

Influencia de la temperatura durante el curado

en los pavimentos de concreto

Rupert Springenschmid, Eugen Hiller,

Institute of Building Materials, Technical University of Munich, Germany.

Fuente: 8th International Symposium on Concrete Roads

Traducción: Ing. Víctor Cervantes

Introducción:

Usualmente los pavimentos de concreto son colocados de forma continua en anchos entre 7.5 m y 15.25 m. Algunas veces se producen grietas longitudinales en la mitad de la losa. Esto sucede, usualmente, el día después de finalizar la colocación. Estas grietas aparecen principalmente en pavimentos de concreto colocados en las horas de la mañana en días de mucho calor.

Al perforar núcleos en las losas de concreto, se puede observar que las grietas solamente se desarrollan en la parte superior del pavimento y no en la parte inferior. Los anchos de las losas de pavimentos orientan a la suposición, que las grietas son causados por esfuerzos de tensión transversal en la losa. Sin embargo, el diagrama de cortante indica que la causa de las grietas son los esfuerzos de flexión.

Investigación:

En el instituto de Materiales de Construcción de la Universidad Técnica

de Munich, se realizaron investigaciones, con la finalidad de explicar el desarrollo de grietas, en los pavimentos de concreto, para días de verano de mucho calor. Se sometieron seis vigas de concreto (15 x 26 x 70 cm) a diversas pruebas, se colocaron al sol desde las 6:00 a.m. en un día caliente de verano. La mezcla de concreto se hizo de acuerdo a estándares alemanes (ZTV StB93).

La temperatura se midió a diferentes alturas de la viga. Para evitar la pérdida de calor de hidratación, los encofrados laterales fueron aislados térmicamente.

Las vigas de concreto fueron curadas utilizando diferentes procedimientos. Dos vigas fueron cubiertas con una delgada membrana transparente, otras dos fueron cubiertas, inicialmente, con un tejido protector de humedad y dos vigas no fueron curadas.

Para cada par de vigas que fueron curadas de la misma manera, una fue expuesta directamente al sol, mientras que la otra se mantuvo a la sombra.

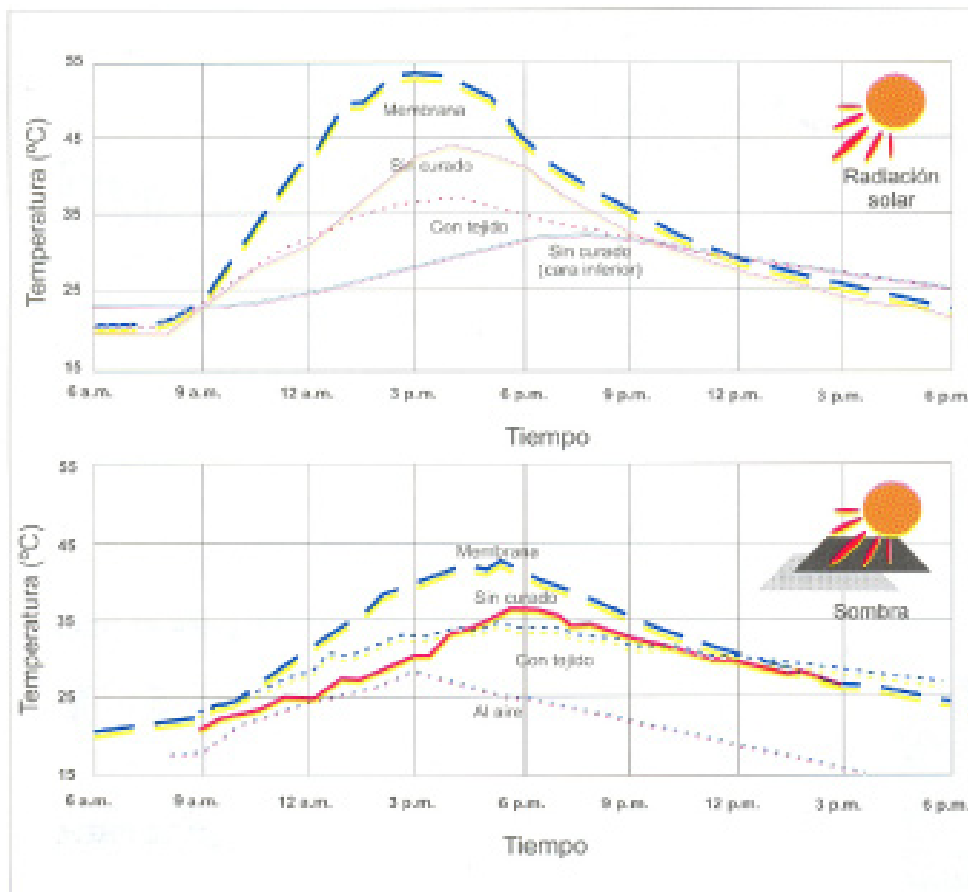


Figura 1: Temperaturas en la superficie de las vigas de concreto expuestas directamente al sol o mantenida bajo la superficie.

Temperatura máxima debido a diferentes métodos de curado:

Las vigas de concreto que fueron expuestas directamente al sol mostraron un comportamiento interesante:

El concreto cubierto con la membrana calentó más rápido a una mayor temperatura (52°C) que el concreto sin curado (ver figura 1). El agua no pudo evaporar bajo la membrana. El concreto curado, inicialmente, con un protector de humedad presentó la menor elevación de

temperatura.

•La viga de concreto cubierta con la membrana y mantenida en la sombra, alcanzó solamente una temperatura máxima de 42°C. Esto es conocido que la máxima temperatura a la sombra es menor 10°C que fuera de ésta.

•Todas las vigas mostraron en la parte inferior una temperatura máxima de 32°C. La temperatura en la parte inferior de la viga sin curado se muestra en la figura 1.

•La máxima temperatura en la parte inferior, en estas vigas, fue alcanzada cuatro horas después de alcanzar la máxima temperatura en la superficie.

Gradiente de temperatura:

El gradiente de temperatura en el concreto se muestra en la figura 2, se puede observar su variación entre la parte superior e inferior cuando está expuesto directamente al sol, de acuerdo con las mediciones realizadas a las 3, 6, 9, 12 y 15 horas y un día después de colocada. La temperatura máxima alcanzada, en la superficie, se logró alrededor de las 4:00 p.m. y en la parte inferior sucedió alrededor de las 8:00 p.m.

En la edad crítica (entre 8 y 12 horas de colocado), en la cual el concreto desarrolla su resistencia, la temperatura en la superficie de la viga es alrededor de 13°C mayor que en la parte inferior (figura 2, 3:00 p.m.).

En un período de 12 horas, el concreto está endureciendo, tal que cada grado de temperatura que aumenta, conlleva una contracción. Si la viga se encuentra restringida, las contracciones podrían transformarse en esfuerzos de tensión, los cuales solamente se pueden disipar levemente.

La temperatura a la cual el concreto esta libre de esfuerzos se conoce como la

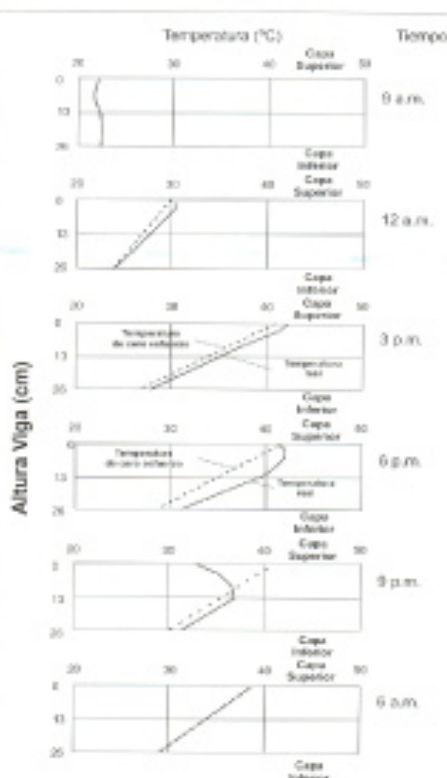


Fig 2: Gradiente de Temperatura en vigas de concreto expuestas al sol sin curado.

"temperatura de cero esfuerzo". De acuerdo al gradiente de esta temperatura, se conoce como "gradiente de temperatura de cero esfuerzo" (figura 2). El gradiente de temperatura se encuentra fuertemente inclinado, debido a la alta temperatura en la superficie y baja temperatura en la parte inferior.

Al final de la primera noche, cuando el concreto endurecido comienza a enfriarse en la superficie, la temperatura en la parte superior de la viga de concreto, es levemente menor que en la parte inferior. (Figura 2, 6:00 a.m.).

El arqueamiento de la losa de concreto, que ocurre durante la mañana siguiente, después de 24 horas de colocada, se muestra en la figura 3. El gradiente de temperatura actual fue asumido como 24°C sobre la totalidad de la losa. Se observa una gran diferencia entre el

gradiente de

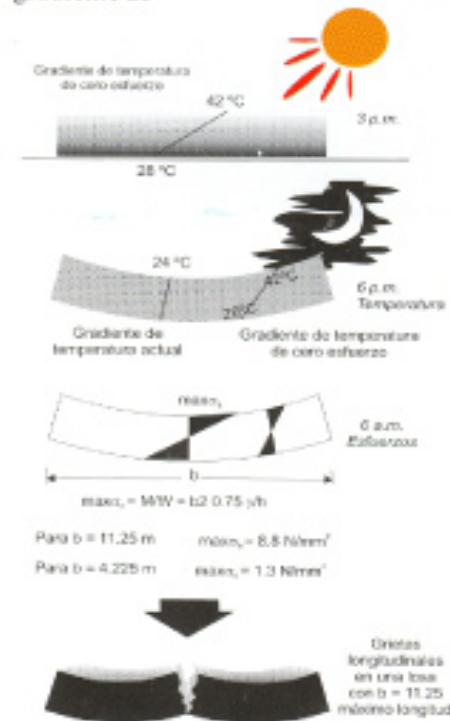


Fig 3: Influencia de la temperatura de cero esfuerzo en esfuerzos en altas temperaturas de verano.

temperatura actual y el gradiente de temperatura de cero esfuerzo. Esto provoca un arqueamiento de la losa de concreto, similar a una lámina de metal.

Esfuerzos debido a gradientes de temperatura:

A fin de medir el arqueamiento, provocado por los gradientes de temperatura, se utilizaron vigas de concreto con un largo de 70 cm. Gradientes de temperatura desfavorables, pueden forzar los extremos de las vigas a levantarse y formar voladizos. Pueden producirse esfuerzos de flexión, debido a la carga muerta del concreto. Entre más largos sean los voladizos, mayores son los esfuerzos de tensión.

Se han seleccionado vigas con largos de 70 cm, porque la mayoría de los gradientes de temperatura, para estas dimensiones causan alambos pequeños, que pueden ser medidos debido a la corta dimensión de los voladizos, la carga muerta causa solamente pequeños esfuerzos de flexión. En otras palabras solo una pequeña parte de la deformación se asocia a la tensión.

Sin embargo, en losas con anchos de 11.25 m, antes de que las juntas longitudinales sean cortadas, los esfuerzos de flexión en la mitad pueden llegar a alcanzar valores mayores a 8.8 N/mm² (figura 3). Esto es, definitivamente, muy alto para el concreto fresco.

Los esfuerzos fueron calculados sin considerar la adherencia del contacto con la base. Esta adherencia generaría esfuerzos adicionales.

juntas, los esfuerzos de flexión son verdaderamente bajos y las grietas por flexión no se desarrollaran.

Los gradientes típicos de temperatura de cero esfuerzo, en un pavimento de concreto, se muestran en la figura 4.

Cuando el concreto es colocado sobre una base que se ha enfriado durante la noche, el calor de hidratación fluye del concreto fresco a la base. Si, adicionalmente, la radiación solar calienta la parte superior del concreto, sucede un perjudicial (con fuerte inclinación) gradiente de temperatura de cero esfuerzo. El resultado es, altos esfuerzos a flexión los cuales pueden llevar a la fractura. Figura 3.

El caso menos crítico sucede cuando el concreto es colocado al mediodía sobre una base, la cual ha sido previamente calentada por radiación solar. La duración de la radiación solar es menor, y

pavimento de concreto se calienta únicamente por calor de hidratación, el cual puede fluir a las partes superior e inferior que se encuentran más frías. La parte superior y la inferior del pavimento tienen casi la misma temperatura y por lo tanto el gradiente de temperatura de cero esfuerzo es casi simétrico. En este caso la fuerte curvatura del gradiente de temperatura de cero esfuerzo no es una desventaja. El pavimento de concreto recibe un favorable preesfuerzo de compresión tanto en su parte superior como inferior y un preesfuerzo de tensión en la parte media donde no representa problema.

Conclusiones:

Altos esfuerzos de flexión, pueden llevar a la fractura en pavimentos de concreto, los cuales toman lugar en las horas de la mañana de un día muy caliente de verano. Sin embargo los siguientes puntos deben ser observados:

- Durante los días calientes de verano el pavimento debe ser protegido contra la radiación solar directa y el consecuente secado.
- El curado de humedad con una membrana de tejido o con rociado de agua es favorable, debido a que se reduce el calentamiento superficial.
- Si se utilizan componentes de curado deben reflejar la radiación solar (color blanco).
- Durante los días de verano las juntas transversales y longitudinales deben ser cortadas lo antes posible.
- Si no es posible proteger el concreto fresco contra la extrema radiación solar, el concreto debe ser colocado entre las horas de la tarde y el amanecer. En este caso la radiación solar más intensa no coincide con las mayores temperaturas debidas al calor de hidratación.
- Preesfuerzos de compresión en la parte superior e inferior de la losa de concreto son favorables. Ocurren si la mitad de la losa se calienta más que la superior e inferior acompañada por un enfriamiento igual sobre la parte superior de la losa.

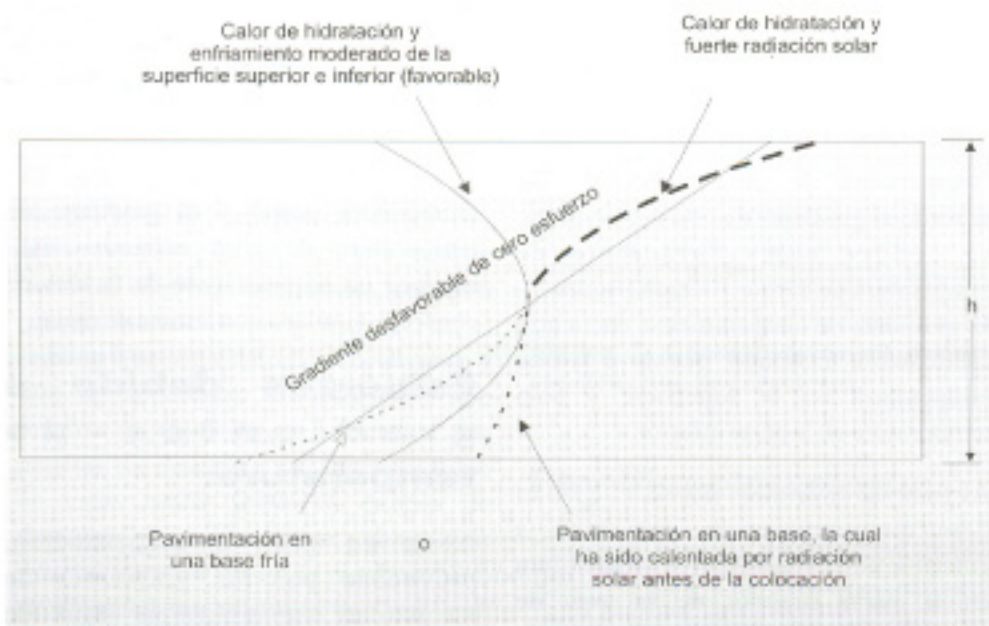


Figura 4: Temperaturas típicas de zona de cero esfuerzo (esquemáticas)

Ningún agrietamiento sucederá, si tan pronto como las losas de concreto endurecen, las juntas longitudinales son aserradas a una profundidad adecuada, lo cual significa, que el pavimento es subdividido en cuadros con anchos de 3.75 m o 4.25 m. Después de aserrar las

su intensidad disminuye durante el periodo crítico del endurecimiento del concreto.

El caso más favorable de pavimentación con concreto es cuando la temperatura del día es similar a la de la noche. El