

---

## NOTAS TECNICAS

---

### FISURAS Y GRIETAS EN PAVIMENTOS DE HORMIGON

Luis GUZMAN Z.\*

#### RESUMEN

*Este trabajo se refiere a las fisuras y grietas más comunes que se producen en nuestros pavimentos de hormigón, y en él se expone la forma en que se originan, su descripción y recomendaciones generales para evitarlas. Además se expone la experiencia efectuada en la repavimentación del Camino Portillo - Túnel Caracoles.*

#### GENERALIDADES

Las fisuras las separamos en los siguientes grupos:

- fisuras por retracción hidráulica
- fisuras por retracción térmica
- grietas en losas por combado y alabeo
- grietas debidas a las sobrecargas y/o asentamientos del suelo de fundación
- grietas debidas a la surgencia o bombeo (*pumping*)

#### Retracción hidráulica

Como se sabe, se deben principalmente a la evaporación del agua libre y a la tensión superficial del líquido situado en sus poros submicroscópicos. Solamente se producen en atmósferas no saturadas de humedad.

La descripción de este tipo de fisura se puede resumir de la siguiente forma: resquebrajamiento en la superficie, dando cortes en ángulo recto.

Por desecación rápida pueden producirse grietas antes de finalizar el fraguado, las cuales se conocen con la denominación de retracción plástica y son generalmente superficiales. Una vez finalizado el fraguado su ensancha-

---

\* Constructor Civil. Laboratorio de Vialidad, en la fecha de preparación de este trabajo, actualmente en Terra Ltda.

miento y propagación es lenta, y a los 28 días su anchura es del orden de algunos micrones, en profundidad de algunos milímetros y su separación de algunos centímetros. El aspecto que presentan se asemeja a una tela de araña.

Estas fisuras no comprometen la estructura del pavimento, pero comprometen la resistencia al desgaste. Para reducirlas se debe elegir una buena dosificación, una adecuada razón agua-cemento y un curado oportuno y eficiente.

### Retracción térmica

Las fisuras de retracción térmica son poco numerosas y se producen con un ensanchamiento y propagación relativamente rápido, a los 28 días su anchura es del orden de algunas décimas de milímetro, su profundidad de varios centímetros y su separación de algunos metros.

Una forma de reducir este tipo de fisuras es evitar la gradiente térmica en el período de fraguado, mediante un sistema de curado que proteja al pavimento de los cambios bruscos de temperatura.

### Grietas de combado y alabeo

En este caso, bajo la influencia de la retracción hidráulica, la losa tiende a curvarse progresivamente y dicho curvado se acentúa por la retracción térmica. Las deformaciones que la losa experimenta a causa de su propio peso y de las sobrecargas tienden a hacerla volver a su posición primitiva. Su cara superior se halla pretraccionada y la inferior precomprimida o viceversa, ya sea si el ambiente está caluroso o frío respectivamente. En el primer caso, por lo tanto, una sobrecarga en el centro producirá las grietas corrientes en los extremos de la losa. En el segundo caso serían las sobrecargas periféricas las que producirían dichas grietas.

Estas combas que sufren la losa, ya sea por descenso de la temperatura después de un período caluroso, o elevación de la temperatura después de un período frío, producen una flecha en dicha losa que está directamente relacionada con el cuadrado de la luz  $L$ , e inversamente proporcional al espesor:

$$\text{flecha} = c \frac{T}{M} \cdot \frac{L^2}{e}$$

$c$  = coeficiente que depende del tipo de sobrecarga;

$T$  = resistencia a la tracción

$M$  = módulo de ruptura a la tracción

es decir, para reducir estas deformaciones se debería acortar la luz o aumentar el espesor, resultando más económico acortar el paño: así lo demuestra la experiencia.

Este fenómeno era muy frecuente cuando en nuestro país se construían los pavimentos con paños de 8 metros de longitud (hasta 1955 aproximadamente). Luego se continuó construyéndolos de 6 m disminuyendo el efecto.

Ultimamente, desde 1970, nuestros pavimentos se construyen con losas de 4.50 y 5.00 m de longitud, (dependiendo del espesor) notándose a la fecha ausencia de grietas por estos efectos.

### **Fisuras debidas a las sobrecargas y/o asentamientos del suelo de fundación**

Para calcular las deformaciones debidas a las cargas permanentes y a las sobrecargas, es necesario hacer ciertas hipótesis sobre el comportamiento del suelo que soporta la losa. Las fórmulas de Boussinesq permiten, por ejemplo, calcular los diversos asentamientos del suelo, las deformaciones y las tensiones.

Los asentamientos son bastante considerables; el módulo de deformación del suelo es mucho menor que el del hormigón, 1.000 a 10.000 veces.

Los suelos son frecuentemente heterogéneos y su consolidación se prolonga durante muchos años, además de ser diferenciales.

Estas fisuras son principalmente debidas a las deformaciones de flexión, esta es la razón por la cual una carretera de hormigón se fisura especialmente en los terraplenes, cruces, sobre todo si existen badenes que aumentan el efecto dinámico de las cargas móviles.

Para reducir estas fisuras se debe compactar bien la sub-base, y sobre todo los terraplenes, que además de estar expuestos a asentamientos, también lo están a deslizamientos cuando están fundados en laderas de pendientes pronunciadas. En estos casos para evitar los deslizamientos deben fundarse por el sistema de ensamblamiento por escalones.

Además contribuyen a la reducción de las fisuras la reducción de la longitud de la losa y el aumento de su espesor.

En cuanto al ancho que deben tener las losas, podemos decir que el valor más adecuado es el que corresponde al doble de la distancia media de los grupos de ruedas de los vehículos corrientes más pesados, que aquí en Chile, tiene un valor de 3.50 m. Si las losas no sobrepasan dicho valor, raramente se fisuran longitudinalmente. Ahora si el ancho es demasiado grande, el combado y alabeo y las sobrecargas alternativas tienden a hacer que la losa quede en voladizo produciéndose por esta causa grietas longitudinales simples o dobles.

Cabe además agregar que las fisuras por flexión se producen en losas de hormigón por deformaciones debidas a las sobrecargas. El paso de un vehículo hace girar la losa en un pequeño ángulo, como consecuencia de la repetición de las sobrecargas, la losa va girando progresivamente y la carretera se transforma poco a poco en una serie de planos ligeramente inclinados con resaltes de algunos milímetros. Por estas deformaciones la losa puede romperse por flexión, en general perpendicularmente al sentido de la circulación.

Esto produce los siguientes efectos: fragmentaciones en las fisuras y éstas aumentan a medida que la longitud de las fisuras aumenta. Estas fragmentaciones tienen su origen algunas veces en deformaciones y variaciones de las dimensiones producidas por efectos hidráulicos y térmicos, los bordes de las fisuras pueden separarse y juntarse sucesivamente, luego cualquiera partícula de material que

penetre en ellas provoca grietas de cizallamiento aproximadamente paralelas a la superficie de la losa.

Para contrarrestar estas fragmentaciones de las fisuras, se deben sellar con productos plásticos de bajo módulo de deformación, lo que limita su anchura, y limita también el movimiento relativo de los bordes.

### Grietas debidas a la surgencia o bombeo

Las losas tienden a someter al suelo a punzonamientos en todo su contorno, a cizallarlo y rechazarlo lateralmente provocando una surgencia del mismo y haciendo aparecer resaltes. Esto se agudiza enormemente con suelos saturados.

Por otra parte, después de haber punzonado el suelo, el borde de la losa se levanta, quedando en voladizo y luego las sobrecargas subsecuentes producen las grietas. Las losas aparecen más finas cerca de sus bordes que en el centro.

Estas grietas se pueden eliminar o, en todo caso, reducir mucho minimizando la surgencia del suelo o bombeo, para lo cual sirve colocar una adecuada sub-base de un espesor conveniente, que debe ser de material granular bien graduado, que no contenga más de 15% de fino bajo tamiz N° 200, y con una plasticidad inferior a 6.

Excelentes resultados dan para este caso (si la alternativa económica lo permite), las bases mejoradas con cemento, las bases de suelo - cemento, las bases asfálticas y el suelo asfalto. Como con estos tipos de base aumenta bastante el módulo de reacción  $K_c$  de la subrasante se obtiene además una mejor capacidad de soporte.

Otra medida que hay que tomar para limitar estas grietas es hacer las juntas estancas, no permitiendo al suelo remontar o surgir (sobre todo si es arcilloso), por medio de un buen sellado que puede ser mastic asfáltico que se mantenga plástico tanto a alta como a baja temperatura ambiental.

Sobre este particular, puedo decir que hace varios años atrás, este sellado se hacía con gravilla de graduación abierta y emulsión asfáltica. Esta mezcla, además de ser permeable, formaba una estructura rígida lo que impedía los movimientos de las losas. Posteriormente, de 1958 a 1962 se usó un mastic a base de cemento asfáltico duro mezclado con filler (cemento - cal - kieselgur). Este tenía el inconveniente de reblandecerse con tiempo caluroso y vitrificarse con temperatura cercanas a 0°C. Desde 1965, a este mastic se le incorporó un polímero a base de neopreno el cual lo mantiene plástico con bajas y altas temperaturas.

### EXPERIENCIA DE AGRIETAMIENTO DEL PAVIMENTO DE HORMIGON DEL CAMINO INTERNACIONAL LOS ANDES - MENDOZA, SECTOR JUNCAL - CARACOLES

En el mes de septiembre de 1976 fue necesario pavimentar el camino de la referencia en el tramo comprendido entre Juncal y el empalme de acceso al

Túnel Caracoles, en una longitud de 7 kilómetros, debido a que el pavimento existente presentaba serios deterioros estructurales que dificultaban el tránsito cada vez creciente de este camino.

El diseño se encaró considerando el sistema de pavimentación de hormigón sobre hormigón, parcialmente adherido y reforzado. El método adoptado para el cálculo de la estructura fue el del AASHO Road Test Simplificado complementado con las recomendaciones del Comité 325 del ACI.

Los parámetros necesarios para el cálculo fueron estimados como se indica a continuación.

El suelo de fundación era el hormigón existente de 0.18 m de espesor sin refuerzo, con severas fallas estructurales (coeficiente  $C = 0.35$ ) y subbrasante con un módulo de reacción  $K_c$  de  $5.5 \text{ kgf/cm}^3$ .

La estimación del tránsito se hizo a partir de controles efectuados en la zona y se tomó un  $N_{18}$  de  $10^6$  ejes equivalentes para la vida de diseño de 20 años.

Se consideró una resistencia del hormigón a la flexotracción de  $40 \text{ kgf/cm}^2$  a 90 días.

Se eligió como armadura malla ACMA R-188, que tiene acero longitudinal de  $\phi$  6 mm a 150 mm, dando  $1.88 \text{ cm}^2/\text{m}$  y acero transversal de  $\phi$  4.2 mm a 250 mm, con  $0.56 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

De acuerdo a los cálculos y tomando en cuenta las condiciones climáticas adversas de la zona se agregaron las especificaciones especiales que se anotan a continuación.

El espesor de losa será de 0.15 m mínimo y el hormigón tendrá como mínimo una resistencia cúbica de  $360 \text{ kgf/cm}^2$  a los 90 días y una dosis mínima de 360 kg de cemento de alta resistencia por  $\text{m}^3$ .

Las juntas de contracción serán coincidentes con las del pavimento existente cada dos paños y podrán ser aserradas o formadas con pletinas de asbesto-cemento.

Las juntas de dilatación irán cada 55 a 75 m en coincidencia con una de contracción o construcción y llevarán barras de transferencia de carga de  $\phi$  18 mm, 0.80 m de longitud a 0.80 m.

Las juntas de construcción transversales serán iguales a las de dilatación, coincidentes con una transversal existente.

El hormigón se curará con una capa de suelo fino de 0.10 m de espesor colocada sobre polietileno de 0.1 mm.

Los áridos para el hormigón deben cumplir con las especificaciones normales pero además deberán tener una absorción no superior a 2.0% y un contenido de finos menores a 0.080 mm no superior a 2.5% los áridos finos y a 0.4% los gruesos.

Para la confección del hormigón, se recurrió al ripio y arena provenientes del pozo de empréstito ubicado en la Escuela de Alta Montaña del sector Portillo, que es el único pozo existente en la zona (hay otros pozos dentro de la misma

quebrada, pero son de las mismas características).

Estos materiales estaban fuera de especificaciones en algunos aspectos, particularmente en el contenido de finos, en la absorción y en la resistencia a la desintegración por sulfato de sodio, del árido fino. Pero en vista de la escasez de pozos de empréstitos y de que estos áridos se habían usado en la pavimentación anterior con un comportamiento relativamente aceptable se aceptó su uso condicionando a algunas exigencias adicionales de la obra.

Las principales fueron: usar la arena bajo tamiz N° 4 (100% bajo N° 4), en consideración a que la fracción comprendida entre 3/8 y N° 4 fue la que acusó mayor pérdida a la desintegración en el ensayo con sulfato de sodio; lavar la arena de tal manera que los finos menores que 0.080 mm se reduzcan a 1.5% como máximo; usar razón agua-cemento entre 0.40 y 0.43, y usar aire incorporado.

### Observación de grietas

A comienzos del mes de febrero se inició la faena del hormigonado con todos los requerimientos especificados. El día 23 del mismo mes, en que el pavimento tenía 17 días, se detectaron grietas a 6 metros de las juntas. Estas grietas atravesaban de lado a lado los paños (3.50 m de ancho) y comprometían todo el espesor de la losa. Debido a esto se revisó el cálculo del refuerzo consultando el manual de Capas de Refuerzo de hormigón para aeropuertos del PCA. Este manual indica que para el cálculo de la malla de refuerzo en *pavimento de hormigón sobre hormigón parcialmente adherido* deberá consultarse, además del espesor del pavimento nuevo, el espesor del pavimento existente. De acuerdo a esto se dispuso que la longitud de los paños fuera de 6 metros y su armadura de igual longitud, ya que se estaba construyendo con armadura continua y con juntas de contracción a 12 metros. Posteriormente aparecieron grietas a tres metros aproximadamente de las juntas en los paños de seis metros y en los de 12 metros se originaron nuevas grietas a distancias menores.

Ante esta situación se construyeron cuatro paños experimentales para observar el efecto de algunos detalles constructivos.

N° 1. Paño de 6.13 metros de longitud. Malla de refuerzo simple, traslapada 20 cm y distancia libre a las juntas de 56 cm (armadura discontinua).

N° 2. Paño de 12.95 metros de longitud. Malla de refuerzo doble, traslapo de 30 cm, distancia libre a las juntas de 10 cm y polietileno en grietas y juntas intermedias del pavimento existente.

N° 3. Paño de 14.10 metros de longitud. Malla de refuerzo simple, traslapo de 30 cm, polietileno en grietas, juntas y fisuras del pavimento existente.

N° 4. Paño de 12.00 metros de longitud. Malla de refuerzo simple, traslapo de 30 cm, mortero nivelante y polietileno en juntas.

Estos paños se observaron a los tres días de edad, detectándose pequeñas fisuras en el N° 3, que comprometían todo el espesor del paño en un solo lado,

A los cinco días de edad se constató que el paño N° 1 estaba sano, el N° 2

tampoco tenía grietas, aunque mostraba algo de porosidad debida a falla de vibración. En el paño N° 3 había una grieta a todo el ancho a 5.10 m de una junta de la capa inferior. El paño N° 4 tenía una grieta a 9.18 m de una junta de la capa inferior.

A los nueve días de edad, los paños presentaban numerosas fisuras a distancias de 0.40 y 1.70 metros entre sí y de hasta 2.92 metros de longitud. De 48 fisuras en los 4 paños sólo dos atraviesan el ancho total del paño.

A los 13 días de edad se detectó un aumento en la longitud de las fisuras.

Para completar el estudio de terreno se efectuaron tres paños más:

N° 5. Paño de 6 m de longitud, sin malla de refuerzo y dosis de 360 kgf/cm<sup>3</sup> de cemento alta resistencia inicial.

N° 6. Un sector con paños de 6 m de longitud con malla de refuerzo discontinua y dosis de 340 kg/m<sup>3</sup> de cemento alta resistencia inicial.

N° 7. Seis paños de hormigón de 0.22 m de espesor, seis metros de longitud, sobre base estabilizada, con malla de refuerzo discontinua y con dosis de 340 kg/m<sup>3</sup> de cemento alta resistencia inicial o con 370 kg/m<sup>3</sup> de cemento especial.

A los 10 días de edad se detectaron en los paños N° 5 y 6 dos fisuras incipientes en ambos casos. A los 14 días, en el paño N° 5 se observaron 16 grietas y el N° 6, pasado los 20 días, presentó 2 grietas.

En el paño N° 7 no se produjeron fisuras.

### Características general de las grietas

Las características de las grietas observadas en todo los casos son las siguientes.

Son paralelas entre sí a una distancia de 0.40 a 1.70 m y perpendiculares al eje.

Tienen un ancho de 1.0 a 1.5 mm en horas de menor temperatura ambiental. En horas calurosas se cierran haciéndose casi imperceptibles a excepción de las centrales.

Comienzan a presentarse una vez destapado el hormigón, aumentando su número con la edad y en la generalidad de los casos cortando el paño en todo su espesor y ancho.

### Condiciones de trabajo en sector de grietas

Las temperaturas ambientales mínimas controladas fueron de alrededor de 5°C. Se hormigonaba con una temperatura de 9° a 21°.

La temperatura del hormigón fresco fluctuaba entre 13° y 21°C.

La resistencia del hormigón se estableció por medio de 22 testigos cilíndricos extraídos del hormigón endurecido (en 2 420 m lineales, dos fajas) para ensayo a la compresión, dando entre 354 y 455 kgf/cm<sup>2</sup>, con un promedio de 387 kgf/cm<sup>2</sup>, reducido a cubo normal y a 90 días de edad.

En esta etapa primera de construcción se notaron varios defectos constructivos. Los más significativos fueron que el hormigón fresco quedaba expuesto

alrededor de  $1\frac{1}{2}$  hora antes de ser sometido a vibración; se agregaba agua a la superficie del hormigón fresco para platachar; la malla de refuerzo era aplastada por los camiones de acarreo del hormigón; la superficie del pavimento existente no se humedecía, y las pletinas para la confección de las juntas de contracción se introducían a golpes.

Con fecha 24 de marzo de 1977 se continuó hormigonando sin las deficiencias constructivas detectadas y se adoptaron las siguientes modificaciones:

- Paños de 6 metros de longitud
- Malla de refuerzo discontinua, traslape de 0.20 m, polietileno en grietas y juntas del pavimento existente.
- Cambio a cemento especial con dosis de  $370 \text{ kg/m}^3$ .

Con estas modificaciones se confeccionaron aproximadamente  $12.500 \text{ m}^2$  hasta el 17 de mayo de 1977, fecha en que se terminó la faena de hormigonado.

Las observaciones periódicas efectuadas a este sector se prolongaron hasta la edad de 30 días sin detectar fisuramiento alguno. Intensas nevadas posteriores y otras razones adicionales han obstaculizado una visualización acuciosa del problema. Esperamos que dentro de un período de algunos años se puedan obtener conclusiones definitivas basadas en las observaciones del estado del pavimento después de ese tiempo de operación.