidades de este bombeo, se realizó una prueba piloto en la obra. En el ensayo, la tubería se colocó horizontalmente 600 metros y las presiones se midieron en diferentes puntos a lo largo de la tubería. La componente vertical fue considerada posteriormente para así definir las presiones y tener mayor claridad sobre las condiciones esperadas.

La tercera parte del núcleo central de la torre se bombeó en abril del 2005, para facilitar

la ubicación de los andamios. La primera sección bombeada midió tan solo 5.30 m de altura y en ella se usó un concreto de una resistencia de 80 MPa.

El bombeo de la primera parte del eje central se terminó totalmente en mayo del 2005, para así empezar a cimbrar a los lados. Este eje central se ejecutó de forma tal que la construcción de las paredes de las "alas" del edificio, se pudiera iniciar lo más rápidamente posible. **C**



REFERENCIAS:

Klaus, Mirna, "Nuevo récord de bombeo de concreto a grandes alturas", adaptado de lo publicado en la revista "Noticreto", No. 90, Septiembre-Octubre del 2008..



DURABILIDAD DEL CONCRETO

Niveles críticos de cloruros en el concreto (Parte I)

CUANDO EL CONCRETO permite el paso de iones cloruro (Cl^-) más allá de su valor permisible, el acero de refuerzo es susceptible de corroerse.

El contenido permisible de Cl^- (CPCL $^-$) tiene una marcada influencia en la vida útil de las estructuras, cuando estas se encuentran en medios agresivos. Inicialmente se consideró que el CPCL $^-$ es una condición física de la interfaz entre el acero y el concreto, en término del contenido de aire atrapado.

Más tarde, hacia la segunda mitad del siglo pasado, se reconoció que el Cl^- puede inducir a la corrosión del acero en estructuras de concreto armado. Muchos trabajos fueron publicados en torno a los valores de CPCL $^-$ en el concreto armado; teniendo en cuenta ambientes de exposición marina y el uso de sales provenientes del deshielo.

Tanto para el diseño de nuevas estructuras como para la evaluación de estructuras existentes, es importante el conocimiento de valores fiables de CPCL $^-$; ya que la vida útil restante es a menudo considerada como el tiempo requerido para que valores críticos de Cl^- alcancen la profundidad de la armadura.

A pesar de los estudios realizados, aún se desconocen muchos aspectos de la corrosión de las armaduras inducida por Cl^- ; no habiéndose logrado un acuerdo sobre el valor que debe considerarse para el CPCL $^-$; razón por la que con frecuencia se trabaja con valores conservadores. En Europa y Norteamérica, por ejemplo, es práctica común limitar el contenido de Cl^- tolerable a un 0.4 % en peso de cemento.

En el modelado probabilístico el contenido crítico de cloruro es una variable estocástica; donde los CPCL $^-$ se definen por una distribución beta, con un límite inferior de Cl^- de 0.2 % en peso de cemento y un valor medio de 0.6 %, también en peso de cemento. Aunque hay una fuerte necesidad de contar con CPCL $^-$ fiables, no existe en la actualidad

un método de prueba aceptado o estandarizado para medir el contenido crítico de cloruro. Se expone en este escrito un resumen de lo que al respecto se presenta en la literatura.

Existen dos formas de definir el CPCL $^-$. Desde el punto de vista científico se considera como el contenido de Cl^- requerido para que ocurra la despasivación del acero; mientras que desde un punto de vista práctico ingenieril es el contenido de cloruro asociado con un deterioro visible o "aceptable" de la estructura de concreto armado.

Ambas definiciones están relacionadas con diferentes fenómenos. La primera sólo tiene en cuenta la etapa inicial; mientras que la del deterioro visible o aceptable, incluye también la etapa de propagación. Las dos definiciones conducen a diferentes valores de CPCL $^-$. Si se considera una curva de concentración de Cl^- en el acero de refuerzo contra el tiempo (modelo de Tuutti); puede

evidenciarse que el uso de la definición práctica conduce a valores más altos de CPCL $^-$.

La velocidad a la que avanza la corrosión tiene gran influencia en el momento en que se determina este contenido; y por tanto, afecta en gran medida el valor de CPCL $^-$ cuando se aplica esta definición. La primera es más precisa, ya que expresa el contenido de Cl^- directamente relacionado con la despasivación. En la segunda definición el contenido de Cl^- asociado con un grado aceptable de corrosión no tiene base teórica; pues la cantidad de Cl^- que se mide en ese momento no está relacionada con el grado de corrosión o con la velocidad de corrosión. Igualmente, el término "aceptable" es impreciso; por lo que la segunda definición ofrece resultados con una dispersión más amplia en los valores de CPCL $^-$.

A menudo ambas definiciones se confunden en la literatura; debiéndose tenerse cuidado al comparar y evaluar resultados reportados por diferentes investigadores. **C**



REFERENCIAS:

Traducido y adaptado de: <http://www.masterbuilder.co.in/critical-chloride-content-in-reinforced-concrete/>