



Técnicas de prefisuración

Carlos Centeno Ferruelo, ICCP.
Ingeniería de Trazados
y Explanaciones (INTEF, S.L.)

Resumen

En España se viene utilizando las capas de suelo estabilizadas con cemento en subbases siendo escasa las obras en las que se utilizan bases de gravacemento, por la aparición de grietas en superficie, como consecuencia de la reflexión en la capa de rodadura de la fisuración de retracción que se produce en estas capas. Con una adecuada técnica de prefisuración es posible limitar las consecuencias perjudiciales de la fisuración de retracción, lo que conlleva la posibilidad de utilizar las capas de gravacemento en subbase, incluso gravas cemento de altas prestaciones, lo que permitiría pensar en capas asfálticas de menor espesor.

En este artículo se hace una exposición de las técnicas existentes y las empleadas en España, analizando los resultados y llegando a la conclusión

de que se hace necesario, que la maquinaria a utilizar para realizar la prefisuración fuera objeto de una validación a través de un informe técnico emitido por un organismo o asociación acreditada, de forma similar a como se realiza en Francia.

Palabras clave: Transferencia de carga, CRAFT, OLIVIA, JOINT-ACTIF, Quad Prefisurador, informe técnico.

Reflexión de las fisuras de retracción

La fisuración de retracción de las capas tratadas con cemento es un fenómeno inevitable. Son creadas, por una parte, por la retracción durante la puesta en obra; y, por otra parte, por efecto de cambios volumétricos debidos a gradientes térmicos. Ello conduce a unos desplazamientos horizontales en los bordes de las fisuras.

Estas fisuras, bajo el efecto del tráfico pesado, también tienen unos movimientos verticales, que son los más agresivos de cara a la reflexión de la fisura en la superficie. Es pues, en las

estructuras sometidas a una elevada frecuencia de solicitaciones de carga, donde la fisuración transversal puede conllevar a desórdenes estructurales graves.

Muy a menudo, cuando las normas de ejecución se han cumplido, las grietas son finas, y, cuando aparecen en la superficie de la carretera, se aceptan como una evolución normal de los trabajos.

La presencia de grietas en la subbase o base de la calzada, y su transmisión a la capa de rodadura, tiene unas consecuencias directas e indirectas sobre el comportamiento general de la calzada.

Las consecuencias directas de la fisuración y su influencia, en el período de vida de la estructura del pavimento, se han tenido en cuenta en los catálogos y en los métodos de diseño. Desde esta perspectiva, una fisuración normal es admisible en los firmes semiflexibles.

Por el contrario, los aspectos indirectos relacionados con la aparición de las fisuras en superficie están menos

dominados, y es en ellos donde se centran las preocupaciones de las Administraciones, sobre todo para el tráfico importante: la evolución de las fisuras y su sellado, pueden producir una incomodidad en los usuarios. Del mismo modo, un sellado mal realizado puede entrañar una degradación de la estética de la capa de rodadura.

Las fisuras de la superficie del firme, producidas por la reflexión de fisuras de retracción de las capas tratadas con cemento, se caracterizan por ser sensiblemente rectilíneas, perpendiculares al eje de la calzada y regularmente espaciadas. En ocasiones pueden aparecer también grietas longitudinales al eje de la calzada hacia la mitad de su anchura.

Cuando se permite la libre fisuración en estas capas sin realizar prefisuración, el espaciamiento entre las fisuras suele variar entre los 3 y los 20 m dependiendo de la naturaleza de los materiales, la dosificación de conglomerante y las condiciones climáticas (variaciones estacionales de temperatura, que dan lugar a movimientos horizontales, como consecuencia de los acortamientos y alargamientos experimentados por las losas y variaciones diarias de temperatura, producidas entre el día y la noche, que dan lugar a la existencia de gradientes térmicos en las losas que pueden provocar su deformación por combado). La abertura de los labios de las fisuras es, inicialmente, muy pequeña, pudiendo evolucionar con rapidez en función de la intensidad del tráfico, de las variaciones térmicas en la zona, y de la naturaleza de la mezcla bituminosa del pavimento.

Por tanto, se hace imprescindible estudiar procesos para limitar la reflexión de estas fisuras a la superficie y evitar, de esta manera, los trabajos de sellado.

Para limitar las consecuencias perjudiciales de la fisuración de retracción de las capas tratadas con cemento, se puede actuar a diferentes niveles:

- a) Limitando la fisuración de las capas tratadas con cemento.
- b) Retrasando o impidiendo la reflexión de las fisuras a través de las

capas de mezclas bituminosas a la rodadura.

c) Tratando las fisuras aparecidas en superficie (sellándolas) y evitando la degradación de la capa de rodadura en su entorno.

Tratamos solamente el proceso descrito en el apartado b) de retrasar o impedir la reflexión de las fisuras.

Podemos considerar dos grandes familias de procesos utilizables solos o combinados

■ La prefisuración que tiene por objetivo dirigir el proceso de fisuración y obtener unas fisuras lo mas limpias y finas posibles

■ Disponer capas superiores específicas antifisuras lo que contribuye a frenar la reflexión de la fisuración impidiendo su aparición en superficie.

diseño, pero, a día de hoy, el cálculo no está desarrollado convenientemente, por lo que debe ser objeto de investigación. La prefisuración en ningún caso debe conducir a una disminución del dimensionamiento de la capa de mezclas bituminosas.

Descripción de las técnicas de prefisuración

La prefisuración consiste en la creación de discontinuidades transversales, a la hora de ejecutar la puesta en obra de los materiales, introduciendo una discontinuidad en la capas tratada con cemento, que posteriormente se transforman en fisuras finas. Esto crea en la superficie una ruta de acceso preferencial para evitar fisuras de difusión incontrolada. El objetivo es

Serrado Prefisuración	Técnica	Resultados
	Creación en el material compactado o no, de una discontinuidad ejecutada o no, con emulsión, arena, o perfil. La discontinuidad se transforma posteriormente en fisuras. Creación por serrado de las primeras fisuras, después de la puesta en obra del material, pero antes de su retracción hidráulica.	Los trabajos realizados muestran la creación de fisuras al nivel de la discontinuidad. Estas fisuras son rectilíneas. Si las discontinuidades se ejecutan cada 3 m, y la capa está adherida a la capa soporte las fisuras, son finas. Muy favorable en trabajos sobre hormigón compactado, que es donde el proceso ha sido experimentado.

El control de las fisuras ofrece la posibilidad de utilizar materiales más resistentes, gravas cementos de altas prestaciones, lo que podría permitir reducir el espesor de mezclas bituminosas.

limitar la gravedad de las fisuras reflejadas en la superficie con grietas finas que requieren poco o ningún mantenimiento.

La prefisuración cada 2 ó 3 metros, según las técnicas, fue diseñada para mantener un buen engranaje en el material, y, por lo tanto, una transferencia de carga satisfactoria limitando el riesgo de los movimientos verticales. Las discontinuidades creadas se pueden agrupar en dos familias:



Fisura transversal reflejada en superficie.

Se admite que las fisuras más finas permiten un mejor engranaje del material, que podría conducir a reducir los espesores de las capas de

■ Surcos que abarcan menos de la mitad del espesor de la capa, (normalmente entre 1/3 y 1/4 de su espesor), realizadas en fresco o por se-

rado del material endurecido.

■ Surcos que abarcan la práctica totalidad del espesor de la capas, realizadas en fresco, y en las que se introduce algún elemento en el surco realizado que impida el fraguado conjunto de ambos lados de la junta formada.

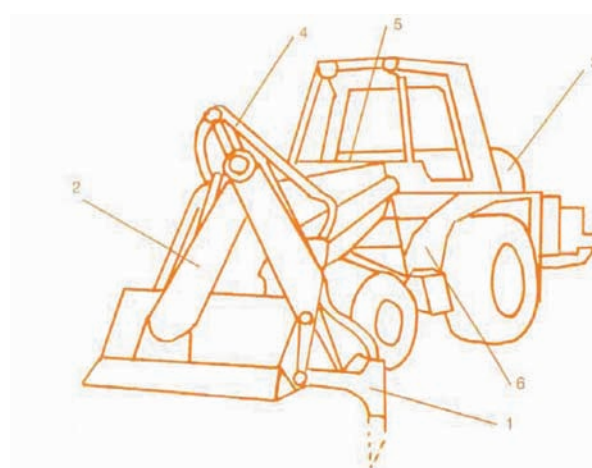
En las discontinuidades realizadas por serrado se pueden provocar deterioros en los labios de las juntas si el material no presenta la suficiente resistencia. Esto obligó, en general, a esperar un cierto plazo para poder proceder al serrado de la capa, lo que puede causar la fisuración incontrolada del material. Además, el serrado de juntas puede producir una pérdida significativa de transferencia de cargas entre bordes.

El sistema de prefisuración en fresco a espesor parcial, sin inclusión de elemento alguno, plantea la duda de si las discontinuidades se cerrarán tras el paso de los rodillos, y de si, aún sin cerrarse, el debilitamiento será suficiente para que se forme la junta en todas ellas.

Para evitar este problema, se recomienda prefisurar en fresco un espesor importante de la capa, incorporando en el surco formado algún elemento que evite la adherencia entre los labios de la fisura, y asegure un debilitamiento real de la junta realizada (emulsión bituminosa, láminas de plástico flexible o perfiles ondulados de plástico rígido).

Actualmente, la técnica más eficiente, para impedir que se produzca la reflexión de fisuras de la base tratada en las capas de mezcla bituminosa, es la formación de juntas en fresco a distancias cortas de unos 3 m (2 a 4 m), lo que permite disminuir de forma drástica los movimientos horizontales y verticales de las fisuras. No se recomienda la creación de juntas por serrado en el material endurecido. Por su mayor eficacia, sencillez y economía se recomienda la ejecución de juntas profundas en fresco.

Se han desarrollado equipos de gran potencia, con los que se realiza un corte que afecta a una gran parte del espesor de la capa (más del 50%)



- 1.- Útil de corte. 2.- Brazo articulado. 3.- Depósito de emulsión. 4.- Central hidráulica. 5.- Control automático. 6.- Máquina soporte.

Incluye pues un brazo manipulador para guiar al útil de corte asociado a equipos adicionales, de reserva de la emulsión, central hidráulica, compresor y un grupo electrógeno.

o a su totalidad, aun en el caso de que ésta tenga una cierta precompactación, y que, al mismo tiempo, efectúan algún tipo de tratamiento, para evitar que se vuelvan a adherir las caras de la junta.

Entre los equipos para realizar juntas en fresco se pueden mencionar los cuatro siguientes:

- Equipo CRAFT.
- Equipo OLIVIA.
- Equipo de JOINT-ACTIF.
- Otros equipos.
- Equipos manuales.

"CRAFT"

El proceso **"CRAFT"** (Creación Automática de Fisuras Transversales) fue desarrollado por Empresa *Cochery Bourdin et Chaussé* (en la actualidad Eurovia), asociado con el *Réseau Technique du Ministère de l'Équipement*. El proceso, que hoy es del dominio público y puede ser utilizado por todas las empresas, ha sido objeto de un *avis technique* del *Comité Français pour les Techniques Routières* n° 70, de julio 1993, y del n° 141 en febrero de 2004.

El sistema CRAFT es un método automático que realiza a la vez el corte e introduce una emulsión bituminosa catiónica de rotura rápida en la junta.

Elementos

El sistema consta del elemento de corte e introducción de la emulsión, un brazo articulado al que está unido el elemento de corte y el depósito y la bomba de la emulsión. El brazo articulado está instalado en una máquina mixta que avanza sobre la superficie del suelocemento.

El proceso utiliza unos medios mecánicos específicos, pero simples, con un dispositivo de prefisuración instalado en la parte frontal de una máquina tipo tractor.

Funcionamiento

La originalidad del proceso es el siguiente:

- En la creación, a intervalos regulares (cada 3 m) y antes de la compactación final, de un surco transversal en la capa de suelocemento o gravacemento.
- En la protección con un producto bituminoso en este surco, temporal-

mente abierto.

- En el cierre de este surco en el momento de la compactación.

La máquina CRAFT funciona de la siguiente manera:

El equipo consta de tres partes diferenciadas, cada una de las cuales tiene una función específica:

- Un elemento de corte, que abre el surco en todo o gran parte del espesor de la capa e inyecta una emulsión. Consta de una doble cuchilla dotada de un vibrador para facilitar la penetración, por cuya parte trasera se realiza la alimentación de la emulsión.



- Un brazo articulado, que introduce el elemento de corte en la capa y le desplaza a velocidad constante en todo el ancho de trabajo. A través de un circuito hidráulico, se le proporciona la potencia requerida.

- Un depósito de emulsión, revestido con un aislamiento, que puede ser calentado y regulado para mantener aquella a temperatura constante. Una bomba realiza el suministro de emulsión al elemento de corte.



Se trata de un equipo que, al mismo tiempo que realiza la entalla, vierte emulsión en las paredes de la misma. Estas operaciones se llevan a cabo de forma automática mediante un sistema electrónico programable.

La máquina realiza las fisuras antes de la compactación, posicionando la cuchilla en un extremo, introduciéndola en la capa y avanzando hacia el otro extremo. El útil de corte es una cu-

chilla hueca por la que se introduce la emulsión mediante un inyector. El corte realizado es de 30 cm en un ancho de 5 m, lo que obliga a trabajar por bandas en anchos superiores.

La separación de la discontinuidad es, generalmente, de 3 m;

Actualmente hay dos equipos disponibles en España.

Emulsión

El producto bituminoso es una emulsión asfáltica catiónica de ruptura rápida de la misma naturaleza que la utilizada en la capa de curado utilizada en estos materiales.

La emulsión desempeña un doble papel:

- Su fase acuosa de pH bajo crea un área de menor resistencia, favoreciendo la localización de las fisuras de contracción.

- Su fase bituminosa crea una discontinuidad permanente y permite una prelocalización precisa de la fisura.

Por otra parte, en el entorno de la discontinuidad, la fase bituminosa contribuye a disminuir la sensibilidad del material con al agua y a la abrasión.

La emulsión que se introduce en la junta tiene un doble objetivo: por un lado, mediante el agua de la emulsión se retrasa el fraguado y aumenta la relación agua/cemento, por lo que se debilita la sección favoreciendo la aparición de la fisura.

La máquina CRAFT inyecta entre 1,7 y 2 litros de emulsión por m² de surco. Esta cantidad se ha verificado en un gran número de ensayos realizados.

Esta dosificación no es controlable, pero es fácilmente verificable por el consumo de emulsión con relación a la longitud y la profundidad de los cortes realizados. La película de betún interpuesto en capa puede estimarse entre el 1, 7 y 2 mm de espesor y su presencia puede ser constatada con una extracción de muestras en dicha prefisuración.

Integración en la obra

El interés del procedimiento radica en realizarlo sobre el material, simplemente extendido y nivelado, incluso detrás de máquina. El esfuerzo mecánico necesario para la apertura del sur-

co es entonces débil. Las operaciones de compactación y de nivelación no se han alterado y la calidad de la superficie de la capa se conserva.

El tipo de máquina le permite integrarse en el tajo, sin perturbar el funcionamiento de las máquinas de extendido o de compactación. La duración de un ciclo completo de trabajo es de 30 segundos: este tiempo comprende el desplazamiento de la máquina por su conductor hacia un surco situado a unos 3 m del anterior y la prefisuración a lo largo de la longitud del surco.

La duración de un ciclo de trabajo, desde que la máquina inicia el corte del surco hasta que se coloca sobre el siguiente, es inferior a 30 segundos.

Su alto rendimiento permite adaptarlo perfectamente al ritmo de puesta en obra, tanto en extendidos en ancho completo como por semianchos, sin provocar retrasos en la ejecución.

Dada la operatividad y eficacia de este equipo, está especialmente indicado para la ejecución de juntas transversales de contracción en capas de base tratadas. Además, sus dimensiones le permiten trabajar cómodamente por bandas, por lo que su empleo en obras bajo tráfico (refuerzos, ensanches, reciclados *in situ*) no plantea ningún tipo de problema.

Actualmente existen dos tipos de equipos con anchos de trabajo de 3,5 m y 5 m y consumos de emulsión de 0,5 t/h y 1 t/h, y capacidad de depósito de 500 l y 1000 l, respectivamente. Dado su alto rendimiento (una junta cada treinta segundos aproximadamente), se pueden integrar en general en cualquier obra sin provocar retrasos.

Control de su funcionamiento

Con carácter previo:

a) Al comienzo de los trabajos.

- Prever un punto de suministro diario de emulsión a una temperatura superior a 70 °C.

- Definir el modo de actuación de la máquina CRAFT.

- Ajustar la profundidad de la prefisuración.

- Definir el intervalo entre surcos.

b) En curso de la obra

– A primeras horas de la mañana, cargar la emulsión en la cuba del CRAFT.

- Extender la capa de material tratado con cemento.
- Prefigurar.
- Compactar.
- Efectuar el reperfilado final.
- Compactar definitivamente.

Al final de la jornada, vaciar la cuba de emulsión de la máquina CRAFT.

Se considera que una muesca de profundidad de 1/3 del grosor de la capa, es suficiente para localizar una fisura de retracción.

Resultado

La reflexión de las fisuras, que se realiza a través de las capas de mezcla bituminosa, es a menor velocidad, por lo que la aparición de estas fisuras en la superficie se retrasa, el aglomerado se degrada menos alrededor de ellas que cuando se ejecuta esta unidad sin prefisuración, y su mantenimiento específico generalmente es limitado.

La discontinuidad creada en la capa cada 3 m, por lo general, no se observa en la superficie. La distancia observada entre fisuras es menor que la obtenida sin prefisuración.

En algunos sitios, cuando el proceso CRAFT no permite evitar una evolución desfavorable de la fisuración, que es similar al de las secciones de control sin prefisurar, se ve que han sido afectadas por otros defectos de origen estructural poniendo de manifiesto las deficiencias de diseño o de ejecución, por lo que la prefisuración no ha hecho efecto. En particular, la prefisuración no puede conducir a reducir el espesor de las capas de mezcla bituminosa.

Cuando este procedimiento es asociado a un dispositivo para limitar la reflexión de las grietas como un geotextil impregnado, se mejora la eficacia, pero, si se utiliza el geotextil sin prefisuración, la eficacia del sistema no mejora.

El proceso no justifica un cambio en la fórmula de trabajo, pero el plazo de manejabilidad debe tener en cuenta este alargamiento del tajo.

La eficacia de la técnica CRAFT se ha comprobado en algunas obras con la extracción de testigos en la vertical de la zona prefisurada, dándose algunos de los siguientes tres casos:

- La superficie de rodadura tiene una grieta visible en la superficie.
- La superficie de rodadura no presenta grietas en la superficie, pero hay una primera grieta que se aprecia en la base de rodadura.
- La capa de rodadura no está agrietada. En este caso, la extracción de testigos de prueba no puede decir si la prefisuración, como en los otros dos casos, conduce a una grieta de retracción activa.

Cada vez que en una obra prefisurada con equipos Craft, se ha comparado con zonas en las cuales no se ha realizado prefisuración, se ha constatado que:

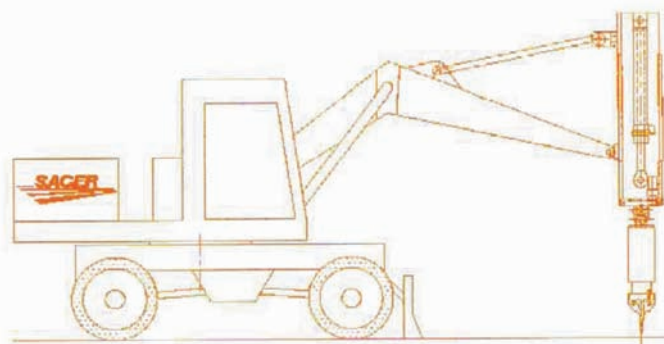
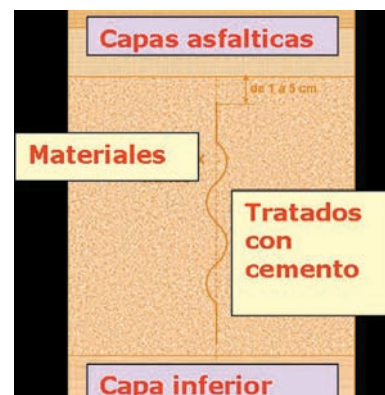
– La aparición de fisuras transversales en la zona sin prefisurar se produce antes de haberse visto sobre las zonas prefisuradas.

– Sobre las zonas tratadas con CRAFT, se tiene una ausencia de grietas o éstas son finas y están la misma vertical de la prefisuración.

– Sobre las zonas tratadas con CRAFT, se tiene una ausencia de grietas o éstas son finas y están la misma vertical de la prefisuración.

JOINT-ACTIF

Este sistema es patentado por Setec Géotechnique y utilizado por la Empresa Sacer, filial del Grupo Colas. El ha sido objeto de un *avis technique* por el *Comité Français pour les Techniques Routières* nº 140, de noviembre de 2003. Se trata de establecer, antes de la compactación, una discontinuidad transversal en la capa tratada mediante la inserción de una junta de plástico de forma sinusoidal, por vibro-presión. El cierre de la discontinuidad de acceso es realizado por otra máquina, diseñada específicamente para ello. La separación entre discontinuidades es, generalmente, de 2 m.



Elementos

Consta de un instrumento de apertura del surco por vibro-presión (máquina de segunda generación), montada en una pala hidráulica sobre neumáticos que garantiza el transporte, el posicionamiento y le facilita la energía hidráulica necesaria. La pala lleva también en la parte delantera de su chasis una zona de almacenamiento de juntas.

Las funciones de traslación entre dos líneas de juntas, la rotación de una parte a la otra del eje de la calzada para colocar las uniones sobre un mismo perfil en toda su longitud, el descenso y la recuperación del útil de corte, son normalmente gestionadas automáticamente por un mando, pero la posibilidad de un manejo manual de estas funciones se ha conservado.



Una herramienta para el cierre del surco es actualmente llevada por un tractor. Este instrumento está constituido por dos peines que, colocados de una y otra parte de la junta y animados de un movimiento alternativo, acaban de cerrar el surco aplicando el material contra el de la junta. El tractor asegura el transporte de la herramienta, su posición y el movimiento alternativo de los peines.

Funcionamiento

La originalidad del proceso es la siguiente:

- La creación, antes de la com-

pactación y a intervalos regulares (la amplitud que depende de la naturaleza mineralógica del material), de un surco transversal en la capa de material tratado.

- La colocación en el surco de un perfil de plástico rígido de forma sinusoidal, de espesor y tamaño variable.
- El cierre del surco, antes de la compactación, para garantizar la regularidad del perfil.

El equipo de juntas activas realiza un surco en todo el espesor de la capa, una vez extendido, y, tras haber sufrido una ligera compactación, introduce en él un perfil ondulado de plástico rígido.

Cada elemento de junta tiene una longitud de 2 m y se sitúa en el eje de cada carril, transversalmente al mismo y en posición vertical. Su altura es del orden de los 2/3 del espesor de la capa, y se coloca apoyado en el fondo de la misma, de forma que quede, al menos, a 5 cm de la superficie para no perturbar el resto de las operaciones de compactación y refinado. Su forma ondulada permite obtener una adecuada transmisión de cargas entre los labios de las juntas, incluso en materiales que no poseen un esqueleto granular con elementos gruesos, como es el caso, por ejemplo, de una arenacemento. El cierre de los surcos es asegurado por el tractor equipado de los peines.



Testigo extraído de una junta con el sistema de juntas activas.



Materiales

Los perfiles tienen un espesor de 0,7 a 1,0 mm, una longitud máxima de 2,90 m y la altura varía entre 16 y 24 cm. Esta función del espesor final de la capa de material tratado ($H_{\text{junta}} < H_{\text{capa}}$).

Dos tipos de perfiles están disponibles:

- Perfiles con cuatro ondulaciones de 4 cm.
- Perfiles con tres ondulaciones de 4 cm.

Los dos tipos incluyen, en ambos lados de las ondulaciones, tramos rectos entre 2 y 4 cm.

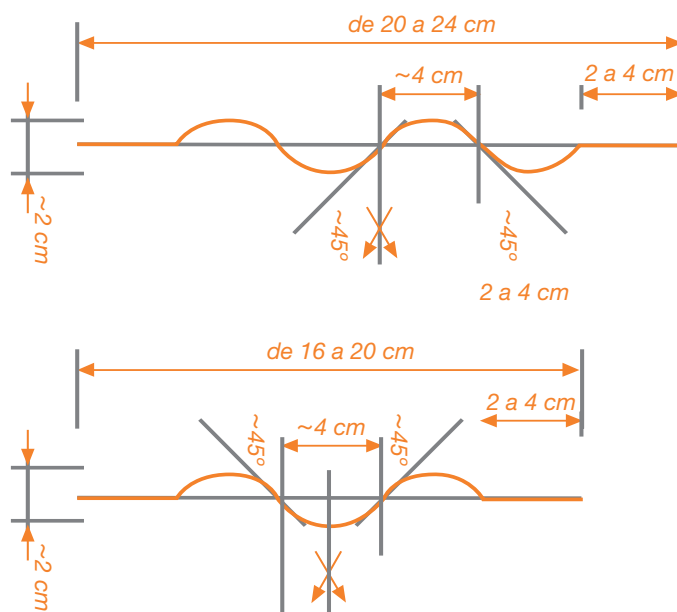
(Imagen superior de la siguiente página).

El objetivo de la forma ondulada es transmitir cargas entre las paredes de las juntas. Este sistema está diseñado para que exista una adecuada transmisión de esfuerzos entre las paredes de la junta con materiales que no poseen un esqueleto grueso.

Integración en la obra

Después de la colocación de las juntas, durante el plazo de manejabilidad del material se suceden:

- El reperfilado de la capa superficial (lecho).
- La compactación.
- El reperfilado final y la compactación definitiva.



Sobre obras realizadas después de 1996, en Francia, se ha comprobado que la utilización del procedimiento no disminuye sensiblemente el tiempo de puesta en obra. Su incidencia, simplemente, es un alargamiento de la puesta en ejecución de 30 minutos máximo (plazo más largo entre la llegada del material sobre la obra y el fin de la compactación). Conviene pues verificar, sobre todo para trabajos en tiempo caluroso, que el plazo necesario entre la fabricación del material tratado y el fin de la compactación (transporte del material, las operaciones de extendido y de prefisuración) permanece inferior a su plazo de manejabilidad.

Control de su funcionamiento

Con carácter previo:

- Marcado del eje para posicionamiento de la máquina.
- Adaptación automática del útil de vibro-presión (profundidad del surco y altura del perfil).

El ciclo para la colocación de una línea con dos juntas sería:

- 1) Posicionamiento de la pala portadora del útil en el eje de la calzada (traslado de 2 a 3 m en relación a la posición anterior).
- 2) Posicionamiento del brazo de la pala para la primera junta.
- 3) Bajada de útil al contacto del material.
- 4) Apertura del surco por vibro-presión.

- 5) Ascenso de útil.
- 6) Inserción de la junta.
- 7) Posicionamiento del brazo sobre la segunda junta del perfil.
- 8) Repetición de las fases 3 - 6.

Resultados

Las fisuras creadas suelen ser muy delgadas y rectas, y su reflexión en superficie se retrasan.

En la “*Guide de conception et de dimensionnement des structures de chaussées*”, SETRA-LCPC, de 1994, se permite justificar de modo particular el dimensionamiento de las estructuras prefisuradas con dispositivos destinados a la transferencia de cargas en las juntas.

La puesta en ejecución de las Juntas Activas acepta todas las capas de material tratado con cemento, de los definidos en las normas, pero también las mezclas con resistencias bajas, a base de subproductos industriales, materiales de reciclaje, etc.

La presencia de las Juntas Activas no entraña ninguna consecuencia dañosa para la regularidad superficial, y ningún riesgo para el entorno (medio ambiente); y el conjunto de material más junta puede ser reciclado sin dificultad particular.

La compactación de materiales tratados con ligantes hidráulicos, cuyo espesor es superior a 25 cm y que no es común, necesita un estudio cuidadoso del tajo de compactación y de su funcionamiento, para alcanzar

la calidad requerida, particularmente en el fondo de capa. En obras realizadas con medios adaptados de compactación, se obtuvo sin dificultad la calidad requerida (densidad media y densidad de fondo de capa). Los controles indican que, después de la compactación, no hay defecto de compacidad alrededor de las ondulaciones de la junta.

Un análisis de la fisura en superficie de ciertas obras condujo a las conclusiones siguientes:

- Las diferentes obras realizadas no están totalmente exentas de fisuras visibles en la superficie de la calzada, particularmente las realizadas con la máquina de 1ª generación.

– Cuando las fisuras salieron en la superficie, aparecen generalmente finas, rectilíneas y poco degradadas, características que limitan la evolución de las degradaciones a este nivel y en este tiempo.

– En relación a las obras realizadas sin prefisuración, el número de grietas observadas en superficie está dividida, por término medio (aproximadamente), por 5, y su gravedad es más débil.

– Cuando hay una zona testigo sin prefisurar, comprobamos siempre una diferencia en el tiempo, que podemos considerar por lo menos a dos inviernos, entre la reflexión de la fisura con fisuración libre y las zonas equipadas de Juntas Activas.

– Por regla general, el procedimiento Junta Activa no necesita estar asociado con un dispositivo que retarde la reflexión de las fisuras (capas antirremonte).

En conclusión, se trata de una técnica de prefisuración eficaz que retrasa el ascenso de las grietas a la superficie y su nivel de gravedad. No necesita la colocación de una capa o de un dispositivo de interposición y asegura un engranaje duradero de las losas, en un nivel de calidad suficiente durante toda su vida de servicio, sin necesitar de trabajos de conservación prematuros.

La observación de varias obras, después de 6 a 7 inviernos, muestra un nivel débil de fisuración en su-

perficie, con un intervalo medio de 67 m, pero con un reparto sensiblemente igual entre fisuras finas o degradadas. La proporción de las fisuras degradadas en superficie es menor, apareciendo de forma más lenta, grietas finas.

La eficacia de la técnica de Junta Activa para controlar la fisuración y dirigirla se ha constatado en el sentido de:

- El número de grietas transversales que sube en superficie está dividido, por término medio (aproximadamente), por 5, en relación a las obras realizadas sin prefisuración.

- El procedimiento permite obtener, en los materiales tratados con ligantes hidráulicos, que las grietas sean finas y rectilíneas cuando salen a superficie.

- La evolución de estas grietas finas y rectilíneas es menos rápida que cuando se ha ejecutado sin prefisurar.

- La penetración del agua es limitada y, generalmente, un mantenimiento específico (sellado) no es necesario.

A igual espesor de capa de mezcla bituminosa, las ventajas con las que se puede contar en la técnica de Junta Activa interviene, en primer lugar, la reducción de los gastos de mantenimiento asociados a la fisuración de retracción de las capas tratadas con cemento.

Si nos fijamos como objetivos que la reflexión de las fisuras y su mantenimiento específico sean idénticas a los de sin prefisurar, una reducción del espesor de las capas de mezcla bituminosa podría ser contemplada. Sin embargo, un espesor mínimo de mezcla bituminosa es necesario para asegurar una protección mecánica y térmica suficiente, así como para poder obtener una buena unión.

OLIVIA

El proceso de "OLIVIA" fue desarrollado por la Empresa Viafrance (Eurovia hoy). Una viga telescópica montada en un dispositivo mecánico apoya una herramienta capaz de crear, antes de la compactación, una ranura transversal e insertar un perfil de plás-

tico, a una profundidad ajustable. En general, la altura del perfil se adapta al espesor de la capa de base (entre 1/3 y 1/5 de espesor). La máquina también ofrece el cierre de disconti-



nuidad. La separación de la discontinuidad es, generalmente, de 3 m.

Elementos

El equipo va montado en el chasis de una carretilla elevadora de carga frontal, y está constituido por un sistema de dos vigas telescópicas (uno fijo y otro móvil), bajo las cuales se desplaza, por una cadena, una herramienta en forma de reja que crea un surco, e inserta una hoja delgada de plástico muy flexible.

El equipo consta de los siguientes elementos:

- Una viga fija, unida al vehículo portante.

- Una viga móvil, guiada en su movimiento de traslación con respecto a la viga fija. Una vez alcanzada su posición de trabajo, se apoya mediante dos gatos hidráulicos en la capa que se vaya a prefisurar.

El dispositivo de prefisuración propiamente dicho, el cual se desplaza a lo largo de la viga móvil mediante un sistema de motor hidráulico y cadena de transmisión.

El elemento de corte consiste esencialmente en una cuchilla estrecha (2 cm), provista en su parte delantera de una ranura para alimentación de la cinta de plástico. Mientras que el elemento de corte avanza en su movimiento en el interior de la capa, la cinta de plástico se desenrolla y se inserta con su

parte ancha en posición vertical en el surco que se va formando. La salida de la cinta, en posición vertical, se realiza a través de una segunda ranura en la parte trasera del ele-



mento de corte. Al final de cada pasada, la cinta se corta automáticamente.



Funcionamiento

Este equipo crea un surco transversal en la capa y, simultáneamente, inserta en él una cinta de plástico de forma automatizada. Esta se suministra en rollos, que se montan en el equipo. La cinta de plástico debe tener un ancho del orden de un tercio del espesor de la capa, a menudo de 8 cm, lo que permite tratar espesores de capas de material entre 15 y 25 cm, y un espesor de 70

a 80 µm. La longitud de los rollos generalmente es de 300 m.

Para evitar que sea arrastrada por los equipos de puesta en obra, la cinta se coloca a una profundidad de 6 a 10 cm por debajo de la superficie del material que hay que compactar. Con ello, se tiene en cuenta tanto el descenso de la cota de esta última, tras el paso de los rodillos, como un eventual refino para mejorar la regularidad superficial.



Tanto el desplazamiento de la viga móvil como el del elemento de corte se controlan electrónicamente. Los dos modelos existentes en la actualidad tienen un ancho de trabajo mínimo de 2 m y máximo de 5 m.

Control de su funcionamiento

a) Con carácter previo se debe fijar:

- Lugar y fecha de realización.
- Tipo de material que prefisurar y espesor.

- Maquinaria de puesta en obra.
- Producción diaria y la duración prevista.

- Espaciamiento entre prefisuras y profundidad.

- Distancia que se tiene que prefisurar (para el suministro de rollo de plástico).

Definidas con la Administración, las condiciones de disposición de la máquina y su conductor: los gastos de alquiler, los cambios de ubicación y

tiempo de permanencia, pequeños costes de mantenimiento, combustible, etc.

b) Al comienzo de las obras:

- Especificar al conductor el modo de intervención en el tajo, entre el extendido y compactación. La composición del este tajo (extendido y la compactación) debe tener en cuenta la presencia de la máquina.

- Definir el intervalo entre prefisuras (generalmente, 3 m).

- Regular el recorrido del útil en función de la anchura de prefisuración (anchura de 2 a 4,5 ó 5,5 m dependiendo de las máquinas). En caso de obstáculos laterales, por ejemplo bordillos, la anchura de prefisuración se debe reducir 50 cm.

- Controlar la profundidad de colocación de película de plástico (ajustando la posición del pie de apoyo de vigas). La película debe estar lo suficientemente enterrada para evitar cualquier riesgo de romper a la hora de reperfilado el material (1 a 2 cm por debajo de la cota final), pero no demasiado profundamente, para limitar los esfuerzos del útil.

c) En el transcurso de la obra:

- Extender el material, según el procedimiento previsto.
- Compactar eventualmente, se-

gún la naturaleza del material (arena tratada).

- Proceder a prefisurar con la activación del ciclo automático, hasta la ruptura de la película.

- Si el ancho que se debe tratar es superior a la anchura de trabajo de la máquina OLIVIA, la operación se realiza en varias fases, y, por ello, es conveniente trabajar de derecha a izquierda; para facilitar el alineamiento de las prefisuras, es necesario dejar alrededor de 50 cm entre las dos prefisuras contiguas para que el útil no rompa la película ya instalada.

- Compactar el material prefisurado.

- Hacer reperfilado final.
- Terminar la compactación.

d) Al final del día

- Poner la máquina en un lugar seguro para evitar cualquier robo o daño.

e) Al final de los trabajos

Informar al propietario de la disposición de la máquina y de los metros lineales realizados.

f) Controles en la aplicación.

- Señalar al personal de la obra de las variaciones de anchura de la viga telescópica cuando el equipo está en funcionamiento.

- Respetar el espaciado y la profundidad de prefisuración.

- Verificar que el útil no entra en contacto con materiales muy demasiado rígidos que puedan dañar la maquinaria (materiales tratados y/o compactados en los bordes o en subcapas, material a prefisurar muy compacto).

- Aspecto del trabajo realizado.

- Inspección visual de eventuales defectos de la película.

- Anotar el número la longitud de prefisuras realizadas.

Integración en la obra

El equipo siempre es alquilado con la carretilla elevadora, que se monta con la disposición de los accesorios hidráulicos y controles eléctricos. Los movimientos se realizan con la ayuda de la carretilla elevadora. Hay que prestar especial atención a los apoyos durante la carga y descarga.

El conductor de la máquina es suficiente para la puesta en obra del equipo; todos los controles están situados en la cabina de la máquina. Trabajando a todo el ancho, la máquina ejecuta alrededor de 2000 m/día de prefisuras, es decir de 5000 a 6000 m² de material tratado.

Estos tres procesos están integrados en el tajo de obra, sin interrumpir el flujo y la cadencia, pero alarga el período de trabajo de la mezcla, lo que debe tenerse en cuenta como un paso adicional al del transporte y compactación.

OTROS EQUIPOS SISTEMA VICTORIA FCC

La normativa del Ministerio de Fomento contempla la obligatoriedad de realizar la prefisuración en los firmes de la Red de Carreteras del Estado.

La técnica de la prefisuración consiste en forzar, de forma premeditada y planificada, la aparición de las fisuras de retracción en una capa tratada, con el objeto de limitar su apertura, y así garantizar la transferencia de cargas en sus proximidades.

El departamento de maquinaria de la Zona I de FCC Construcción, ante la necesidad de prefisurar el suelocemento que se incluía en la sección del firme del tramo de la autovía Córdoba – Málaga, entre las poblaciones de Córdoba y Fernán Núñez, ha diseñado una máquina para efectuar estas operaciones.

En una primera fase del proyecto, FCC recopiló información teórica y práctica del *Comité Française pour les Techniques Routières* y del *Observatoire des Techniques de Chaussées*, relativa a profundidad de corte, cantidad de emulsión que inyectar, velocidades de obra, etc.

Estudió el mercado y comprobó que existían pocas máquinas de este tipo, que los costes eran muy altos y no cumplían los requisitos necesarios. Con esta información, FCC definió el diseño poniendo como condiciones no alterar, en ningún momento, la capa tratada recién echa-

da; que el precio de fabricación y explotación se redujera sensiblemente; que no interfiriera en la producción de la obra; y que fuera capaz de hacer cortes transversales y longitudinales.



FCC diseñó una máquina capaz de avanzar sobre bermas no excesivamente compactadas ni niveladas, y situarse en los puntos adecuados, realizando el corte de la capa tratada por medio de un *ripper*, que, a su vez, inyecta la emulsión.

La fabricación del prototipo se inició en septiembre de 2004, y, una vez realizado el montaje de los distintos componentes en el Parque del Departamento de Maquinaria de la Zona I de Málaga de FCC, en noviembre de 2005 se procedió a realizar las primeras pruebas del carro. Después y tras diversos ajustes en la geometría de la máquina, en marzo de 2005 inició sus trabajos con pleno éxito.



EL SISTEMA DISEÑADO POR OHL

El sistema diseñado por OHL, en la obra de la autovía de la Plata, en el tramo Zafra fuentes de Cantos, puede englobarse dentro de los denominados manuales, con un concepto similar al del método de la bandeja vibrante, con la diferencia de que, en el método que nos ocupa, la junta se abre cortando la ca-

pa con un "cuchillo" y no mediante vibración. En el sistema no existe ninguna operación controlada de forma automática.

Para la ejecución de las juntas, OHL ha dispuesto una máquina mixta a la que se le acopla al brazo de la retroexcavadora: una viga doble T, a la que se ha unido un perfil que hace el efecto de cuchillo para penetrar en la capa.



La prefisuración se ejecuta tras el extendido y antes de ejercer ningún tipo de compactación en la capa (excepto la precompactación de la extendidora).

La viga tiene una longitud que abarca la mitad del ancho extendido. La máquina avanza por el centro de la capa y se posiciona para ejecutar la junta. A los apoyos de la excavadora se les han unido dos planchas

metálicas que disminuyen la tensión transmitida y evitan dejar huella en la superficie.



La ejecución de la fisura, dado que el perfil tiene la mitad de longitud que el ancho de la capa, se ejecuta en dos fases. Primero, se ejecuta una margen y, con un giro de 180° del brazo de la máquina, se ejecuta la otra margen. De esta forma, se evita que la excavadora tenga que realizar movimientos sobre la capa de suelocemento antes de compactar.

En la fisura se introduce una cinta de plástico flexible, consistente en una lámina de polivinilo de 13 cm x 2 cm de ancho, que se obtiene de cortar mangueras de riego del diámetro correspondiente.

El proceso de ejecutar la fisura e introducir la lámina es simultáneo: dos operarios sujetan la lámina contra el perfil hasta que es introducido en la capa.



Para permitir la penetración completa del perfil hasta el tope, en algunos casos debe realizarse un movimiento similar al corte con un cuchillo, que la maquinaria permite ya que la herramienta está unida al brazo del mismo modo que el cazo de la excavadora.



Una vez ejecutada la fisura, un operario receba la parte superior de la junta con la rastrilla, con el fin de dejar una superficie homogénea y regular. Esta acción, además de aportar material, consigue que el efecto de la ondulación en la zona de la fisura se reduzca.



El sistema de prefisuración es rápido y no entorpece el ritmo de ejecución del suelo cemento. El ritmo de ejecución de las fisuras está marcado por el ritmo de avance de la extendedora. El rendimiento medio de la extensión de suelocemento fue de unos 500 m diarios de media.

Tras el equipo de fisuración, entra el equipo de compactación, que consta de un rodillo liso y dos de neumáticos. La compactación exigida es del 98% del PM.



El aspecto de la capa terminada es, en general, bueno, pero presenta ondulaciones que parecen coincidir en los puntos altos con las juntas de prefisuración. Esta apreciación es

más fácilmente observable, una vez ejecutado el riego de curado.



Asimismo, se observa en el centro que se marca ligeramente la zona de rodadas de la máquina mixta que ejecuta la prefisuración.

El IRI medio en el suelocemento es del orden del doble del máximo permitido en el artículo 513 del PG3; sin embargo, en la capa base sí se consigue cumplir el IRI en el 100%.

EMPLEO DE QUAD PREFISURADOR

En el Apéndice 1 se incluyen reportajes fotográficos de diversas obras y sistemas. El más generalizado es mediante el empleo, como elemento portante, de un Quad. Existe una placa con una cuchilla triangular, soldada a su cara inferior, con un dispositivo de inyección de emulsión.

Los equipos no suelen dar resultados satisfactorios cuando en la extensión se utiliza maquinaria con elevada precompactación, ya que resulta muy difícil introducir la cuchilla.

Evidentemente, este sistema tiene el inconveniente de la poca potencia para introducir el útil de corte, por lo que depende de la pericia del conductor. Así mismo presenta los mismos inconvenientes que los sistemas manuales, por lo que se deben adoptar las mismas medidas, es decir:

- La entalla se debe realizar como mínimo a 1/3 del espesor total sin compactar.

- La entalla debe generar un surco claro y ser lo mas recta posible.

- Introducir algún tratamiento antiadherente, tipo emulsión o similar, en el surco creado.

- Extremar el control de calidad sobre todo el proceso.

SISTEMAS MANUALES

Existen las placas vibrantes, con una cuchilla triangular soldada a su

cara inferior, o bien de rodillos provistos de una cuchilla anular. Las placas vibrantes pueden ser propulsadas manualmente, en cuyo caso disponen de ruedas permitiendo su elevación y facilitando así su traslado entre surco y surco, o bien se pueden acoplar a otros equipos que controlen su desplazamiento (rodillos compactadores, pala excavadora, etc.). En el primer caso, su eficacia es limitada y exigen un gran esfuerzo físico, por lo que, en general, no son recomendables en obras importantes.



En cualquier caso, si se decide realizar la prefisuración mediante métodos manuales, se recomienda adoptar las medidas indicadas en el apartado anterior.

Sea cual fuere el sistema utilizado, la ejecución de las juntas debe comenzar inmediatamente después de finalizar la extensión y antes de iniciar la compactación del material tratado. Las juntas se cortan perpendicularmente a la dirección de la calzada, y, siempre que sea posible, en todo el espesor de la capa tratada con cemento. Una vez creadas los surcos, y después de introducir en su caso la emulsión o el elemento de se-

paración, se lleva a cabo la compactación de la capa mediante el pase rodillos.

Juntas longitudinales

Siempre que se prefisure transversalmente la capa, y la anchura de la calzada sea superior a 5 m, se deben realizar también juntas longitudinales para evitar que surjan fisuras cuya reflexión pueda coincidir con la zona de rodada de los vehículos. En general, se pueden situar en el centro de los carriles, o, en todo caso, muy próximos a su línea de separación, procurando que se formen losas con una relación entre sus lados mayor y menor no superior a 2.

Se realizan preferentemente por prefisuración como las transversales, o bien cuchillas o discos acoplados a la extendedora. Si esto fuera posible, se pueden realizar para el serrado del material endurecido creando una entalla del orden de un tercio del espesor de la capa.



Metodología de seguimiento

En Francia, se ha llevado a cabo un labor de seguimiento de los tres pro-

cesos anteriores (CRAFT, JOINT ACTIF, OLIVIA) que fue objeto, en el año 2002, de la Nota informativa de SE-TRA: 112 "Préfissuration des assises de chaussées en grave hydraulique".

Hay que tener siempre presente que en Francia existen secciones estructurales con 8 y 10 cm de aglomerado sobre la grava cemento.

Sus conclusiones fueron:

- La eficacia de la prefisuración es función de la solución técnica. La del tipo CRAFT, sin la aplicación de cualquier material para crear la discontinuidad (perfil o de plástico), no mostró una diferencia significativa con las secciones sin prefisuración, cuando no está asociado con un complejo antifisuras. La prefisuración creada cada 3 m no desempeña plenamente su papel; la fisuración observada después de 8 años, con un paso de 12 m puede indicar un mal funcionamiento del sistema, que no crea la suficiente discontinuidad.

La introducción de un dispositivo físico, en particular como el sistema de "JOINT-ACTIF", parece ser más eficaz cara al reflejo de la fisura. Cuando aparecen, está recta y poco degradada.

El proceso de "OLIVIA", con un muestreo reducido, parece mostrar un comportamiento medio entre las dos técnicas.

En todos los sitios observados donde se ha dispuesto un geotextil, asociado a la prefisuración, encima de la capa tratada con cemento, ha mostrado un comportamiento correcto, con un espesor de mezclas de al menos 8 cm.

En consecuencia, si el Director de la obra mantiene la prefisuración sobre una grava cemento (como se recomienda en el catálogo de tipos estructurales de pavimento nuevo, 1998), con la técnica CRAFT, debe incluir un complejo antifisuras. Por ejemplo, un geotextil encolado en la parte superior de la gravacemento y teniendo especial cuidado en su aplicación, en particular respecto a la unión con la capa superior.

Si se utiliza un dispositivo materializado por un perfil, tal como el pro-



requiere una alta calidad en los materiales sin tratar, no parece económicamente competitiva en las regiones pobres de materiales.

– Otros tipos de materiales que, si no dan lugar a nuevas estructuras, se pueden presentar como materiales hidráulicos sin problemas de fisuras: sea por una formulación de un ligante mezcla de cemento y betún, o mediante la adición de la fibra. Este tipo de materiales están en investigación.

Un mejor conocimiento de los materiales es particularmente necesario para dimensionar una estructura de acuerdo con su funcionamiento.

Objetivos de la creación de un “Informe técnico” para validar la maquinaria

Sería conveniente que Asociaciones o Empresas, como ANTER o IECA, pudieran formular “Informes técnicos” similares a los *AVIS TECHNIQUE* del Comité Français pour les Techniques Routières.

La presentación voluntaria de un “Informe técnico” es un elemento favorable para la aceptación de una técnica, que puede ser pronunciada simplemente sobre la base del informe mismo.

Los controles externos también pueden, en algunos casos, ser aligerados; sin embargo, este “Informe técnico” no exime de:

– Realizar los estudios habituales antes de comenzar la obra (que, sin embargo, pueden ser simplificados).

Efectuar el seguimiento de la unidad de obra y del control exterior (adaptados al contenido del PAC de la empresa).

A pesar de su carácter esencialmente informativo, el “Informe técnico” es, sin embargo, un documento importante para la Dirección de obra, tanto antes como durante las obras, para la aceptación de la técnica.

Estos “Informe técnico” debería ser objeto, asimismo, de un seguimiento de control cada tres o cuatro años. ■

ceso JOINT-ACTIF, el geotextil u otro complejo antifisuras no es necesario, a menos que se desee reducir al mínimo las fisuras en la superficie de asfalto. Para el proceso OLIVIA, no se tiene experiencia suficiente.

Además, en las secciones donde la capa de aglomerado es de poco espesor, alrededor de 4 cm, se observó un rápido inicio de la grieta con una degradación tendente al desdoblamiento y agrietamiento.

Coste

Para tener una orientación, la magnitud del costo de la prefisuración son los siguientes, según la importancia de la construcción (en euros, IVA por metro cuadrado de capa tratada):

– Proceso CRAFT de 0,9 a 1,4 euros.

– Proceso “OLIVIA” 1 a 1,5 euros.

– Proceso “JOINT-ACTIF” 1,3 a 1,8 euros.

Aparte de la prefisuración, existen otros sistemas, pero enormemente caros:

– Sobre una capa de material tratado con cemento se puede disponer un espesor de mezcla bituminosa suficiente como para que las fisuras de retracción no se reflejen en la superficie durante la vida de servicio. Para esto, el espesor de los

Sería conveniente que Asociaciones o Empresas como ANTER o IECA pudieran formular “Informes técnicos” similares a los AVIS TECHNIQUE

materiales bituminosos debe ser, al menos, igual al espesor de la capa de material tratado.

Otro sistema consiste en disponer, entre la capa de material tratado y la capas de mezcla bituminosa, una capa de material no tratado (las, denominadas, secciones inversas), cuyo espesor es de, aproximadamente, 10 cm, que se intercalan para formar una pantalla que evite la reflexión de la fisura. Este tipo de estructura, que