

ASOCRETO

PATRONES DE FISURACIÓN EN PAVIMENTOS DE CONCRETO: ALGUNOS CONCEPTOS BÁSICOS

INTRODUCCIÓN

Como profesional de la construcción, hace más de un par de décadas he tomado conciencia de que el concreto es el material de construcción más utilizado por el ser humano. Su impresionante penetración en el mercado se debe fundamentalmente a que es un material económico por estar elaborado en altísimo porcentaje con materias primas simples, en muchos casos abundantes y de disponibilidad local como son los agregados que componen del orden del 65% al 75% del volumen total, más el agua que suma otro 15% a 18%, quedando sólo un pequeño porcentaje ocupado por insumos algo más refinados como el cemento Portland, los aditivos químicos y, eventualmente, las adiciones minerales.

Sin embargo, me ha llamado poderosamente la atención que un material tan utilizado sea al mismo tiempo tan mal conocido desde el punto de vista de sus propiedades reales, y que desde el diseño de estructuras se conciba como un material con propiedades de extensibilidad, resistencia, módulo de elasticidad, creep, contracción, durabilidad, etc., sin dar suficiente importancia a que tales propiedades del material no sólo son únicas para cada conjunto de materiales y composición sino que, además, todas sus propiedades evolucionan en el tiempo. Además, suelen relacionarse entre sí, por lo que un adecuado conocimiento de las mismas permite que los responsables de los proyectos puedan anticipar el comportamiento del material y controlar los riesgos potenciales de deterioro.

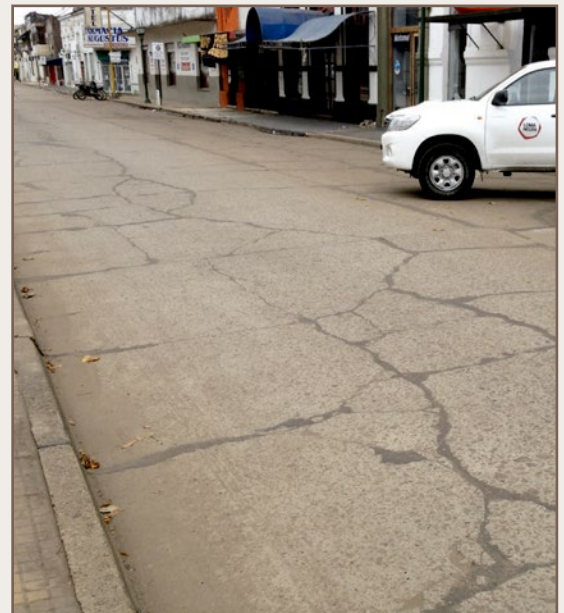
Sin duda, uno de los principales riesgos de deterioro temprano de las estructuras es la presencia de fisuras no previstas en el diseño: las que podemos llamar fisuras no controladas, es decir, aquellas que aparecen por fuera de las juntas.



Ing. Edgardo Becker
Gerente de
Desarrollo y
Servicios Técnicos.
Cementos
Loma Negra,
Argentina



Reproducción autorizada por la revista Noticreto # 120, de Septiembre – Octubre 2013. Editada por la Asociación Colombiana de Productores de Concreto – ASOCRETO.



Pavimento urbano en el centro de la localidad de Villaguay, Provincia. Entre Ríos, Argentina donde losas grandes (15 m de longitud) sufrieron fisuración por contracción y alabeo dejando un patrón de losas más pequeñas formado naturalmente.

CAUSAS FRECUENTES DE FISURAS

Como se sabe, el concreto es un material susceptible de fisurarse debido a su limitada capacidad de deformación (extensibilidad). En particular, los pavimentos de concreto son una prueba importante para el concreto como material ya que, sumado a los naturales cambios dimensionales que sufre durante su evolución (sobre todo durante las primeras horas y días), es una estructura muy expuesta al medio ambiente, que le induce importantes cambios dimensionales por calentamiento y enfriamiento tanto por acción de la temperatura ambiente como por las variaciones en la radiación solar; sufre también intensos cambios de humedad y, en algunos casos, fuertes gradientes de temperatura y humedad que causan deformaciones diferenciales, lo cual lleva a fisuras en el concreto en estados tanto fresco como endurecido.

La Figura 1 muestra una clasificación de fisuras en función del estado del concreto y de la causa principal que la produce, para estructuras de este material en general. Nótese que, a excepción de los movimientos no previstos y de creep, las demás causas pueden estar presentes en un pavimento de concreto.

FISURAS EN ESTADO FRESCO DEL CONCRETO

El concreto es un material que se transforma desde un estado que podríamos asimilar al líquido, al que denominamos estado fresco, a un estado semejante a un sólido –aunque no presenta las características reales de tal condición– al que conocemos como estado endurecido.

En ese proceso de transformación –durante el cual se desarrolla buena parte de las reacciones de hidratación de la pasta cementicia– se producen diversos cambios internos (asimilables a las reacciones de hidratación), y al mismo tiempo se da una influencia muy importante de otros factores relacionados con aspectos ambientales, constructivos y de diseño. Todos ellos contribuyen a los cambios dimensionales que se producen en el proceso, que deben ser controlados para evitar la aparición de fisuras.

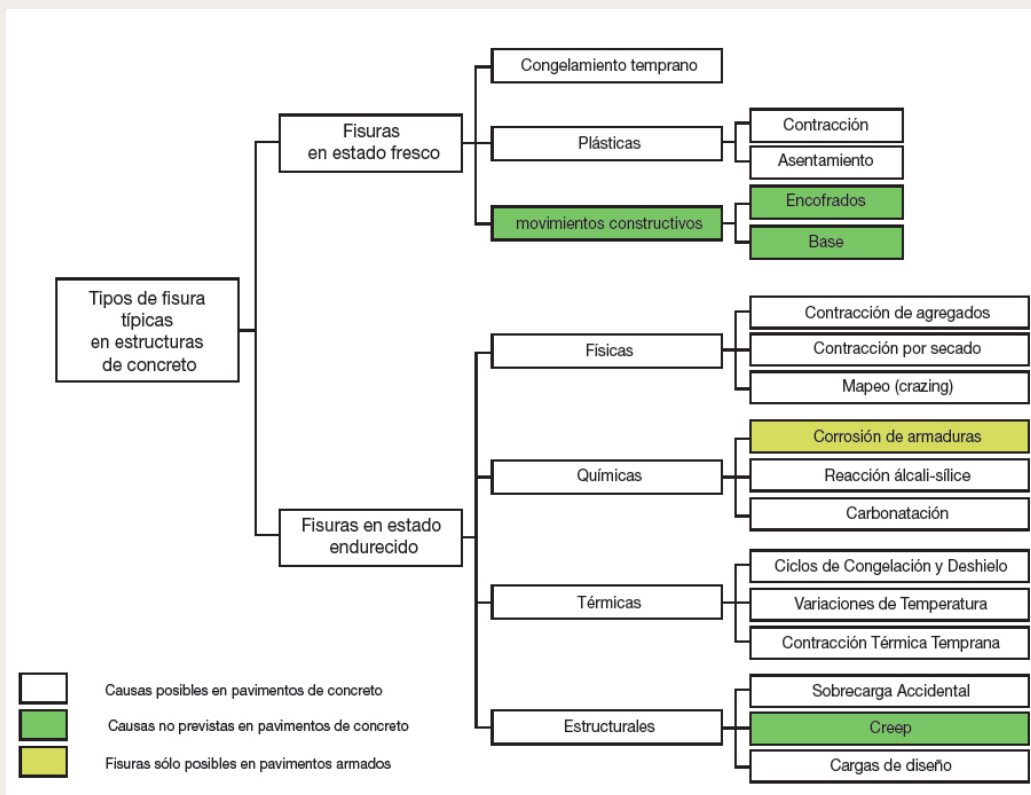


Figura 1: Clasificación de fisuras en función de la causa principal que la produce

Fuente: Concrete Society, 1992. "Non-Structural Cracks in Concrete", Third Edition, Technical Report N°22.

Conceptualmente es difícil establecer un límite entre los estados fresco y endurecido del concreto, por lo cual se incluye un estado intermedio al que llamaremos "de transición". Como se observa en la Figura 2, el concreto presenta en sus primeros minutos una muy elevada extensibilidad o capacidad de deformación (comportamiento asimilable a un líquido), que se va perdiendo rápidamente a medida que avanzan las primeras reacciones de hidratación hasta encontrar un mínimo dentro del estado de transición. Después, a partir de la interacción entre los productos de hidratación de la pasta cementicia y el consecuente desarrollo de resistencia mecánica, el concreto entra al estado endurecido con ganancia de extensibilidad o capacidad de deformación.

En consecuencia, es evidente que el concreto presenta un riesgo muy marcado de fisuración durante el estado de transición, por lo cual es un período en que el constructor deberá tener un especial cuidado sobre las variaciones dimensionales. Debido a que los pavimentos de concreto presentan muy alta relación entre el área expuesta y su volumen, resulta fundamental proteger la superficie de las losas para controlar la evaporación del agua y controlar de esa forma el riesgo de fisuración plástica.

En general, es bien conocido que al evitar el secado prematuro de la superficie de las losas de concreto se controla el riesgo de fisuración plástica. Sin embargo, muchas veces es imposible actuar con el único fin de controlar la evaporación, pues sobre pavimentación siempre se trabajará con cierta tasa de evaporación (baja, pero no nula), por lo que se recomienda ayudar a que la exudación controlada del concreto contribuya a evitar el secado superficial. Otro aspecto a considerar es el diseño de la pasta cementicia. Ya Powers en 1968 publicó una expresión que relaciona la presión capilar con la superficie específica del cemento, la tensión del agua capilar y la relación A/C, donde se demuestra que la presión se incrementa en forma directamente proporcional al aumento de la superficie específica del cemento y de la tensión superficial del agua capilar, e inversamente proporcional a la relación A/C. Por lo cual, trabajando sobre los tamaños de partícula del cemento o sobre los aditivos que afectan la tensión superficial del agua capilar y/o la relación A/C, es posible moderar la presión capilar y, en consecuencia, moderar la tendencia a fisuración del concreto en los estados fresco y de transición.

En la Figura 3 se muestran conceptualmente las principales contracciones de la pasta durante las primeras edades por efecto de la hidratación del cemento y la exudación, demostrando que este fenómeno forma parte de la naturaleza del material y que, como tal, es inevitable. Por lo mismo será necesario asumirlo en el diseño del concreto como material a través de reducir el contenido de pasta cementicia mejorando al máximo el esqueleto granular de la mezcla; también, considerarlo tanto en el diseño de la estructura como en los cuidados necesarios durante la construcción. A propósito,

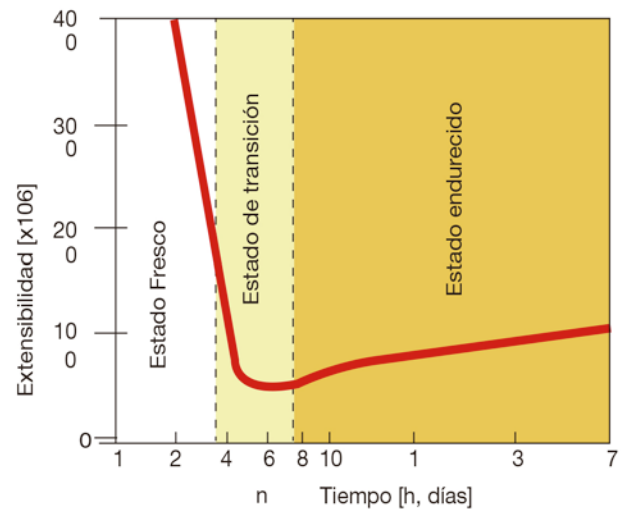
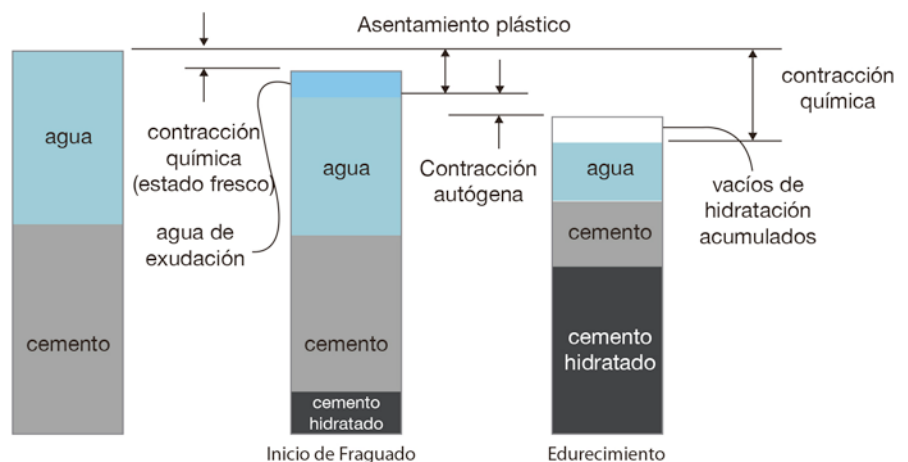


Figura 2: Posible desarrollo de extensibilidad de un concreto.
 Fuente: Concrete Society, 1992. "Non-Structural Cracks in Concrete", Third Edition, Technical Report N°22. Adaptado por E. Becker

Figura 3. Relación volumétrica entre asentamiento, contracción química y contracción autógena.
 Fuente: S. Kosmatka y otros, 2004. "Diseño y Control de Mezclas de Hormigón" (Portland Cement Association)



Comex[®]

Industrial Coatings

Desarrollamos un producto que ofrece resistencia a la abrasión, funcionalidad y bajo mantenimiento en pisos interiores de talleres y bodegas.

Sistema con excelente desempeño mecánico para pisos de concreto: **Ultracryl primer / Ultracoat 120**



www.comexindustrialcoatings.com
solucionesindustriales@comex.com.mx
Atención al consumidor:
Del D.F. y área metropolitana: 5864-0790 y 91
Del interior de la República: 01800-71-26639
División Profesional



la disponibilidad permanente de agua en la pasta reduce considerablemente la contracción. Es más, la disponibilidad de agua de curado a partir del final (o algo antes) del estado de transición tiende a hinchar la pasta (Fig. 4) por lo cual, lejos de contraerse, el concreto tiende a incrementar levemente su volumen evitando contraerse mientras se mantiene el curado húmedo, lo que asegura la ausencia de tensiones inducidas de tracción.

FISURAS EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO

Todas estas deformaciones obedecen a algún tipo de restricción, ya sea interna o externa, que genera tensiones inducidas que resultan proporcionales a las deformaciones no desarrolladas. El efecto positivo del creep en la relajación de tensiones y el momento de aparición de la fisura, es cuando la tensión inducida supera la resistencia a tracción del material. Esto nos indica que la forma de evitar la formación de fisuras será mantener las tensiones inducidas por debajo de la resistencia a tracción del concreto.

Las tensiones inducidas por restricción a la contracción (por secado o térmica) como las que se desarrollarían por restricción por adherencia losa-base (ver los esquemas incluidos en la Figura 5). Allí es posible establecer las distancias que separan a las fisuras transversales de contracción de una losa a partir de las propiedades del concreto (contracción, módulo de elasticidad, resistencia a la tracción y extensibilidad y su evolución en el tiempo), las condiciones de exposición (temperatura, asoleo, evaporación, etc.) y, por supuesto, la restricción entre la cara inferior de la losa de pavimento y la superficie de la base de apoyo.

En definitiva, es inevitable la formación de fisuras en pavimentos de concreto y controlarlas será función del proyectista; es decir, llevar a que se formen en los lugares adecuados a través de un buen diseño de losas y del constructor realizando los trabajos de acuerdo con las reglas del arte. Como ejemplo, en la Figura 6.a se muestra el patrón de fisuración "natural" de una sección de pavimento convencional de concreto simple de 7.30 m de ancho por unos 40 m de longitud al que no se le han aserrado las juntas. En primera instancia, la contracción del concreto (fundamentalmente la contracción por secado, pero también hay contracción autógena por hidratación, generalmente pequeña, y también puede haber efectos acumulativos de contracción por enfriamiento que favorecen la formación de las primeras fisuras). Luego, podrán desarrollarse nuevas fisuras que resultan de

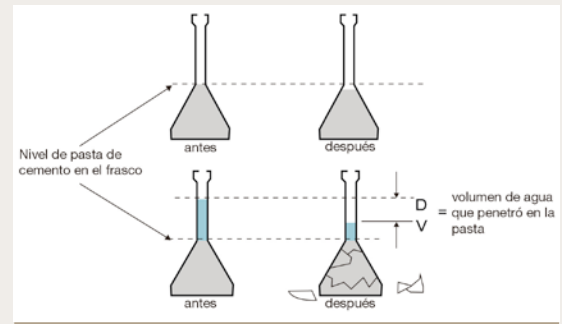


Figura 4: Esquema de la experiencia de Le Chatelier.

Fuente: P.C. Aïtcin, G. Haddad & R. Morin, 2004. "Controlling Plastic and Autogenous Shrinkage in High-Performance Concrete Structures by an Early Water Curing", ACI SP-220, Autogenous Deformation of Concrete, pp 69-82.

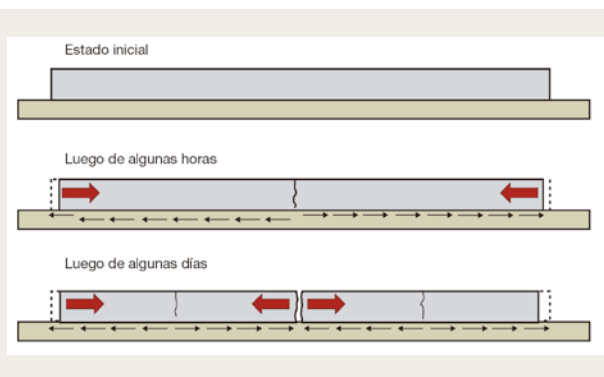


Figura 5: Efecto de la contracción restringida por la subbase o base sobre el patrón de fisuración de las losas de pavimento.

Fuente: E. Becker, 2008. "Contracción temprana del hormigón", jornadas de actualización ICPA orientadas a las reparticiones, consultoras y constructoras viales.

una combinación de contracción uniforme e importantes gradientes de humedad con un secado superficial de las losas de concreto claramente mayor que en la masa que inducen los alabeos cóncavos, que también se favorecen cuando la losa se enfría por la noche

La figura 6.b muestra que un corte de juntas realizado a tiempo y con un patrón adecuado puede controlar las fisuras asegurando que al formarse coincidan con las juntas, y así se logra un pavimento de concreto simple convencional. Si bien está claro que ambos pavimentos presentan exactamente el mismo patrón de fisuración, las juntas aseguran no sólo que las losas se vean pulidas sino que también tendrá importantes ventajas respecto del confort de quienes circulan en sus vehículos sobre el pavimento, y también la calidad de las juntas tanto en la durabilidad de los bordes como en la facilidad y confiabilidad en el sellado.

En la misma figura se observa que las losas presentan alabeo después de algunos meses. Aunque este fenómeno es constructivamente casi inevitable, un curado adecuado reduce el alabeo constructivo (también conocido como “permanente”) a niveles casi imperceptibles, permitiendo obtener buenos niveles de rugosidad y, con ellos, mayor confort de circulación y durabilidad ya que se producirán menores cargas de impacto, habrá menor tendencia a fisuración de esquinas y menor desgaste de bordes de junta.

Algo diferente es el caso de los alabeos “reversibles” que se dan en las losas de concreto a causa de los gradientes de temperatura o humedad. La Figura 7 muestra casos típicos de fisuración cóncava y convexa producidos por enfriamiento y calentamiento de la superficie, respectivamente. De manera similar a los alabeos constructivos, los alabeos “reversibles” deben controlarse para asegurar la durabilidad del pavimento. Para esto, el proyectista tendrá que conocer las condiciones medioambientales de la zona en que se construirá el pavimento y, también, los materiales a utilizar para la elaboración del concreto, y con ellos estimar las propiedades del mismo porque necesitará utilizar una relación entre espesor de losa y lados de la losa adecuados para mantener los alabeos en niveles tolerables y así evitar fisuras inducidas por este efecto y, de esta manera, asegurar la durabilidad del pavimento.

También existen otras alternativas como trabajar con losas pequeñas que reducen los alabeos o pavimentos de concreto continuamente reforzados que inducen un patrón de fisuración muy diferente con fisuras transversales muy delgadas (del orden de 200 a 600 μm) separadas a intervalos típicos de 30 a 150 cm dependiendo fuertemente de la cuantía de armadura utilizada que controla la contracción del concreto como efecto directo y el alabeo como efecto indirecto.

CONSIDERACIONES FINALES

En resumen, se puede afirmar que los pavimentos de concreto se fisuran y que será responsabilidad del proyectista establecer un diseño de pavimento adecuado para controlar estas fisuras a través de un adecuado tamaño de losas. Si se consideran pavimentos de concreto continuamente reforzado u otras alternativas siempre se deben tener en cuenta las condiciones de tránsito, ambientales y características de los materiales locales disponibles. Por otro lado, será responsabilidad del constructor realizar un trabajo adecuado para asegurar que el proyecto cumpla con los requisitos solicitados por el patrocinador del mismo. Para ello, además de tener la suficiente pericia para ejecutar los trabajos y evitar las denominadas fisuras tempranas, previamente deberá verificar que con los materiales disponibles podrá ejecutar el proyecto en las condiciones consideradas en la etapa de proyecto. De no ser así, realizar una verificación del mismo en las nuevas condiciones. Y por último –aunque de ninguna manera lo menos importante– el patrocinador, a través de sus representantes, deberá realizar los controles necesarios en todas las etapas incluidos el diseño, control de especificaciones, el control de características y propiedades de los materiales y, por supuesto, de cada una de las etapas constructivas del proyecto. Sólo el trabajo responsable y mancomunado de diseñador, constructor e inspección de obra aseguran al patrocinador un resultado exitoso. **C**

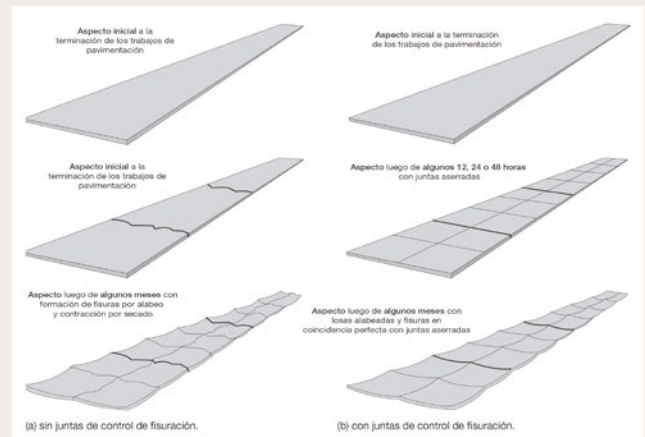


Figura 6: Patrón de fisuración básica en pavimentos de concreto Fuente: E. Becker, 2004. “Seminario sobre pavimentos de hormigón”

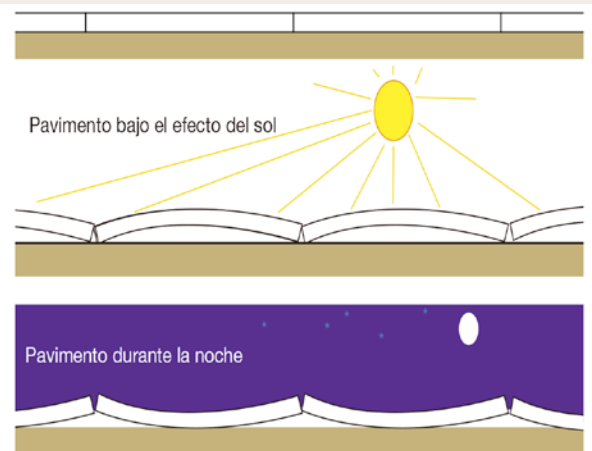


Figura 7. Influencia del efecto del sol y temperatura superficial sobre el alabeo.

Fuente: E. Becker, 2009. Seminario Internacional sobre Construcción de Pavimentos de Hormigón Durables. Bogotá, Colombia (07/05/2009).