



12-14 de Noviembre del 2012
Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa

FISURAS POR CONTRACCIÓN TÉRMICA DEBIDAS AL ASERRADO TARDÍO DE JUNTAS

M. J. Segerer¹

¹ Presidente de Control y Desarrollo de Hormigones S.A. - Gutenberg 8115 Luján - Mendoza - ARGENTINA

RESUMEN

En varios casos relevados en diferentes provincias de Argentina, se han presentados problemas de fisuras por contracción térmica temprana que por su tipología se asimilan a fisuras de contracción por secado. Se presentan casos de obras en las cuales se manifestó esta patología, más difícil de predecir que otros tipos de fisuración, y la relación que guardan con bruscas caídas de temperatura o entradas de frentes de lluvia. Con la ayuda del diagnóstico y condiciones ambientales genéricas en cada uno de los casos, se proponen gradientes de temperatura que pueden fisurar al hormigón antes de las 24 horas para pisos y pavimentos. Por la tipología de estas fisuras, en general deben demolerse las losas afectadas, incrementando costos de la reparación y tiempos asociados con estas tareas. En el artículo se brindan medidas prácticas de cómo prever este tipo de fisuras y cómo actuar en obra para evitar su aparición.

Palabras claves: Contracción térmica temprana, pisos y pavimentos, aserrado de juntas, caídas de temperatura, fisuras de hormigón

ABSTRACT

Cracking due to early thermal shrinkage due to late joint saw cutting

In many case studies carried out in different regions in Argentina, cracking due to early thermal shrinkage has been detected. Due to its typology, this damage is considered a type of drying shrinkage crack. This type of cracking is more difficult to predict than other types; thus, in this article, building works in which this pathology appeared are presented and the relation of this pathologies with sudden temperature drops or rain storms are thoroughly explained. In each particular case, a careful diagnosis and study of generic weather conditions are carried out to identify temperature gradients that may cause cracking in concrete floors and pavement -before 24hours of placement. Because of the typology of these cracks, the affected slabs generally have to be demolished, increasing cost and time for the project. In this article, practical measures of how to foresee this type of cracks and how to proceed in order to prevent cracking are explained

Key words: Early thermal shrinkage, floors and pavements, joint saw cutting, temperature drops, concrete transverse cracks

INTRODUCCIÓN

Si bien la importancia del aserrado es conocida en pisos y pavimentos, en una gran cantidad de obras, se realiza el aserrado al día siguiente del colado sin conocer el riesgo que esto conlleva. En algunas circunstancias pueden aparecer fisuras paralelas a las juntas de difícil reparación, que no son debidas a otras patologías más comunes. Por ello, es de vital importancia la metodología y tiempo de aserrado en juntas de pisos y pavimentos, dependiendo, entre otros factores, de las condiciones ambientales, tanto en el momento del colado como en las primeras horas posteriores al mismo. El período óptimo de tiempo se conoce en la bibliografía como “ventana de aserrado”. De materializar la junta antes del inicio de esta ventana, resultará en juntas de superficies irregulares y astilladas. De realizarla muy tarde, pueden resultar en fisuración por contracción por secado o por contracción térmica.

Debe tenerse en cuenta que las juntas de contracción actúan como juntas de contracción por secado y por dilatación térmica. De esta manera, si existen grandes variaciones de temperatura entre el día y la noche, fundamentalmente durante el primer día después del hormigonado que es cuando el hormigón se presenta como menos resistente, podrán aparecer fisuras inducidas. El aserrado oportuno de juntas, actúa para absorber las posibles tensiones inducidas por los diferenciales de temperatura; por lo que si no se encuentran aserradas en el mismo día, existe un riesgo latente de fisuración por contracción térmica temprana. Si las tensiones originadas dentro del pavimento por diferenciales de temperatura son superiores a la resistencia a tracción del hormigón y aún no se ha aserrado el pavimento, aparecerán fisuras transversales al sentido del llenado.

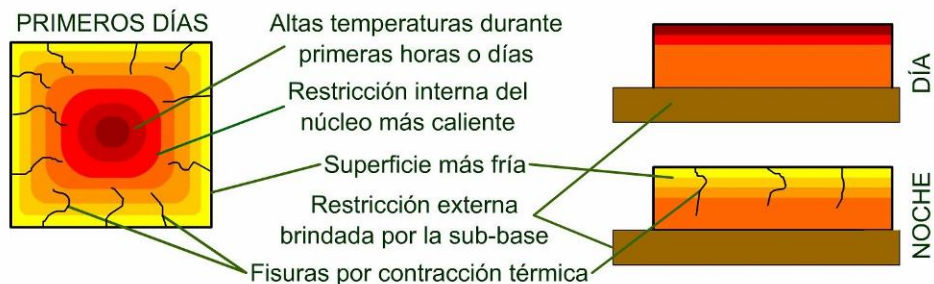


Figura 1. Casos de fisuras por contracción térmica (a la derecha el caso de pavimentos).

Cuando la tipología estructural y las condiciones del medio planteen la posibilidad de que aparezcan fisuras por contracción térmica deben tomarse las precauciones para que ello no ocurra. En la mayor parte de los casos la fisuración por contracción térmica aparece en los primeros días después del colado. Esto es coincidente con el período en el cual las reacciones de hidratación se desarrollan más rápidamente liberando calor de hidratación, siendo el hormigón más débil para resistir aún bajos esfuerzos a tracción. Los cambios volumétricos por sí mismos no crean tensiones, sino que la restricción de estos cambios son los que originan la incompatibilidad de deformaciones e inducen las tensiones que pueden fisurar al hormigón. En el caso de la contracción térmica temprana, la restricción puede tener dos orígenes, los cuales se esquematizan en la Figura 1.

- **Restricción externa.** Es aquella que existe a lo largo del plano de separación de una superficie de hormigón con cualquier otro material con el cual esté en contacto durante el colado. Puede estar dada por otras estructuras o por el terreno o base de apoyo.
- **Restricción interna.** Es generada en la misma estructura, cuando en los elementos aparecen cambios de volumen no uniformes en una sección. En plateas masivas, cuando la superficie más fría tiende a contraerse (equilibrio con la temperatura ambiente) y el hormigón del núcleo más caliente impide y restringe las deformaciones.

La superficie en contacto con el ambiente en pavimentos y losas es expuesta a variaciones de temperatura bastante abruptas, comparadas con las pequeñas variaciones de temperatura en la base o apoyo. Una importante diferencia de temperatura entre las caras superior e inferior puede resultar en fisuración, fundamentalmente el primer día después del colado, cuando el hormigón es aún débil (Figura 1). Por lo general estas fisuras son activas, ya que se generan con el hormigón en estado endurecido, y presentarán movimientos durante toda la vida útil del pavimento en la mayor parte de los casos. Generalmente, después de unos días penetran todo el espesor del pavimento y son paralelas a las juntas de forma similar a las fisuras por contracción por secado. Muchos factores en lo que respecta al hormigón influyen en este tipo de fisuración: temperatura inicial (el enfriamiento de materiales es favorable), coeficiente de dilatación térmica de los agregados, tipo y contenido de cemento, aditivos utilizados, etc. Sin embargo, la prevención debe estar combinada con las precauciones a tener en cuenta en obra. Es por ello que el varias recomendaciones como ¹ establecen que no deben existir gradientes de temperatura de más de 3 °C / hora, ni sobrepasar 20 °C en 24 horas.

CASOS DE ESTUDIO

Se presentan tres casos de estudio cuya descripción figura en la Tabla 1. En todos los casos, las tareas de puesta en obra se llevaron a cabo por cuadrillas especializadas, apreciándose una buena calidad de los trabajos. En la Tabla 2 se presentan las condiciones ambientales según Weather Channel empleadas para el diagnóstico. Si bien es más representativo utilizar valores climáticos del emplazamiento mismo de las obras, en la mayor cantidad de éstas (incluidos los casos de estudio), son parámetros que usualmente no son disponibles.

Tabla 1. Principales características constructivas de los casos de pisos y pavimentos.
















Parámetros		Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tipo hormigón y TM agregado		H-21 - 3/4"	H-30 - 1 1/4"	H-26 - 1 1/2"
Tipo cemento y CUC (kg/m ³)		CPP 40 - 340	CPN 40 - 340	CPP 40 - 360
Superficie apoyo losas		Base granular	Base granular	Base granular
Puesta en obra	Descarga	Canaleta	Canaleta	Canaleta
	Compactación	Vibradores	Regla-vibrador	Regla-vibrador
	Curado	Polietileno	M. acuosa	M. solventada
Aserrado juntas	Tiempo promedio desde el colado	24-26 horas	8 h 1 ^{eras} losas 20-22 horas	14 horas
	Forma ejecución	Aserrado	Aserrado	Aserrado
Losas	Ancho carril	2,0 m	4,0 m	3,7 m
	Juntas aserradas	c/ 4,5 m	c/ 4,0 m	c/ 4,0 m
	Espesor proyecto	17,0 cm	15,0 cm	18,0 cm
Malla de refuerzo		#φ 4,2 c/15 cm	Sin malla	Sin malla
Pasadores en juntas		Sin pasadores	φ 10 c/30 cm	Sin pasadores

Caso 1: Piso industrial. Piso de acceso de camiones a industria cercano a la ciudad de Luján de Cuyo (Mendoza, Argentina), hormigonando un carril de 2,0 m por 20 m en la jornada que aparecieron inconvenientes (26/12/2011). El hormigonado se llevó a cabo entre las 12 y 14 horas, mientras que el aserrado se efectuó al inicio de la jornada siguiente.

Caso 2: Pavimento con pasadores. Pavimento urbano con pasadores de losas cuadradas de 4,0 m de lado en la localidad de General Godoy (Río Negro, Argentina). Los inconvenientes sólo aparecieron en el día del colado (12/04/ 2011), habiendo realizado todas las tareas constructivas de la misma manera las demás jornadas y no aparecieron este tipo de fisuras. El colado de aprox. 65 m³ se realizó entre las 9 y 13 horas. Las primeras losas hormigonadas en el día (25% del tramo) se aserraron el mismo día a las 17-18 horas, mientras que las restantes fueron aserradas a primera hora del día siguiente.

Caso 3: Pavimento sin pasadores. Pavimento urbano del microcentro de Mendoza (Argentina). En dos jornadas, de las cuales se presenta un ejemplo, aparecieron esta tipología de fisuras. El hormigonado se efectuó entre las 12 y 15 horas del 10/02/2010 y las tres primeras losas alcanzaron a materializarse en la jornada. Las otras 12 losas (zona fisurada) fueron aserradas al día siguiente entre las 9 y las 11 horas.

Tabla 2. Condiciones ambientales para los diferentes casos de estudio.

Caso	Caso 1			Caso 2			Caso 3		
Fecha	26 diciembre 2011			12 abril 2011			10 febrero 2010		
Ciudad	Luján de Cuyo			General Godoy			Mendoza		
Condiciones climáticas en el día	Hora	Estado	T	Hora	Estado	T	Hora	Estado	T
	00		30°	00		16°	00		26°
	03		29°	03		14°	03		25°
	06		27°	06		13°	06		25°
	09		27°	09		16°	09		27°
	12		32°	12		26°	12		30°
	15		34°	15		28°	15		32°
	18		33°	18		27°	18		31°
	21		26°	21		18°	21		22°
	00		25°	00		14°	00		20°
Día anterior	-	T máx	36°	-	T máx	28°	-	T máx	34°

RELEVAMIENTO DE DAÑOS

Caso 1. Los inconvenientes para este piso industrial se hicieron notorios al día siguiente del colado. La jornada del hormigonado tuvo condiciones de tiempo caluroso y en el horario de colado se presentaron temperaturas de 33 °C promedio con condiciones de asoleamiento directo (sin nubosidad), no contando con ningún elemento de protección. A las 21 horas se marcó un descenso marcado de temperatura ambiente del orden de 8 °C en pocas horas y a medianoche entró un frente con lluvia. En la Figura 3 se muestran fotografías, presentándose las fisuras espaciadas 3 a 4 metros para el ancho de carril de 2 metros. El ancho de fisuras al día siguiente del colado fue de 0,5 a 0,8 mm, penetrando todo el espesor. El día anterior al colado tuvo temperaturas aún más elevadas.

Caso 2. Se informó que las fisuras se hicieron visibles entre 2 y 3 días del colado. Tanto la jornada anterior como el día del hormigonado, presentaron temperaturas máximas de 28 °C. El hormigonado se llevó a cabo durante la mañana y el pavimento quedó expuesto directamente a las temperaturas elevadas a partir de las 13 horas con condiciones de cielo despejado. La temperatura mínima del día siguiente se registró a las 0 horas, existiendo una caída muy brusca de temperatura del orden de 10 °C en 3 horas. Se midieron anchos de fisuras de 1,0 y 1,5 mm a los 20 días de ejecutada la obra, penetrando la fisura todo el espesor. Las fisuras se presentan como paralelas a las juntas aserradas cada 4,0 metros, presentando un espaciamiento entre las mismas de 12 a 15 metros. Estas fisuras aparecieron sólo en los tramos que se aserraron al día siguiente, no existiendo fisuras en losas aserradas en la jornada (hormigonadas entre las 9 y 10 horas). El patrón de fisuras se presenta en la Figura 2 y sus fotografías en la Figura 3.

Caso 3. Las tareas de hormigonado se llevaron a cabo en el horario de temperaturas máximas (32 °C) y con asoleamiento directo, habiéndose presentado temperaturas elevadas el día anterior al colado. Sólo pudieron aserrarse 3 losas llenadas al inicio de la jornada, no pudiendo aserrar las demás por haber terminado el horario de trabajo de los operarios a las 18 horas. Entre las 18 y 21 horas existió un marcado descenso de temperatura de unos 9 °C aprox. Las losas aserradas al día siguiente manifestaron fisuras de ancho de 1,0 a 1,5 mm. Se extrajeron testigos (Figura 3) y se verificó la no efectividad del aserrado de juntas, aunque fue de profundidad adecuada. Las fisuras presentaron un espaciamiento entre 6 y 10 metros de forma paralela a las juntas.

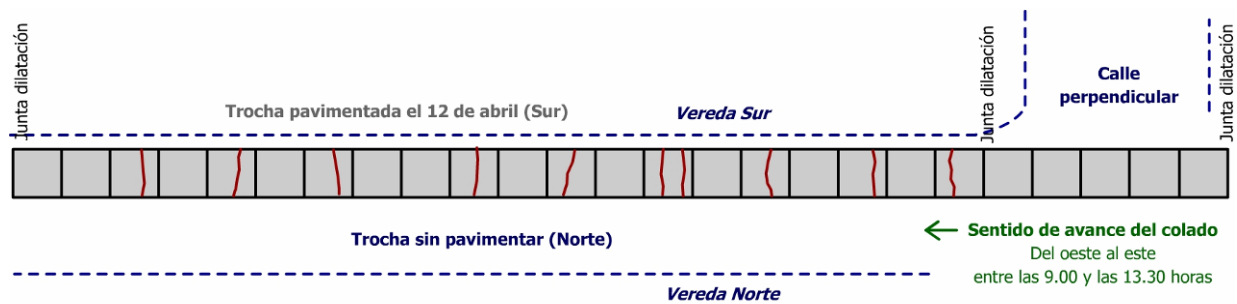


Figura 2. Caso 2 - Patrón de fisuras para losas de pavimento.

DISCUSIÓN: DIAGNÓSTICO Y SOLUCIONES

Análisis de resultados de experiencias y recomendaciones.

La recomendación ACI 305R-99¹ establece que: “El hormigón debe ser protegido de la fisuración por contracción térmica producida por rápidas caídas de temperatura, particularmente durante las primeras 24 horas. Este tipo de fisuración está usualmente asociado con una tasa de enfriamiento de más de 3 °C / hora o más de 28 °C en 24 horas para hormigones de hasta 30 cm de espesor. El hormigón expuesto a enfriamientos rápidos con una baja resistencia a la tracción es más susceptible a la fisuración que para una tasa de enfriamiento más baja. Las causales de este tipo de fisuras incluyen variaciones considerables de temperatura entre día y noche y lluvias”. Estos valores de especificaciones prescriptivas coinciden con las estipuladas en recomendaciones reconocidas como¹. Según las investigaciones y ensayos plasmados en⁷, se indica que rápidas caídas de temperatura de más de 8 a 12 °C pueden resultar en fisuración debida a la contracción excesiva de la superficie, para el caso de apoyo en bases granulares. En caso de bases que generen mayor fricción (base de hormigón o suelo cemento), los gradientes críticos son inferiores. Señala que estas variaciones de temperatura ambiente son habituales en climas áridos y en otros climas durante primavera y otoño cuando las temperaturas varían considerablemente entre el día y la noche. Según^{3 4 7} la contracción diferencial también puede ocurrir cuando un frente frío de lluvia cae sobre el hormigón ya fraguado. El hormigón colado temprano en la mañana tiene mayor tiempo de asoleamiento y más probabilidad de alcanzar mayores temperaturas⁷.

Debido a que es la práctica más común de curado, cabe destacar que la aplicación de membranas es efectiva para prevenir la pérdida de humedad pero no evitan el calentamiento y/o enfriamiento de la superficie expuesta en pavimentos⁷. Según fuentes bibliográficas, se considera que en días despejados y soleados la temperatura superficial del hormigón puede ser de 15 a 20 °C mayor a la inicial^{2 4 6}, adicionando el efecto que coincidan las horas de mayor temperatura con el comienzo de fragüe. Si bien existe una importante cantidad de ensayos propuestos para verificar el inicio y fin de la ventana de aserrado, éstos no siempre están disponibles en obras, con lo cual es recomendable brindar disposiciones prácticas.



Figura 3. Fotografías de las patologías de los tres casos de estudio.

Diagnóstico de casos de estudio.

Caso 1. Todo el carril hormigonado presenta fisuras paralelas a las juntas que fueron aserradas al día siguiente del colado. Cabe destacar que en este caso la malla de refuerzo no previno la aparición de las fisuras. Las temperaturas máximas del día de colado alcanzaron 34 °C a las 15 horas y aproximadamente coincide con el inicio de fragüe del hormigón colado por la mañana, superponiendo ambos efectos, además que las condiciones fueron de un día despejado con asoleamiento. El día anterior al colado tuvo temperaturas elevadas con un máximo de 36 °C, con lo cual los agregados y materiales constituyentes se encontraban a temperaturas elevadas el día de la carga. Habiendo coincidido las elevadas temperaturas del hormigón y la máxima temperatura ambiente durante el fragüe del hormigón, la temperatura en la superficie, puede ser de 15 a 20 °C superior que en el interior del hormigón (base). La temperatura bajó bruscamente por la entrada de lluvias, presentando a las 21 horas una

temperatura de 26 °C, existiendo un salto o gradiente térmico ambiente de 8 °C en sólo 6 horas, entre las 15 y las 21 horas. Si se le suma al gradiente anterior el efecto combinado de asoleamiento e inicio de fragüe coincidente con las mayores temperaturas registradas en el día, se obtienen gradientes de 23 a 28 °C; lo que equivale de 4 a 4,5 °C / hora.

Caso 2. Los paños aserrados en el mismo día no presentan fisuras, mientras que las losas aserradas al día siguiente presentan fisuras transversales. Analizando las temperaturas máximas el día del colado, se alcanzaron 28 °C a las 15 horas y la misma es aproximadamente coincidente con el tiempo inicial de fragüe de los pavimentos colados entre las 11 y 13 horas, superponiendo ambos efectos, además que las condiciones fueron de un día despejado con asoleamiento del pavimento construido. El día anterior al colado tuvo temperaturas elevadas para la época (máximo de 28 °C), con lo cual los materiales se encontraban a temperaturas elevadas, resultando en temperaturas del hormigón fresco similares a la temperatura ambiente o quizás un poco superiores. La temperatura mínima del día siguiente del colado se presentó a la medianoche y fue de 14 °C, existiendo un salto o gradiente térmico considerable, de 10 °C en pocas horas (6 horas, entre las 15 y 21 horas). Si se le suma al gradiente anterior el efecto combinado de asoleamiento e inicio de fragüe coincidente con las mayores temperaturas registradas en el día, se obtienen gradientes de 25 a 30 °C; equivalente a 4 a 5 °C / hora.

Caso 3. Al igual que en el Caso 2, las losas aserradas en el mismo día no se fisuraron, mientras que los paños aserrados al día siguiente presentan fisuras transversales. El día de colado con condiciones de tiempo caluroso, alcanzando temperaturas de 32 °C coincidentes con el llenado de las losas a las 15 horas. Entre las 15 y 21 horas existió un descenso de unos 10 °C por la entrada repentina de un frente frío. Sumando al incremento de temperatura superficial debido al asoleamiento, corresponde a descenso de temperatura superficial del pavimento del orden de 25 a 30 °C en 6 horas. Los gradientes se estiman entre 4 y 5 °C / hora.

En estos casos existieron gradientes de entre 4 y 5 °C / hora, los cuales son un 30 y 65% superiores a los recomendados de 3 °C / hora, considerando el notorio incremento de temperatura por el asoleamiento directo de las losas. Gradientes de esta magnitud, son suficientes para fisurar el hormigón, independientemente de la contracción por secado, si no existen juntas adecuadamente espaciadas y materializadas antes del descenso brusco de temperatura. En estos tres casos se ha constatado que gradientes del orden de 4 °C / hora son suficientes para fisurar pisos y pavimentos, de no poseer juntas de contracción para aliviar las tensiones inducidas por reducción de volumen debido descensos de temperatura.

- Las fisuras actúan como juntas de contracción y la junta planificada no ha trabajado eficientemente, ya que la fisuras se formaron antes de la materialización de las juntas.
- La razón de la ineficacia de las juntas no es la profundidad del aserrado sino el momento del aserrado (aserrado tardío fuera de la ventana de aserrado).
- En los casos estudiados, todos los paños afectados son los que se aserraron al día siguiente del colado y en ciertas condiciones climáticas ya descritas.
- Los pasadores o la malla de refuerzo no intervienen en el mecanismo de fisuración, con lo cual no son medidas preventivas.
- Las temperaturas del día anterior al hormigonado también influyen, ya que aumentan con la temperatura máxima del hormigón fresco.
- Colocar el hormigón al mediodía puede resultar en la situación más crítica ya que el pico de temperatura de la hidratación coincide con la temperatura máxima ambiente además que puede concluir la jornada laboral antes del aserrado de las juntas.
- Las condiciones climáticas, incluida el rápido descenso de temperatura o entradas de frentes de lluvia, son difícilmente previsible en muchas ocasiones.

Soluciones recomendadas.

- Si es posible técnica y económicamente, reducir la temperatura del hormigón fresco.
- Debe procurarse aserrar las juntas dentro de la misma jornada laboral, con lo cual a veces no puede ser recomendable hormigonar después de las 12 horas en caso que los operarios se retiren a las 17-19 horas. De no poder realizarlo, es conveniente marcar en el pavimento con flejes metálicos la mitad o la tercera parte de las juntas, para aliviar estas tensiones que pudiesen aparecer, con una penetración de no menos de la cuarta parte del espesor.
- Reducir la ganancia de calor de la radiación solar mediante nieblas de agua o proveer sombra durante las primeras horas. Las barreras corta-viento pueden ser contraproducentes.
- Otras medidas tomadas, como minimizar la pérdida de humedad durante las primeras horas. En estos casos pueden aparecer fisuras por contracción plástica que se forman antes del aserrado y pueden actuar como juntas de contracción no previstas.

Una o más de las previsiones señaladas deben tenerse especialmente en cuenta, cuando:

- Se hormigona en condiciones de tiempo caluroso con colado entre las 9 y 15 horas.
- Pavimentos y pisos expuestos al aire libre sujetos a variaciones de temperatura.
- No se toman medidas de protección del hormigón fresco (ejemplo: niebla de agua).
- Jornadas de asoleamiento directo (cielo despejado) y sin sombra sobre superficie.
- Aunque sea difícil de prever, probabilidad que exista un descenso de 10 °C de temperatura ambiente en 3 a 6 horas o de entrada de un frente de lluvia

CONCLUSIONES

Es recomendable cuantificar las condiciones climáticas en el emplazamiento de la obra; pero en casi todos los casos de éstas no se controlan. Ante la no existencia de estos datos, para el diagnóstico puede resultar útil emplear el pronóstico hora a hora de la localidad más próxima. Se ha inferido en base a condiciones ambientales de fuentes confiables, que para gradientes del orden de 4 °C / hora de la superficie del pavimento existe fisuración por contracción térmica en las primeras 24 horas. El valor es coincidente con las recomendaciones bibliográficas. Estas disminuciones bruscas de temperatura pueden ocurrir en condiciones climáticas de asoleamiento directo y entrada de frente frío o de lluvias que descendan la temperatura ambiente 10 °C en pocas horas. Deben tomarse las previsiones adaptables a cada caso en particular para evitar la aparición de estas fisuras, principalmente en lo referente a la materialización de juntas, ya que muchas veces son tareas que por diferentes circunstancias se dejan para realizar el día siguiente, existiendo un riesgo latente de aparición de estas fisuras.

REFERENCIAS

- ¹ ACI 305.R-99, "Hot weather concreting", American Concrete Institute, (1999)
- ² Kevern J., Haselbach L., "Hot Weather comparative heat balances in pervious concrete and impervious concrete pavement systems", University of Missouri, (2009)
- ³ Bamforth P., "Early-age thermal crack control in concrete", CIRIA C660, U.K., (2007)
- ⁴ Voigt G., "Specification synthesis and recommendations for repairing uncontrolled cracks that occur during concrete pavement construction", American Concrete Pav. Ass., (2000)
- ⁵ Simpson J., "Predicting thermal cracking in bridge deck repairs", Hanley-Wood, (2002)
- ⁶ Schindler A., McCullough B., "The importance of concrete temperature control during concrete pavement", Annual meeting of the Transportation Research Board, (2002)
- ⁷ Okamoto P., Nussbaum P., "Guidelines for timing contraction joint sawing and earliest loading for concrete pavements", Federal Highway Adm., FHWA-RD-91-079, (1994)