

Jornada técnica sobre

Prefisuración de capas tratadas con cemento



Mesa inaugural. De izquierda a derecha: D. Carlos Jofré, D. Roberto Alberola, D. José Luis Elvira y D. Adolfo Güell.

Adolfo Güell Cancela, ICCP y Presidente del Comité de Firms de la ATC; y Carlos Jofré Ibáñez, ICCP y Director Técnico del IECA.

El 29 de septiembre de 2009 se celebró en Madrid esta Jornada, organizada por el Comité de Firms de la ATC y el IECA (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones).

Desarrollada inicialmente en países como Francia y Alemania, para evitar la fisuración por reflexión en los firms semirrígidos, la prefisuración comenzó a aplicarse en España en los años 80 del pasado siglo. No obstante, ha sido a partir de 2002 cuando ha experimentado un impulso muy importante en nuestro país, al haberla hecho obligatoria la Norma 6.1-IC para las categorías de tráfico más elevadas.

En estos siete años se ha prefisurado una gran longitud de carreteras dependientes de distintas Administraciones, empleado métodos unas veces concebidos en otros países, y, en otras ocasiones, desarrollados por los propios contratistas. Se consideró oportuno, por tanto, organizar esta Jornada, en la que, por una parte, se resumieron los objetivos de la prefisura-

ción, la normativa por la que se rige y los métodos disponibles; y, por otra parte, responsables de varias obras expusieron sus experiencias prácticas. Una mesa redonda estuvo dedicada a discutir los aspectos económicos y técnicos de la prefisuración.

La Jornada estuvo moderada por **D. Adolfo Güell**, Ingeniero Jefe de la Unidad de Carreteras del Estado de Orense y Presidente del Comité de Firms de la ATC; y **D. Carlos Jofré**, Director Técnico de IECA. Se celebró en el Salón de Actos del Centro de Estudios y Técnicas Aplicadas del CEDEX, con una gran asistencia.

La sesión de apertura fue presidida por **D. José Luis Elvira**, Director Técnico de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

La primera ponencia estuvo dedicada al tema de **“Prefisuración de capas tratadas con cemento: objetivos y normativa”** y fue presentada por **D. Jesús Díaz Minguela**, Director de la Zona Noroeste del IECA.

El Sr. Díaz Minguela indicó que la fisuración de todos los materiales tratados con cemento, causada por su retracción hidráulica y térmica, es un hecho inherente a su naturaleza, y, como tal, no debe con-

siderarse un defecto estructural. De hecho es, prácticamente, el único inconveniente que se achaca a estas capas, frente a su excelente capacidad de soporte y ventajas estructurales, por la posible reflexión de estas fisuras sobre la capa de rodadura.

Dicha reflexión se produce por procesos cíclicos de apertura y cierre de las fisuras, debidos a la combinación de diferentes causas (tráfico, variaciones estacionales y diarias de temperatura). Cuanto mayor es la separación de las fisuras (lo cual está ligado a la resistencia a tracción del material tratado con cemento y al espesor del mismo), más probabilidad hay de que se reflejen en la superficie.

El método que ha demostrado ser más eficaz para evitar esta situación es disponer juntas a distancias próximas (2 – 4 m). A este proceso se le denomina prefisuración, y generalmente se realiza estando el material fresco, antes de compactarlo.

Las ventajas que aporta la prefisuración han dado lugar a que varios países la hayan incluido en sus catálogos de secciones de firms (Francia en 1998, Alemania en 2001 y España en 2002), haciéndola obligatoria para las categorías más importantes de tráfico y recomen-

dándola para el resto de los casos.

El primer intento de prefisurar en España una capa tratada con cemento se realizó en 1988 en un ramal de la Autopista del Atlántico, que tenía una base de hormigón compactado con rodillo. La primera experiencia de prefisuración en fresco a gran escala tuvo lugar en 1990 en la construcción de la base de hormigón compactado de la Variante de Archidona (Málaga), en la Autovía Sevilla – Granada – Baza (A 92). Posteriormente la técnica se empleó en varias autovías y carreteras de una sola calzada en Andalucía, Navarra, País Vasco y Castilla – León, con buenos resultados. Ha experimentado un impulso muy importante a partir de 2001, con el inicio del empleo de gravscemento de altas prestaciones en capas de elevados espesores el red de carreteras de la Diputación de Vizcaya, y, sobre todo, a partir de 2003, cuando en la Norma de Firmes 6.1 – IC se hizo obligatoria la prefisuración de las capas de suelocemento para los tráficos T0, T1 y T2.

Se han utilizado diferentes equipos de prefisuración, algunos originarios de Francia (CRAFT, Juntas Activas) y otros desarrollados por contratistas españoles. Estos últimos están en general basados en principios similares al equipo CRAFT (inyección de emulsión bituminosa en la junta en fresco, para evitar que se vuelvan a soldar sus caras después de la compactación), pero con otros chasis diferentes. Todos ellos fueron tratados con más detalle en otras ponencias de la jornada.

En líneas generales, se considera necesario prefisurar todos los materiales con una resistencia igual o superior a la gravacemento, salvo en el caso de tráficos bajos y clima litoral, y resulta necesario prefisurar el suelocemento únicamente con tráficos altos.

La distancia más adecuada para prefisurar o realizar las juntas transversales en fresco de la base tratada con cemento es de 3 a 4 m, debiendo reducirse a 2-3 m en el caso de materiales de altas resistencias. Con esta distancia se intenta garantizar que todas las juntas se abrirán y trabajarán como tales y limitar su abertura. De este modo, los movimientos debidos al tráfico y las variaciones térmicas podrán ser soportados por las capas superiores de mezcla bituminosa, evitándose

se la reflexión de grietas en superficie.

Las entallas realizadas mediante prefisuración se deben realizar, como mínimo, a un tercio del espesor total de la capa sin compactar, siendo aconsejable penetrar más de la mitad del mismo.

El Sr. Díaz Minguela concluyó su exposición pasando revista a las distintas normativas en las que se recoge la prefisuración, tanto la de la red dependiente del Ministerio de Fomento como las de diversas Comunidades autónomas (Castilla y León, Andalucía, País Vasco, Comunidad Valenciana). Los criterios son, en general, bastante coincidentes (obligatoriedad de prefisurar las capas de suelocemento para tráficos T2 o superiores), con algunas ligeras diferencias (por ejemplo, en varias autonomías se disminuye la separación entre juntas a 2 – 3 m).

La segunda ponencia, dedicada a **“Técnicas de prefisuración”**, estuvo a cargo de **D. Carlos Centeno**, *Director General de INTEF*. Tras repasar las causas de la reflexión de las fisuras de las capas tratadas con cemento, pasó a describir en detalle las técnicas de prefisuración de las que se tiene experiencia en España.

La prefisuración consiste en la creación de discontinuidades (juntas) durante la puesta en obra de la capa tratada. Esto crea unos emplazamientos preferenciales para evitar fisuras de difusión incontrolada. El objetivo es limitar la gravedad de las fisuras reflejadas en la superficie, con grietas finas que requieren poco o ningún mantenimiento.

La prefisuración entre 2 y 4 m, según las técnicas empleadas, persigue mantener un buen engranaje entre las caras de la junta, y, por lo tanto, una transferencia de carga satisfactoria, limitando la magnitud de los movimientos verticales.

Las discontinuidades creadas se pueden agrupar en dos familias:

— Surcos que abarcan menos de la mitad del espesor de la capa (normalmente entre 1/3 y 1/4 de su espesor), realizados en fresco o por serrado del material endurecido.

— Surcos que abarcan la práctica totalidad del espesor de la capa, realizados en fresco, y en los que se introduce algún elemento 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. Ello obliga, en general, a esperar un cierto plazo para poder proceder al serrado de la capa, lo que puede causar una fisuración incontrolada del material. Además, el serrado de juntas puede producir una pérdida significativa de transferencia de cargas entre bordes.

Entre los equipos para realizar juntas en fresco se pueden mencionar los siguientes: CRAFT, OLIVIA, de Juntas Activas, Otros equipos y Equipos manuales

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

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 bomba de la emulsión. El brazo articulado está instalado en una máquina mixta que avanza sobre la superficie de la capa tratada con cemento.

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 cuchilla 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 las juntas es generalmente de 3 m.

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

Los surcos deben crearse en el material simplemente extendido y nivelado, incluso detrás de la pavimentadora. El esfuerzo mecánico necesario a la apertura del surco es entonces débil; y, por otra parte, las operaciones de compactación y de refino no se alteran y la regularidad superficial de la capa se conserva.

El equipo se integra 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, tiempo que incluye el desplazamiento de la máquina por su conductor hacia un surco situado a unos 3 m del anterior, y la prefisuración a lo largo



Tras sus intervenciones, D. Jesús Díaz Minguela y D. Carlos Centeno participaron, junto con los moderadores, en el turno de preguntas y en el coloquio que daría fin a la primera sesión de la Jornada.

de la longitud del surco. Este 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.

Con el sistema de junta activa (*Joint Actif*) se trata de establecer, antes de la compactación, una discontinuidad transversal en la capa tratada mediante la inserción, por vibrocompresión, de una junta de plástico de forma sinusoidal. El cierre del surco creado para introducir la junta es realizado por otra máquina diseñada específicamente para ello. La separación entre discontinuidades es, generalmente, de 2 m.

Los elementos de juntas tienen una longitud de 2 m y se sitúan 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 colocan apoyados 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 refino. 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 arenace-

mentada, y durante el plazo de trabajabilidad del material, hay que realizar el reperfilado de la superficie, la compactación, el refino final y la compactación definitiva.

En las obras realizadas, se ha comprobado que la utilización del procedimiento aumenta el tiempo de puesta en obra 30 minutos como máximo.

En algunas obras, un análisis de las fisuras reflejadas en superficie condujo a las conclusiones siguientes:

— Dichas fisuras eran generalmente finas y rectilíneas, lo que hacía que el tráfico las degradase poco.

— En relación a las obras realizadas sin prefisuración, el número de fisuras observadas en superficie era, por término medio, unas 5 veces menor, y su gravedad es más débil.

— En los tramos testigo sin prefisurar, las fisuras aparecían dos inviernos antes que en los tramos con juntas activas.

El equipo OLIVIA crea, antes de la compactación, un surco transversal en la capa de material tratado, en el que se inserta una cinta de plástico a una profundidad ajustable. En general, la altura de la cinta se adapta al espesor de la capa tratada (entre 1/3 y 1/5 de la misma). La máquina también cierra el surco. La separación entre juntas es generalmente de 3 m.

El equipo va montado en el chasis de una carretilla elevadora de carga frontal. Está constituido por un sistema de dos vigas telescópicas (una fija y otra móvil), bajo las cuales se desplaza por una cadena sinfín una herramienta en forma de reja que

crea el surco e inserta la cinta de plástico.

La cinta de plástico se suministra en rollos, que se montan en el equipo. A menudo tiene un ancho de 8 cm, lo que permite tratar capas de material tratado entre 15 y 25 cm una vez compactadas, y un espesor de 70 a 80 μm . La longitud de los rollos es generalmente 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 a 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.

Trabajando a todo el ancho, la máquina ejecuta alrededor de 2000 m/día de juntas, es decir, lo que supone una superficie de material tratado de 5000 a 6000 m².

Entre los equipos diseñados por contratistas españoles pueden mencionarse los siguientes:

— Sistema Victoria (FCC): se trata de un equipo capaz de avanzar sobre bermas no excesivamente compactadas ni niveladas para situarse en los puntos adecuados. Los surcos en la capa tratada se realizan por medio de un ripper, que a su vez inyecta una emulsión bituminosa.

— Sistema OHL: se acopla al brazo de una retroexcavadora una viga doble T a la que se ha unido un perfil que hace el efecto de cuchillo para penetrar en la capa, sin ninguna vibración. La prefisuración se ejecuta tras el extendido y antes de ejercer ningún tipo de compactación en la capa

Están disponibles dos tipos de perfiles:

- Con cuatro ondulaciones de 4 cm, y
- con tres ondulaciones de 4 cm.

Después de la colocación de las jun-

(excepto la precompactación de la extendidora).

En la fisura se introduce una cinta de plástico flexible, consistente en una lámina de polivinilo de 13 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

— Empleo de *buggy*: el sistema más generalizado es mediante el empleo como elemento portante de un *buggy*, al que se le acopla una placa con una cuchilla triangular, soldada a su cara inferior, con un dispositivo de inyección de emulsión. Estos equipos no suelen dar resultados satisfactorios cuando en el extendido se utiliza maquinaria con elevada precompactación, ya que resulta muy difícil introducir la cuchilla

— Sistemas manuales: los más usuales consisten en placas vibrantes con una cuchilla triangular, soldada a su cara inferior, o bien 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.

Siempre que se prefisure transversalmente una capa tratada con cemento, y que la anchura de la misma 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 próximas a la línea de separación de los mismos, procurando que se formen losas con una relación entre sus lados mayor y menor no superior a 2.

Se realizan preferentemente por prefisuración con equipos similares a los empleados para crear las juntas transversales, o bien mediante cuchillas o discos acoplados a la extendidora. Si esto no fuera posible, se pueden crear por serrado del material endurecido, formando una



D. José Luis Elvira intervino de una manera activa en los coloquios de la Jornada.

entalla del orden de un tercio del espesor de la capa.

Aparte de la prefisuración, existen otros sistemas para evitar la reflexión, aunque son mucho más caros:

— 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 ello, el espesor de mezclas bituminosas debe ser al menos igual al espesor de la capa de material.

— Disponer entre la capa de material tratado y las capas de mezcla bituminosa, una capa de material no tratado (las denominadas secciones inversas) cuyo espesor es de aproximadamente 10 cm. La misión de esta última es formar una pantalla que evite la reflexión de la fisura.

Para finalizar su intervención, el Sr. Centeno señaló que sería conveniente que alguna asociación o empresa pudiera emitir en España "Informes técnicos" sobre los equipos de prefisuración, similares a los que se realizan en Francia.

A pesar de su carácter esencialmente informativo, los "Informes técnicos" son un documento importante para el ingeniero director, tanto antes como durante las obras, con el fin de poder aceptar una técnica.

Dichos "Informes técnicos" deberían ser asimismo objeto de un seguimiento de control y de una revisión cada tres o cuatro años, en caso necesario.

En la tercera ponencia, **D. Fernando Pedraza**, Jefe de Área de Planeamiento, Proyectos y Obras de la Demarcación de Carreteras del Estado en Extremadura, pre-

sentó el tema **"Experiencias de prefisuración de capas tratadas con cemento en la Red de Carreteras del Estado"**.

La utilización de capas de materiales tratados con cemento se ha venido realizando en las obras de la Demarcación de Carreteras del Estado en Extremadura muy paralelamente a su introducción y desarrollo por la normativa técnica.

Los primeros tramos se ejecutaron durante la construcción de la Autovía de Extremadura (hoy Autovía del Suroeste, A-5). Fruto de estas experiencias fue la adopción de forma casi sistemática de los tratamientos con cemento en capas de firme en las más recientes actuaciones desarrolladas: la Autovía de la Plata (A-66) y la Autovía Trujillo-Cáceres (A-58).

La Autovía de la Plata, a su paso por Extremadura, tiene una longitud total de 301 km, ya ejecutados, donde mayoritariamente se han empleado explanadas mejoradas estabilizadas y subbases de suelocemento. Por su parte, la Autovía Trujillo-Cáceres tiene una longitud de 46,5 km, y en este caso todas sus explanadas están estabilizadas y todos sus firmes son semirrígidos.

Los materiales granulares empleados en los trabajos han sido diversos: jabres procedentes de la alteración de macizos graníticos, rechazos de canteras de diabasa, granito o cuarcita, arcosas, tobas andesíticas, calcoesquistos, grava silíceo machacada, areniscas de rañas, granodioritas, pizarras, y machaqueos de granitos y grauvacas de la propia traza.

En la Autovía de la Plata los tráfico en el itinerario (datos oficiales de 2007) se en-



A lo largo de la Jornada se sucedieron varios debates de gran interés para los asistentes.

cuentran entre 5500 v/día, con un 32% de pesados, y 16 500 v/día, con un porcentaje de pesados del 15%. En los correspondientes proyectos la categoría de tráfico que se adoptó fue T1 en general, y puntualmente T0. En cuanto a las categorías de explanada, en todos los casos es del tipo E3.

Respecto a la Autovía Trujillo-Cáceres, la intensidad de tráfico contabilizada en el itinerario se encuentra en el entorno de los 8000 v/día, con un porcentaje de pesados del 5%. En los proyectos el tráfico se clasificó como T2. Las categorías de explanada adoptadas fueron E3 y E2.

La sección de la vigente Instrucción que se adoptó mayoritariamente para la Autovía de la Plata fue la 132, con 20 cm de suelocemento en subbase, o la 131, cuando puntualmente se recurrió a una subbase granular. En la Autovía Trujillo-Cáceres se optó por la solución 222, con 22 cm de suelocemento, y la 232, con 20 cm de SC, modificada esta última en algún caso para mantener 18 cm de MBC.

Se trata, por tanto, de soluciones con un espesor reducido de mezcla bituminosa (15, 18 ó 20 cm), y en las cuales es preceptivo prefisurar con separaciones de 3 - 4 m entre juntas.

A este respecto, se puede indicar que durante la construcción de la A-5 ya se observaron problemas de fisuración en uno de los tramos (variante de Mérida). En esa época, la lógica prudencia frente a una nueva y poco conocida unidad, como era el suelocemento, condujo al empleo de contenidos de cemento relativamente eleva-

dos. El tramo Trujillo-Miajadas, en donde el espesor de mezcla bituminosa (18 cm) era menor, presentó también moderados problemas de fisuración transversal.

Un aspecto importante que hay que tener en cuenta se refiere a las condiciones climáticas de la zona donde se realizaron los trabajos. Ello ayuda a entender mejor las precauciones adoptadas en el diseño de la capa de suelocemento.

Todos los índices climáticos son coincidentes en calificar la zona como semiárida/árida. En lo que se refiere a las temperaturas, en la zona se pueden alcanzar habitualmente en verano oscilaciones diarias del orden de 15° C, o incluso superiores, con temperaturas máximas cercanas a los 40 °C.

En el caso del suelocemento, el contenido mínimo de cemento exigido por la normativa es del 3%. De forma orientativa, los porcentajes de cemento con los que se trabajó variaron entre dicho valor, en el caso de los rechazos de canteras de granito, y un 5,5 % para las tobas andesíticas, que, por otra parte, eran los materiales con una mayor plasticidad.

En todos los casos se utilizaron para la fabricación del suelocemento centrales móviles de mezcla discontinua con dosificación ponderal, que aseguraban unas producciones teóricas de 500-600 t/h. Los tiempos de amasado solían estar entre los 8-10 segundos por tonelada y dependían de la amasadora, especialmente de su longitud e inclinación. Ocasionalmente se emplearon plantas con producciones teóricas de 250 t/h.

Para la puesta en obra, habitualmente se utilizaron extendedoras automotrices trabajando a todo el ancho de la capa, que solía ser de 9,2 m, si se incluye el arcén interior, o de un máximo de 11,3 m, si se ejecutaban simultáneamente todos los arcenes. Obviamente, en estas últimas condiciones resultaba importante el control de las segregaciones.

El arcén exterior, que se ejecutaba con suelocemento, requería un recrecido de 10 cm o el extendido de los 30 cm totales en dos capas, según la anchura de trabajo del extendido de calzada. Estos suplementos se ejecutaban con extendidora lateral o convencional.

Entre la extendidora y el tren de compactación se emplazaba el equipo de prefisuración.

El rendimiento de los trabajos de extendido fue del orden de 700-800 m de calzada/día, en condiciones meteorológicas favorables.

El tren de compactación solía estar formado por dos rodillos con varias alternativas de composición.

El riego de curado se programaba para seguir inmediatamente al extendido del suelocemento. Se solía utilizar una emulsión tipo ECR1 con una dotación de 300 g/m² de betún residual.

Centrándose en la prefisuración, las técnicas en fresco empleadas en las obras fueron diversas, como la utilización de una uña inyectora de emulsión montada sobre equipo móvil o bien de una excavadora mixta con una viga en su brazo mecánico que introducía una lámina de polietileno para constituir la junta. También se utilizó el serrado en seco de la capa ya endurecida.

Para la ejecución de las juntas transversales, la uña inyectora se montaba sobre equipos como minitractores o *quad*.

La experiencia demostró que las juntas eran compactables hasta el completo enrase con el terreno circundante. Finalizada la capa resultaba imperceptible determinar la posición de las juntas, salvo que la fisuración de retracción/dilatación las delatase a temprana edad.

Para la prefisuración longitudinal, la uña inyectora se podía emplazar sobre la propia extendidora. Alternativamente se recurría a un elemento punzante en la regla de la entendedora para premarcar la fisu-

ra y utilizar los mismos medios que para la prefisuración transversal.

En los tramos en los que se optó por el serrado se hicieron pruebas para determinar el momento óptimo de corte. En unos casos se realizó antes del riego de curado y, en otros, posteriormente. Para alcanzar el rendimiento de la puesta del suelocemento eran necesarias dos cortadoras. La profundidad de serrado adoptada solía ser de 1/4 del espesor. Este método puede ser útil para la prefisuración a posteriori de los arcones, o bien para tratar zonas donde, por avería del equipo de prefisuración, haya sido preciso postergar la ejecución de la junta.

En el marco climático de estas obras se comprobó que una separación de 5 m entre juntas transversales resultaba excesiva, sobre todo con dotaciones de cemento elevadas cuando se trabajaba en verano, por lo que, en general, se prefisuraba transversalmente cada 4 m.

La junta longitudinal se ejecutaba en coincidencia con el eje definitivo de la calzada.

En la cuarta ponencia, a cargo de **D. José Luis Ruiz Ojeda**, *Subdirector General del Departamento de Obras Públicas de la Diputación Foral de Bizkaia*, se presentó el tema **"Experiencias en otras redes de carreteras: prefisuración con juntas activas en Bizkaia"**.

En 1984 dicha Diputación Foral asumió la competencia exclusiva en materia de carreteras dentro de su límite territorial: planeamiento, proyección, construcción, conservación y explotación. En la actualidad gestiona un total de 1336 km de carreteras, de los que 239 km pertenecen a la red de interés preferente y 212 km a la red básica.

El proyecto de los firmes de dichas carreteras se basó, en un principio, en las Normas Técnicas (Normas BAT) que, a mediados de los años 80, elaboró la Diputación Foral.

Para las categorías más elevadas de tráfico las soluciones de mayor empleo en aquellos años fueron las de base de gravaescoria. Como alternativa se recurría a firmes con base bituminosa sobre subbase de zahorra artificial.

No se utilizaban secciones con base de gravacemento debido a las malas experiencias obtenidas en las escasas rea-

lizaciones llevadas a cabo.

En 1995 desapareció la actividad de la siderurgia integral en Bizkaia, aunque se siguió utilizando la gravaescoria con escoria granulada de Avilés.

Por otro lado aparecieron estudios basados en cálculos analíticos que demostraban la fragilidad de los firmes de base bituminosa sobre subbase granular frente a los de base tratada con cemento.

Como consecuencia, se inició un proceso de reflexión sobre el futuro de los firmes en las carreteras vizcaínas, teniendo en cuenta las peculiaridades de la red, los incrementos de los tráfico y las tendencias que se vislumbraban en las nuevas versiones de la Instrucción 6.1 - IC de secciones de firme.

A partir de 2001, con el apoyo técnico del IECA, el proyecto de los firmes en Bizkaia se decantó hacia soluciones basadas en la normativa francesa. El procedimiento de cálculo de esta última es homologable al caso español, al utilizarse cargas por eje de 13 t y clasificaciones de explanadas similares, en función de su capacidad de soporte.

Se optó por soluciones de firmes con base de gravacemento de altas prestaciones, de gran espesor, sobre explanadas equivalentes a la E2 española (módulo $E_{v2} > 120$ MPa).

Desde 2001 hasta la actualidad, al margen de las repercusiones que pueda tener la entrada en vigor de la Norma de Dimensionamiento de Firmes del País Vasco, las secciones de firme de uso más común en las carreteras de nueva construcción en Bizkaia, para categorías de tráfico comprendidas entre T00 y T2, están constituidas por una explanada tipo E2 con una base de gravacemento de altas prestaciones, de espesor variable entre 28 y 35 cm, y varias capas de mezclas bituminosas en caliente, de espesor total entre 10 y 15 cm.

En todos los casos, las capas tratadas con cemento se prefisuran con el sistema CRAFT o con el de Juntas Activas (*Joint Actif*).

Después de unos tímidos inicios en el empleo de bases tratadas con cemento prefisuradas en 2001, con la obra del acceso desde la N-240 a la cantera de Apario (en donde se utilizó el sistema CRAFT), su empleo se ha generalizado, constituyendo hoy en día una solución imprescindible en los

proyectos de carreteras de Bizkaia.

Por su parte, la primera obra en Bizkaia con el sistema de juntas activas fue la Variante de Larrabetzu, construida en 2004.

El sistema de prefisuración mediante juntas activas aporta las siguientes ventajas:

- Eficacia en la transmisión de cargas.
- Rapidez de ejecución, con rendimientos normales del orden de 1 junta transversal completa cada 4 minutos en calzada de 10 m de anchura (1 m de avance cada 2 minutos).
- Retraso en la reflexión de las fisuras a la capa de rodadura.
- Cuando se han reflejado, las fisuras son muy finas, casi imperceptibles y rectilíneas.
- Bajo mantenimiento de las fisuras, por ausencia de degradación en sus bordes.

— Posibilidad de reducción de los espesores de la capa tratada con cemento del orden del 10-20%.

Como inconvenientes, se aprecian los que se indican a continuación:

— Baja disponibilidad de equipos por su escasez para la ejecución de las juntas.

— Mayor coste económico que el de otros sistemas de prefisuración (2,5 - 3,0 euros/m² con separación de 2 m, frente a 0,9 - 1,2 euros/m² con el equipo CRAFT).

A finales de 2008 se superaban los 300 000 m³ de gravacemento ejecutados en las bases de las carreteras vizcaínas, con una previsión de alcanzar los 580 000 m³ en 2010. En la presentación se proporcionaron datos de las distintas obras donde se ha utilizado esta técnica, algunas de ellas con tráfico T00 y capas de gravacemento de hasta 34 cm de espesor.

En 2007 se llevó a cabo una campaña de auscultación de la capacidad de soporte de la red de carreteras de Bizkaia con el deflectógrafo Lacroix. En ella se incluyeron los tramos recientemente ejecutados con bases de gravacemento prefisuradas con juntas activas.

Los resultados indicaron una buena capacidad de soporte de estos firmes, con valores homogéneos.

Dicha situación se corresponde con un adecuado dimensionamiento, una correc-



De izquierda a derecha, Sres. Jofré, Ruiz Ojeda y Pedrazo.

ta ejecución y un período de servicio aún pequeño en la fecha de celebración de la Jornada.

En la superficie de los firmes no se apreciaban fisuras reflejadas de las juntas de la base, aún habiendo transcurrido, en algunos casos, casi cinco años desde la puesta en servicio de la carretera.

En agosto de 2009 se realizó una campaña de auscultación de las juntas de varios tramos mediante el deflectómetro de impacto Dynatest.

Como resumen de la misma pueden destacarse los siguientes resultados:

- Los firmes auscultados poseen una alta capacidad de soporte, con deflexiones por debajo de 15 centésimas de milímetro.

- Las deflexiones medidas en las juntas son similares a las correspondientes al centro de las losas.

- El porcentaje de transferencia de carga entre losas del firme está comprendido, en general, entre el 90 y el 100%.

- La flecha entre bordes de las juntas es muy pequeña, en general por debajo de 5 centésimas de mm.

- Los huecos bajo las juntas son insignificantes.

Todo ello confirma el buen comportamiento de los firmes con bases de gravamento de altas prestaciones prefisuradas, de elevados espesores y apoyadas directamente sobre la explanada, empleados en la red de carreteras de Bizkaia.

Después de las exposiciones de los ponentes se celebró una **Mesa Redonda** sobre **“Aspectos económicos y técnicos de la prefisuración”**.

D. Carlos Centeno expuso los distin-

tos mecanismos de reflexión de las fisuras de contracción de una capa tratada con cemento y los problemas que pueden provocar en las capas de mezclas bituminosas. Al igual que los restantes ponentes, destacó que las juntas creadas mediante prefisuración a distancias cortas, en caso de reflejarse en la superficie son finas, y su evolución es mucho menos dañina que las de las fisuras que se producen cuando no se recurre a la prefisuración.

Entre los factores que pueden influir en la formación de fisuras destacó los siguientes

- *Naturaleza de los áridos*: la diferencia de los coeficientes de dilatación térmica entre los áridos calizos y silíceos se traduce en una mayor fisuración de las capas con éstos últimos.

- *Tamaño máximo del árido*: la disminución del mismo suele traducirse en un aumento de la deformabilidad antes de la rotura, al mejorar la homogeneidad de la mezcla, aumentar la unión conglomerante-árido y reducir el módulo de deformación

- *Características del conglomerante*: los más ricos en clinker suelen dar lugar a fisuraciones más importantes que aquellos con un contenido más elevado de adiciones.

En su intervención, **D. Fernando Pedrazo** destacó que, desde el punto de vista de una Administración, resulta bien conocida la cantidad que se abona por una determinada unidad de obra, pero intentar estimar su coste real resulta una tarea de mayor complejidad.

No obstante, sí es posible conocer las operaciones que entraña dicha unidad y

los medios dispuestos para su ejecución con carácter general. En una primera aproximación se pueden distinguir los siguientes costes parciales:

- materiales
- fabricación
- ejecución
- control

Hay que tener presente que las condiciones específicas del mercado de la Obra Pública en cada región tienen una influencia determinante en todos los costes. Además, las condiciones climáticas pueden dar lugar a unos rendimientos muy diversos en esta unidad.

Dentro del coste de los materiales, el del suelo puede ser muy variable atendiendo a su naturaleza, punto de extracción y tratamientos necesarios. En general, la utilización de suelos procedentes de las excavaciones de la obra supone un importante ahorro, que puede revertir en los tratamientos que son necesarios para conseguir un material con una granulometría satisfactoria. Otros materiales, como el cemento y la emulsión para el curado, son objeto de comercialización, por lo que están sujetos a menores incertidumbres en la evaluación de su coste. En cuanto al agua, hay que prever su suministro.

En lo que se refiere al coste de fabricación, la situación habitual es que no existan plantas de suelocemento estables en una zona, por lo que es necesario proceder a su montaje. Pueden darse varias situaciones para decidir su emplazamiento (aprovechamiento de otras instalaciones existentes, alquiler de un terreno y obtención de los permisos necesarios).

La ejecución comprende diversas operaciones: barrido y/o riego de prehumec-



La imagen recoge a los miembros de la mesa redonda, moderada por D. Adolfo Güell, que trató sobre los aspectos económicos y técnicos de la prefisuración. De izquierda a derecha, Sres. Zabala, Ruiz, Pedraza, Güell y Centeno.

tación, extendido de la capa (en donde pueden ser precisas una o varias extendedoras), prefisuración, compactación y extendido del riego de curado. Dependiendo de la distancia de transporte del suelocemento a la extendidora, el ciclo de alimentación puede precisar más o menos camiones.

Puede que todas o parte de estas tareas sean objeto de subcontratación. Tal es el caso de la propia prefisuración.

En cuanto al control, aparte de los trabajos de apoyo topográfico a la ejecución y el control geométrico de la capa ejecutada, es necesario elaborar una fórmula de trabajo del suelocemento, realizando los ensayos correspondientes, y ejecutar un tramo de prueba previo al inicio de los trabajos. No hay que olvidar que la tarea fundamental del control reside en las labores de autocontrol del Constructor, que serán desarrolladas con el auxilio de un laboratorio propio o subcontratado para la ocasión. El Plan de Control de la obra definirá los ensayos que hay que realizar y su intensidad.

Finalmente, es necesario subcontratar tareas como la determinación del IRI de la capa terminada.

Resulta elemental que, en el contexto de todo lo enunciado, el coste adicional del equipo de prefisuración no resulta relevante. Tampoco se observa que la prefisuración afecte significativamente al rendimiento de la unidad.

En lo que se refiere al comportamiento estructural de las capas de suelocemento, el Sr. Pedraza destacó que, en vías de alta capacidad, parecen indiscutibles las ventajas de todo tipo que representan frente

a las capas de material granular sin tratar.

La subbase de suelocemento, apoyada sobre una explanada estabilizada, es la responsable en gran medida de la rigidez final del firme, siendo capaz de reducir las deflexiones de la propia explanada en un 40% o más. Las capas de mezcla bituminosa proporcionan un reparto inicial de tensiones y aseguran la protección de las capas tratadas con cemento.

Buscando que la resistencia a compresión simple a siete días se encuentre por encima del mínimo de 2,5 MPa que marca la normativa, se han observado coeficientes de variación de entre 15 y 35%.

En cuanto a los ensayos de placa de carga estática, se han realizado a título informativo, al no ser obligatorios en el suelocemento y presentar algunos problemas (lentitud, necesidad de alcanzar una cierta resistencia). Por ello, tampoco se dispone de un gran número de resultados, habiéndose podido comprobar que presentan una apreciable dispersión, superior a la observada en laboratorio para la resistencia a compresión simple. En la mayoría de los casos el coeficiente de variación resulta superior al 50%, pero con valores medios habitualmente elevados (módulo E_{v2} mínimo siempre superior a 300 MPa). Con otros equipos de más rendimiento, como el deflectómetro de impacto o el curviámetro, se han detectado asimismo dispersiones importantes.

También se han realizado experiencias de control de calidad de la capa mediante equipos de seguimiento continuo de la compactación. El módulo de rigidez que proporciona el compactador puede utilizarse como valor relativo para detectar zo-

nas más débiles o, incluso, puede ser calibrado para proporcionar una interpretación cuantitativa.

Sobre la regularidad que se puede alcanzar con la capa de suelocemento (mediante determinación del IRI), y conforme a la experiencia adquirida en las obras de Extremadura, puede señalarse que valores medios de 4,5 dm/hm permiten obtener bases con resultados dentro de la norma, siempre que se ejecuten correctamente. Valores medios superiores a 5,5 dm/hm ya no garantizan que pueda obtenerse con facilidad la regularidad superficial prescrita, requiriendo extremar las condiciones de puesta en obra de las mezclas para corregir la mala tendencia.

El Sr. Pedraza comentó también las diferencias de temperatura que pueden producirse dentro de un firme, como consecuencia de las variaciones de la temperatura ambiente. Ello es una de las causas de la fisuración de las capas tratadas con cemento.

El beneficio de la técnica de prefisuración se centra en normalizar el patrón de fisuras, lo cual tiene un doble efecto. Por un lado, se geometrizan las fisuras, localizando las fisuras secuenciadamente en posición transversal. Con ello se reduce su longitud, siendo más sencillos de ejecutar los eventuales tratamientos de sellado en caso de ser necesarios. Y por otro, lo que es más importante, se introduce un efecto de reparto que disminuye sustancialmente el tamaño de las potenciales fisuras y sus movimientos.

Estos aspectos redundan en la durabilidad del firme, en su economía de mantenimiento y en la sostenibilidad de los tra-

bajos, y, por tanto, en la rentabilidad global de la inversión.

En la fecha de celebración de la Jornada había en Extremadura tramos con sub-bases de suelocemento prefisuradas que llevaban en servicio 4 años, sin que en las distintas inspecciones realizadas se hubieran identificado problemas de fisuración.

Por ello puede ser procedente plantearse la posibilidad de elevar ligeramente la resistencia que debe alcanzar la capa de suelocemento, siempre que vaya acompañada de prefisuración.

En una línea similar, **D. José Luis Ruiz Ojeda** abogó por eliminar los límites superiores de resistencia de los materiales tratados con cemento impuestos en la normativa, siempre que se haga una prefisuración eficaz. Ello permitiría utilizar gravasemento de resistencias elevadas que, a igualdad de espesores, permitirían elevar notablemente la resistencia a la fatiga de los firmes semirrígidos utilizados actualmente.

El Sr. Ruiz Ojeda también defendió que los equipos de prefisuración estén sometidos a un sistema de certificación en el que se evalúe su eficacia mediante algunos ensayos (transferencia de cargas en las juntas, extracción de testigos para comprobar la disminución de resistencias causada por la prefisuración) y el seguimiento de las obras en las que se hayan utilizado.

En la intervención final de la Mesa Redonda, **D. Iñaki Zabala**, *Director de IECA Zona Norte*, indicó que la eficacia del sistema CRAFT se comprobó por primera vez en España en 1995, en un tramo de ensayo de 300 m de longitud, promovido por la Diputación Foral de Álava y el IECA, dentro del tronco de la N-1, el cual está sometido a un tráfico T00 (más de 5000 camiones diarios por sentido). Las variaciones de temperatura son muy importantes (cerca de -15 °C en invierno y 35 °C en verano). El firme de la autovía estaba compuesto en los tramos adyacentes por 15 cm de mezcla bituminosa en caliente, 23 cm de gravasemento y 20 cm de suelocemento, sobre una explanada E3. En el tramo de ensayo se redujo en 3 cm el espesor de mezcla bituminosa y se aumentó en otros 3 cm el de gravasemento, la cual se prefisuró con un equipo CRAFT.

Se extrajeron testigos tanto de puntos donde se había creado una junta como de



D. Carlos Jofré presentando las conclusiones de la Jornada.

zonas sin juntas, los cuales se ensayaron a tracción indirecta. Se pudo comprobar que la resistencia de los testigos con junta era 3 ó 4 veces menor que las de los obtenidos en zonas sin juntas.

Por otra parte, se llevaron a cabo ensayos con deflectómetro de impacto, en los que se constató la buena transmisión de cargas en las juntas creadas con el sistema CRAFT.

El comportamiento del tramo de ensayo ha sido muy bueno, con una fisuración más reducida que la de los tramos adyacentes. Las fisuras reflejadas eran rectilíneas y de ancho reducido, por lo que se degradaban poco con el tráfico.

Como **conclusiones principales** de la Jornada pueden citarse las siguientes:

1. Se ha comprobado, a partir de las numerosas obras realizadas, que la obligatoriedad de prefisurar las capas tratadas con cemento ha sido un acierto. Se considera que sería muy interesante que se realizase un estudio para analizar la eficacia de los distintos sistemas utilizados.

2. La experiencia acumulada en la técnica de prefisuración es muy importante, tanto en la Red de Carreteras del Estado como en las dependientes de otras Administraciones. Ni la economía ni la ejecución de las obras se ven perjudicadas por la prefisuración.

3. Además de las juntas transversales es necesario disponer juntas longitudinales, cuyo número depende del ancho de la capa construida. Esta prescripción debe ser incorporada de forma más explícita a la actual normativa. Es deseable que dichas juntas queden fuera de las roda-

das de los vehículos.

4. La prefisuración ha permitido que en algunas Administraciones resurja una unidad de obra de gran interés, como es la gravasemento, que se había abandonado en muchas zonas por los problemas de reflexión de fisuras.

5. Según algunos expertos la imposición de un límite superior a la resistencia de los materiales tratados con cemento se podría soslayar con la prefisuración. Por ello, en la próxima revisión normativa, podría considerarse este extremo.

6. La prefisuración también permite construir capas gruesas, que se comportan mejor estructuralmente que las formadas por dos capas tratadas con cemento funcionando por separado.

7. Hay una gran variedad de equipos de prefisuración, desarrollados en muchos casos por contratistas españoles. Conviendría crear alguna entidad que fijase las condiciones que deben cumplir estos equipos y emitiese una certificación de los mismos. En principio debe favorecerse el empleo de aquellos equipos cuyos resultados no dependan en exceso de la habilidad de su operador.

8. Para un correcto funcionamiento de los firmes semirrígidos es imprescindible que haya una adherencia completa entre las capas de mezcla bituminosa y las capas tratadas con cemento que los componen. Por ello debe hacerse obligatoria la eliminación del riego de curado de estas últimas antes de extender la siguiente capa de mezcla bituminosa, no tratando de utilizar el mismo como riego de adherencia. ■