

La reflexión de fisuras de las bases de gravacemento y hormigón compactado: causas y remedios

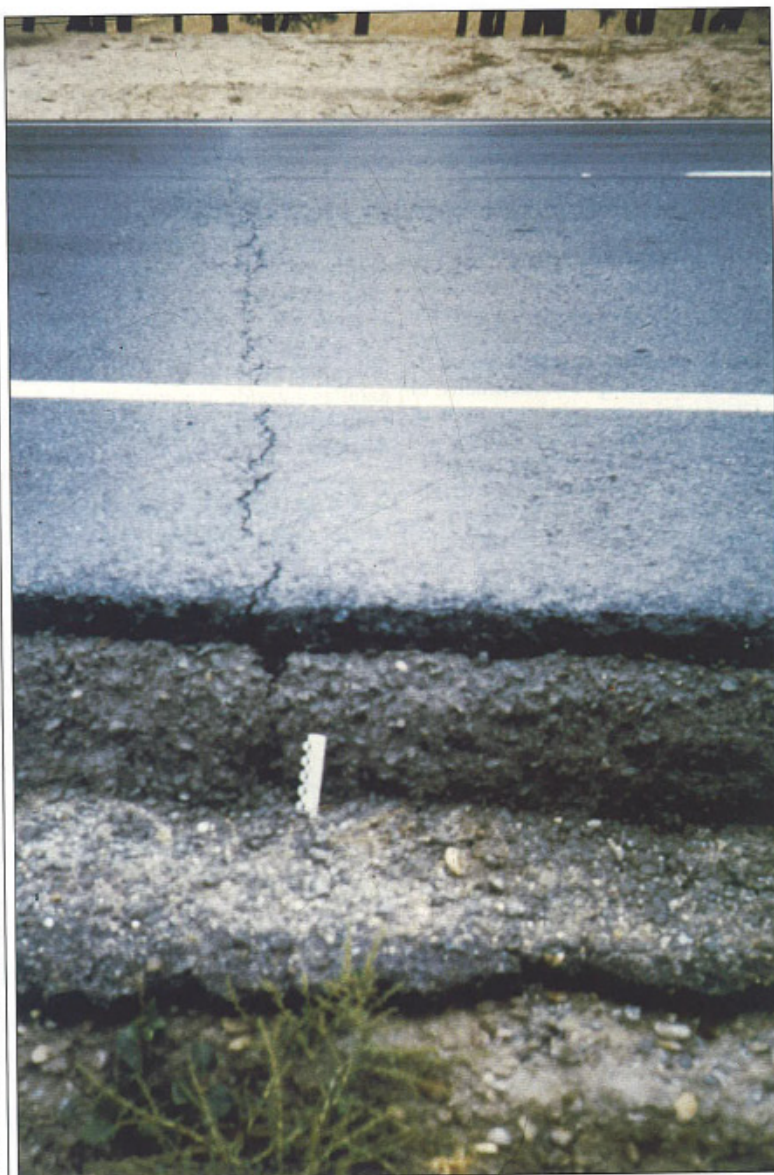
POR CARLOS KRAEMER.
Dr. Ingeniero de
Caminos, Canales
y Puertos.

1. Firmes semirrígidos y firmes compuestos

En la técnica moderna de firmes aparecen primero los firmes flexibles constituidos por capas granulares, revestidos o no por un delgado pavimento bituminoso, y los pavimentos rígidos constituidos por losas de hormigón. Estos últimos empiezan a usarse a mediados del siglo pasado, por su elevada capacidad de reparto de cargas a la explanada, indeformabilidad, durabilidad y reducidos gastos de conservación.

Ya en la segunda década de este siglo empieza a experimentarse con la estabilización de suelos con cemento, obteniéndose nuevos materiales más resistentes y menos susceptibles a la humedad. Pero es en los años 30, en Estados Unidos y, en particular, en Carolina del Sur, cuando se desarrolla la tecnología de lo que hoy conocemos como suelocemento, un material con aprovechamiento de suelos granulares locales, utilizado en aquella época para capas de base. Más tarde, ya en los años 40, empiezan a usarse las bases de gravacemento y hormigón magro, mezclas con cemento de áridos naturales o de machaqueo para bases en firmes para tráfico pesado. Su empleo se fue extendiendo por Europa, Estados Unidos y otros países en desarrollo, sustituyendo progresivamente a las bases granulares.

En España, la gravacemento se introduce hacia 1964 en la autopista Las Rozas-Villalba de la N-VI. En competencia estructural y económica con las bases bituminosas, llega a utilizarse en más de la mitad de los tramos de autopistas y carreteras nacionales de nueva construcción. Las



Típica grieta transversal reflejada en superficie a través del pavimento bituminoso

“**L**as fisuras de las capas tratadas con cemento son, en general, relativamente rectilíneas, transversales o longitudinales; las diagonales suelen estar relacionadas con asientos locales de la explanada.”

subbases granulares son definitivamente sustituidas en los años 80 por suelocemento, aumentando así la resistencia a la fatiga de los firmes.

Los firmes semirrígidos tienen un espesor apreciable de materiales tratados con cemento que resisten a flexión, con un pavimento de mezcla bituminosa que les protege de la acción directa de las cargas del tráfico. Para evitar o retrasar la aparición de las fisuras de estas capas cementadas, el espesor total de mezcla bituminosa se establece pronto en los 12-15 cm actuales para tráfico pesado, aceptándose en cambio una sola capa delgada de rodadura para tráfico ligero, no propenso a degradar las grietas reflejadas. Incluso con los grandes espesores indicados, no se consigue evitar las grietas en superficie en varias obras antes de la extensión de otra nueva capa de rodadura, y es necesario recurrir a su ponteo para evitar su desportillado y la entrada de agua. Las grietas reflejadas son consideradas por algunos ingenieros como un fallo de los firmes semirrígidos, con una tendencia a aumentar el espesor de mezclas bituminosas a costa de dejar la capa cementada al nivel de la subbase o incluso a pasar a firmes asfálticos. Hay que señalar que, en muchos casos, esta fisuración tiene su origen en defectos constructivos o en una fatiga prematura de la base apoyada en una subbase granular. A finales de los 80, se nota una demanda general para evitar la aparición de fisuras en la superficie.

Por otro lado, en 1984 se inicia el empleo del hormigón compactado con rodillo en carreteras principales, con la construcción del túnel del Cadí. El nuevo tipo de firme debe considerar-

se más como compuesto, dado que el hormigón compactado es capaz de soportar el tráfico, pero tiene un pavimento bituminoso cuya principal función es mejorar la regularidad superficial en vías de alta velocidad. Aquí también aparece pronto la conveniencia de eliminar la reflexión de grietas, para lo que empiezan a disponerse juntas transversales, pasando rápidamente de 15 m de distancia a 10 m, 7 m y, a partir de 1990, a distancias próximas a los 3 m y a su ejecución en fresco.

La disposición de juntas próximas tiene por objeto limitar su abertura y, por ende, los movimientos horizontales y verticales de sus bordes, causa principal de la propagación a la superficie. En el tramo Alcalá-Meco (N-II) se establecen tramos experimentales para evaluar la efectividad de la prefisuración, complementada en varios tramos con otras medidas antifisuras. Los buenos resultados alcanzados con esta técnica no sólo en España, sino en Francia y en Alemania, han propiciado el desarrollo de máquinas específicas para crear las entallas antes de la compactación definitiva de forma eficaz, rápida y económica.

2. Fisuración de las capas tratadas con cemento

Las fisuras de las capas tratadas con cemento son, en general, relativamente rectilíneas, transversales o longitudinales; las diagonales suelen

estar relacionadas con asientos locales de la explanada. En superficie, las grietas pueden ser francas, ramificarse o evolucionar en forma de malla o en bloques. Pueden ser muy finas, con



Formación de juntas en



Ponteo de fisuras



fresco en el hormigón compactado. Variante de Torredonjimeno (Jaén). Diciembre de 1995

aberturas de sólo décimas de milímetro, finas (1-2 mm) o abiertas (más de 2 mm). En las fisuras muy finas y próximas, los movimientos horizontales son muy reducidos; y los movimientos verticales relativos bajo las cargas del tráfico pesado están impedidos por el engranaje de las partículas resistentes de los áridos. En cambio, en las fisuras abiertas estos movimientos alcanzan valores que no puede soportar el pavimento bituminoso, relativamente adherido, sin agrietarse por reflexión y degradarse, salvo que su espesor fuera superior a los 20 cm, solución claramente antieconómica.

Análogamente a los pavimentos de hormigón, en los que las juntas suponen una fisuración ordenada para paliar la necesaria retracción, la prefisuración pretende sustituir la fisuración aleatoria, de efectos negativos, que se produciría de otro modo. Las fisuras pueden tener diferentes causas, y es necesario distinguirlas para intentar que no se produzcan o, si son inevitables, controlar su propagación a la superficie.

1. La fisuración inicial o primaria, no asociada a las cargas y que, en gran parte, se produce en los primeros días que siguen a la construcción de la capa del firme, está constituida por grietas transversales a distancias variables de 5-20 m y, a veces, por alguna grieta longitudinal en grandes anchuras de hormigonado o coincidiendo con juntas longitudinales mal ejecutadas. Es debida a la retracción hidráulica por fraguado y a la retracción térmica impedida de una capa tratada de gran longitud por rozamiento con la subbase. La fisuración se inicia cuando las tensiones superan la resistencia a tracción, todavía baja, del material. A estas tensiones se añaden las debidas al combado impedido por gradiente térmico. En ambas incide el espesor protector del pavimento.

Las fisuras de retracción son prácticamente inevitables, y sus características (distancia entre

fisuración, abertura, momento de aparición) resultan aún imposibles de predecir por el gran número de factores que intervienen (tipo de cemento, naturaleza y granulometría de los áridos, dosificación, etc.). Las condiciones climáticas durante la puesta en obra y el curado influyen también considerablemente en el proceso. La prefisuración pretende fundamentalmente ordenar este tipo de fisuración.

2. Si la distancia entre fisuras de retracción es grande, las sollicitaciones de la capa en servicio, bajo cargas repetidas y en condiciones térmicas variables, puede llegar a producir una fisuración por fatiga tensional y térmica. La prefisuración, al disminuir la distancia entre fisuras, mejora la resistencia a la fatiga de las capas tratadas. Con ello, en las condiciones normales de un proyecto adecuado de la estructura del firme y de una ejecución correcta, este tipo de fisuración no debería presentarse más que al final del período de proyecto y, en todo caso, no antes de la extensión de una nueva capa de rodadura, lo cual suele ocurrir antes de los 10 años.
3. En alguna obra se han producido roturas por pandeo, fenómeno poco frecuente que requiere la coincidencia de varios factores negativos. Como en el caso de los pavimentos de hormigón, aquí también la existencia de juntas próximas tiende a impedir que se produzca.
4. De origen externo a la capa tratada son las grietas debidas a movimientos del cimiento. Puede tratarse de asentamientos localizados, corrimientos del terreno o cambios de volumen asociados a suelos expansivos. Su identificación es clara por su forma no rectilínea, gran abertura y escalonamiento.
5. La causa de la fisuración antes considerada puede incluirse en el apartado general de los defectos de construcción, que es necesario evitar. Otros problemas pueden surgir si el pavimento está despegado de la base por un riego de adherencia inadecuado, lo que lleva a una

fatiga prematura si las juntas están mal construidas o mal situadas, como en ensanches iniciados en las rodadas, etc.

3. Reflexión de grietas

Entre los mecanismos de propagación hay que citar en primer lugar la denominada fatiga térmica. Se debe a los ciclos de apertura y cierre de las grietas de retracción debidos a las variaciones diarias de temperatura. Suponiendo perfectamente adherida la mezcla bituminosa a la capa tratada con cemento, se produce una concentración de tensiones en el contacto con la fisura, que tiende a despegar el aglomerado. Si éste resiste, la fisura se propaga hacia arriba, llegando a la superficie, lo que no impide que pueda también despegarse en una zona próxima a la junta.

Algunas fisuras pueden también iniciarse en la superficie del pavimento y propagarse hacia abajo, por un fuerte gradiente térmico negativo y un combado de los bordes hacia arriba, típico en épocas de fuertes oscilaciones de temperatura entre el día y la noche.

Por último, la repetición de cargas de tráfico ayuda a la propagación de las fisuras de origen térmico.

Todos estos mecanismos están relacionados con los movimientos horizontales y verticales de las fisuras de la base. El objetivo fundamental de la prefisuración es precisamente limitar estos movimientos para impedir la reflexión.

Son muchos los factores que intervienen en la reflexión de grietas de retracción, y es aún imposible determinar su influencia relativa. Ya se han mencionado algunos factores relacionados con la fisuración de las capas de gravamento y de hormigón compactado. Hay que reconocer, sin embargo, que, aunque se ejecutaran en las condiciones óptimas de materiales, dosificación y puesta en obra, difícilmente se conseguirá un espectro de fisuración tan favorable como el que puede conseguirse mediante la prefisuración. De este modo resultaría incluso innecesario limitar la resistencia máxima de la gravamento, medida que pretende limitar la distancia entre las fisuras iniciales de retracción.

En cuanto a los factores relativos al pavimento bituminoso, hay que distinguir los que se refieren al material

de que está constituido y al espesor del recubrimiento. Las mezclas bituminosas más resistentes a la propagación serán las que resisten bien a la fatiga, mezclas densas con elevados contenidos de mástico bituminoso, posiblemente con betún polímero, flexibles a las temperaturas de servicio. Parece difícil que reforzarlo sea eficaz (armadura de módulo elevado y buena adherencia a la mezcla), y aún más que sea económicamente rentable. Un mayor espesor del pavimento tiene también una gran influencia, no sólo por aumentar el recorrido de propagación, sino también por el mayor aislamiento térmico de la base y la disminución de las sollicitaciones de corte.

Las condiciones de la interfaz base/pavimento influyen decisivamente en todo el proceso de la reflexión de fisuras. Por una parte, interesa una buena adherencia para el trabajo conjunto de las capas, la cual conduce a una propagación vertical franca de la grieta. Si las capas están despegadas o poco adheridas, se corre el riesgo de una fatiga prematura. De ahí el desarrollo de membranas o MATIs, membranas de absorción de tensiones interfaciales, que reúnan las características necesarias.

Por último, hay que citar las condiciones de puesta en obra, los factores climáticos y la acción del tráfico pesado.

¿Qué consecuencias desfavorables tiene la reflexión de grietas a la superficie y por qué interesa evitarla?

En primer lugar, hay una pérdida de la continuidad estructural, con un aumento de las tensiones locales debidas a las cargas. Salvo para grietas muy finas en las que el engranaje entre las partículas de los áridos mantiene la transmisión de las cargas, se producen unos movimientos verticales relativos que terminan por desgastar y degradar los bordes de la grieta.

En superficie, si el tráfico es intenso y pesado, las grietas se van desportillando y abriendo, permitiendo que el agua entre en el cuerpo del firme y también partículas sólidas que colaboran en la degradación al cerrarse las grietas por aumento de la temperatura. Llega a ser necesario un pontecado, que afea la superficie y que puede afectar algo a la regularidad superficial.

La reflexión de grietas puede así reducir la vida del firme, requiere una



Máquina C.R.A.F.T. cortan-

conservación periódica, y hasta afecta a las características funcionales del pavimento, por lo que interesa su eliminación. Sólo en el caso de tráfico ligero, sus consecuencias son muy limitadas y no requieren atención. Por ello se ha aceptado para estos firmes una delgada capa de pavimento de 4-6 cm de espesor, que no puede impe-





do juntas transversales en fresco cada 3 m

dir la reflexión rápida de las grietas de la base.

4. Métodos de control de la reflexión de fisuras

Un buen proyecto estructural y una ejecución correcta impiden la formación de grietas por fallos del ci-



Compactación de la capa tras la prefisuración

miento y la fisuración por fatiga durante el período de proyecto. No pueden evitarse, sin embargo, las grietas de retracción hidráulica y térmica, en las que actualmente sólo podemos influir de forma parcial para no imponer limitaciones onerosas a la construcción.

Para evitar la reflexión de estas últimas en la superficie dos estrategias son posibles y no excluyentes: disminuir al mínimo sus movimientos para lo cual el método más efectivo es la prefisuración, o bien actuar sobre las capas superiores. Así se ha procedido aumentando el espesor de mezclas bituminosas, buscando (pocas veces) unas mezclas más deformables a tracción a bajas temperaturas y, sobre todo, desarrollando las membranas antifisuras (MATIs).

Estos tratamientos han recibido durante la última década una gran atención, incluidas dos conferencias internacionales monográficas sobre el tema. Son varias las técnicas empleadas: morteros bituminosos ricos en ligante, membranas gruesas con betunes modificados, geotextiles impregnados con ligantes hidrocarbonados, bandas asfálticas sobre grietas o juntas, etc. Las MATIs deben estar perfectamente adheridas a la base y al pavimento; ser estables, pero suficientemente deformables bajo las sollicitaciones lentas de los ciclos térmicos; y mantener la impermeabilidad sobre las grietas activas. Los resultados obtenidos hasta la fecha son variados. No hay todavía suficiente confiabilidad en los procedimientos, cuyo coste es por otra parte elevado: equivalente a una capa de aglomerado. Hay que señalar además que las MATIs no admiten movimientos verticales relativos de cierta importancia en grietas o juntas. A pesar de estas limitaciones, estas membranas pueden ser útiles en algunos casos, y es de esperar que su rentabilidad técnica y económica mejore en el futuro.

Hay que mencionar otros dos procedimientos para evitar la reflexión de grietas: los firmes inversos y el empleo de geomallas. En el primer caso, se interpone una capa granular de 10-15 cm entre el pavimento y la base para evitar la propagación, lo que supone que la capa bituminosa ha de trabajar de modo independiente y, por tanto, tener el espesor neces-

rio para resistir a la fatiga bajo cargas repetidas. Las geomallas pueden ser eficaces si son continuas y se dispone sobre las mismas un pavimento de suficiente espesor. De otro modo pueden hasta ser perjudiciales, como se ha comprobado en dos tramos de la autovía de Andalucía, propiciando una fisuración en malla, por despegue entre las capas de aglomerado.

Otra técnica utilizada en ocasiones es la de microfisuración antes de finalizar el fraguado o cuando la resistencia a la tracción de la capa tratada con cemento es aún débil. Trata de establecer una red de fisuras aleatorias muy finas, entre bloques bien imbricados, sin movimientos relativos ante variaciones térmicas o bajo cargas repetidas. La apertura inmediata al tráfico, practicada a veces en Francia, puede ser así beneficiosa y no perjudicial, como se considera aún en España para las capas de gravacemento. Con los espesores habituales de estas capas, la microfisuración obtenida es insuficiente, por lo que, de forma experimental, se han aplicado rodillos vibrantes pesados e incluso impactos por caída libre de una maza. Los resultados obtenidos no son aún concluyentes.

5. La prefisuración

La prefisuración ordenada de la capa tratada con cemento establece unas juntas transversales próximas (2,5-3,5 m), a veces juntas longitudinales, con objeto de limitar los movimientos y asegurar la transmisión de cargas, incluso en época fría. Las inevitables grietas de retracción de comportamiento desigual se convierten en fisuras rectilíneas, muy finas, que hacen poco probable la reflexión en superficie. El procedimiento resulta hoy económico y eficaz, relegando incluso los MATIs a una medida adicional para casos especiales.

Las juntas se forman en fresco, tras la extensión de la capa de gravacemento u hormigón compactado, antes de la compactación por rodillo vibrante. Se puede hacer una entalla superior con una profundidad del orden de 1/4 - 1/3 del espesor de la capa compactada, utilizando, por ejemplo, una placa vibrante con una cuchilla soldada en su parte inferior.

“**E**n España, la prefisuración a distancias cortas se emplea desde 1990 en capas de hormigón compactado con resultados alentadores.”

Con objeto de asegurar mejor la abertura de todas las juntas, se han desarrollado en Francia máquinas específicas que crean la entalla en todo el espesor, con buen rendimiento y coste reducido. Además, impiden que el corte se cierre tras la compactación mediante un riego de emulsión (método CRAFT), por la inclusión de una cinta de plástico (método OLIVIA) o por la introducción de un perfil ondulado de plástico rígido (método SETEC-SACER de juntas activas).

En España, la prefisuración a distancias cortas se emplea desde 1990 en capas de hormigón compactado con resultados alentadores, habiéndose notado una sensible mejora en el fenómeno de la transmisión de las grietas, a medida que ha ido disminuyendo la separación entre juntas. Es de esperar, por ello, su empleo generalizado en las capas de gravemente para mejorar su comportamiento y disminuir su conservación, con una superficie de rodadura libre de grietas.

Bibliografía

WILLIAMS, R.I.T. (1986): *"Cement-Treated Pavements"*. Elsevier Applied Science Publishers, Londres.

ROUTES 91 (1991): *"Maîtrise de la fissuration des graves-ciment"*. Ciments & Chaux n° 38, pp 8-16, París.

AIPCR-PIARC (1991): *"Chaussées semi-rigides - Semi-rigid pavements"*. Publicación 08.02.B, París.

BONNOT, J. (1992): *"L'expérience française des procédés de lutte contre les conséquences des fissures de retrait des assises de chaussées traitées aux liants hydrauliques"*. Jornadas sobre Reflexión de Grietas en Carreteras, Madrid, 6 de mayo. Ponencias editadas por el CEDEX.

COLOMBIER, G. y MAR-CHAND, J.P. (1993): *"The pre-cracking of pavement underlays incorporating hydraulic binders"*. Proceedings, 2ª Conferencia Internacional sobre Fisuración por Reflexión en Firmes, Lieja (Bélgica), 10-12 de marzo. Editados por E & FN Spon, Londres.

JOFRÉ, C. y VAQUERO, J. (1995): *"Prefisuración de capas tratadas con cemento"*. Carreteras n° 77. Madrid. ■

Carlos Kraemer. Catedrático de Caminos y Aeropuertos. Universidad Politécnica de Madrid.