

Balance del empleo de las técnicas de prefisuración de bases tratadas con cemento en España

POR CARLOS JOFRÉ IBÁÑEZ
Dr. Ingeniero de
Caminos, Canales y
Puertos



Ejecución de juntas en fresco con el equipo CRAFT en la variante de Irurzun (hormigón compactado)

1.- Introducción

Por sus evidentes ventajas desde el punto de vista estructural, los firmes semirrígidos y compuestos han sido y son ampliamente utilizados en España y en el resto del mundo, especialmente en Europa y en Estados Unidos. No obstante, su correcto comportamiento pasa por evitar la reflexión en la capa de rodadura de las fisuras de las capas tratadas

con conglomerantes hidráulicos. Dicha fisuración, provocada fundamentalmente por fenómenos de retracción y de gradientes térmicos, es una característica inherente a este tipo de materiales, y no debe ser atribuida a fallos de ejecución de los mismos.

Para alcanzar dicho objetivo se ha empleado un gran número de métodos, si bien la larga experiencia acumulada parece indicar que el más eficaz consiste en disminuir al mínimo los movimientos de las fisuras, mediante la reducción de las se-

paraciones entre ellas. Las tendencias actuales en este sentido se orientan hacia una prefisuración ordenada, con una localización precisa de las fisuras mediante la creación en fresco de entallas a distancias cortas.

Alemania, España y Francia son ejemplos de países en donde dicha medida ha sido adoptada con resultados muy positivos. Su empleo cada vez más frecuente ha dado lugar al desarrollo de algunos equipos de gran rendimiento, con los que, solamente en Francia, se han ejecutado más de

TABLA 1
CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES TRAMOS ESPAÑOLES DE HORMIGÓN COMPACTADO

Tramo	Longitud (km)	Puesta en servicio	Tráfico medio diario de vehículos pesados por sentido	Temperatura (° C)		HCR espesor (cm)	Juntas de contracción		Tipo de mezcla bituminosa sobre el HCR (cm)
				Julio T _m /T _m	Diciembre T _m /T _m		Espaciamiento (m) y ejecución	Medida de protección	
1	22,5	1988	2 595	34/17	11/2	22-24	15 - S 10 - S	Bandas de geomalla entre las capas de aglomerado (0,85 y 1,7 m de ancho)	● 8 a 12 MB ● 8 I + 4 MBM (5% SBS) ● 8 I + 2 MA con fibras
2	60	1988	4 785	31/17	9/2	25	15 - S	Bandas de geomalla entre las capas de aglomerado (0,85 m de ancho)	12 a 15 MB
3	27	1989	700	27/13	7/0	23	7 - S	● Puenteado (betún/caucho) ● SAMI (2,5 kg/m ²) ● Arena betún (2 cm)	● 5 a 8 MB ● 5 MBA (5,6% betún) ● 5 MBFM
4	4,5	1990	2 899	32/17	10/2	25	6 - F 3,5 - F 2,5 - F	● ninguna ● puenteado (betún/caucho) ● láminas asfálticas ● arena betún (2 cm)	12 MB
5	25	1990	s.d. (T1)	34/17	12/2	22	7 - F	ninguna	8 MB
6	96	1989-1991	s.d. (T1)	34/17	12/2	22	7 - S	láminas asfálticas (10 cm de anchura)	8 MB
7	10	1992	s.d. (T1)	34/21	12/6	22	4 - F+e	ninguna	8 MB
8	9,2	1992	800	26/13	9/3	22	2,5 - C	● ninguna ● arena betún (2 cm)	6 a 10 I + 4 MBD

1. N-IV	Valdepeñas-Almuradiel	S	Junta serrada	MB	Mezcla bituminosa convencional	T _m	Temperatura máxima diaria media
2. N-IV	Villaverde-Seseña	F	Junta en fresco		Mezcla bituminosa modificada	T _m	Temperatura mínima diaria media
3. CL-803	Sanchidrián-San Pedro del Arroyo	F+e	Junta en fresco + emulsión bitum.	MBM	Microaglomerado	s.d.	Sin datos
4. N-II	Alcalá-Meco	C	Junta en fresco con equipo CRAFT	MA	Mezcla bituminosa abierta		
5. A-92	Circunvalación de Archidona			MBA	Mezcla bituminosa abierta		
6. A-92	Salinas-Granada			I	Capa intermedia		
7. N-321	Jaén-Torredonjimeno			MBD	Mezcla bituminosa drenante		
8. A-15	Circunvalación de Iruzun						

900 000 m de juntas en fresco en los últimos años.

En España, las técnicas de prefisuración han sido empleadas casi exclusivamente en capas de hormigón compactado con rodillo (HCR), un material que, en lo que se refiere a su aplicación en carreteras de tráfico medio y pesado, comenzó a utilizarse en nuestro país en 1984. A comienzos de 1996 se habían construido con HCR más de 250 km de calzada de dos carriles en distintos tipos de obras: carreteras de nueva construcción, refuerzos, duplicaciones y ensanches de carreteras existentes, etc. Una pro-

porción muy importante de ellas se encuentra sometida al efecto combinado de un tráfico pesado y de fuertes gradientes térmicos.

Se ha recurrido igualmente a la prefisuración en la construcción de una base de hormigón magro compactado, así como en dos tramos de firmes reciclados. A pesar de la longitud mucho menor de estas obras, en comparación con la ejecutada con HCR, de todas ellas han podido extraerse conclusiones interesantes.

Finalmente, en lo que se refiere a la prefisuración de bases de gravacemento, hasta el momento la única ex-

periencia española es un corto tramo de ensayo en la N-I, en las proximidades de Salvatierra, ejecutado en octubre de 1995.

2.- Experiencias de prefisuración en firmes de hormigón compactado

2.1.- Introducción

Como es sabido, en la Instrucción sobre Secciones de Firme en Autovías, publicada en 1986, se introdujeron por primera vez en la normativa del MOPTMA (entonces

MOPU) las soluciones con hormigón compactado, las cuales venían siendo empleadas en carreteras para tráficos medios-altos desde 1984. Mediante ella se trataba de actualizar las Instrucciones 6.1-IC y 6.2-IC, proporcionando criterios para el diseño de los firmes de las autovías del Plan General 1984 - 1991. Estas últimas debían ser proyectadas obligatoriamente para tráficos T0 o T1, por lo que éstos eran los únicos considerados en la Instrucción. Se incluían también varios anejos con las prescripciones de algunas unidades de obra no contempladas en el Pliego General PG 3, siendo el hormigón compactado una de ellas. Ya en dicha Instrucción se recogían algunas de las características de los firmes de hormigón compactado españoles, como son la disposición tanto de una capa de rodadura de mezcla bituminosa para mejorar la regularidad superficial como de una subbase de suelo cemento para permitir una adecuada compactación del hormigón, proporcionándole al mismo tiempo un apoyo uniforme. Estas prácticas habían sido seguidas en la mayoría de las obras ejecutadas hasta entonces. Éstas eran ya muy numerosas, debido al gran atractivo que presentaba el hormigón compactado en aquella época, al permitir la construcción de firmes con una capacidad estructural similar a las de hormigón vibrado sin necesidad de realizar costosas inversiones, o bien permitiendo amortizar éstas entre varias unidades de obra. Por otra parte, se trataba de una solución muy económica, por la gran reducción de espesores de mezcla bituminosa que conllevaba. Sin embargo, en la mencionada Instrucción no se establecía la obligatoriedad de disponer juntas en las capas de hormigón compactado, a pesar de ser una medida adoptada habitualmente; ni, en consecuencia, se daban criterios sobre la separación entre las mismas.

En 1989 dicha Instrucción fue sustituida por la nueva versión de la Instrucción 6.1 y 2 - IC, la cual contempla todas las categorías de tráfico. Para cada una de ellas, las secciones de firmes con hormigón compactado son igualmente una de las siete opciones existentes.

La Instrucción 6.1 y 2 - IC indica la obligatoriedad de disponer juntas



Figura 1. Valdepeñas - Almuradiel (hormigón compactado): ejecución de juntas por serrado

de contracción en el hormigón compactado, espaciadas entre sí no más de 7 m, con un esviaje 1:6 con respecto al eje longitudinal de la calzada. Estas juntas pueden ejecutarse en fresco o bien por serrado del hormigón endurecido.

Desde la primera experiencia en 1984 en carreteras de tráfico medio-alto, las realizaciones españolas con hormigón compactado en este campo han sido muy numerosas. Como ya se ha mencionado, a comienzos de 1996 totalizaban más de 250 km de calzada de dos carriles. Un porcentaje considerable de dicha longitud se encuentra sometido al efecto combinado de un tráfico intenso y de unos importantes gradientes térmicos durante varios meses de cada año.

En la *Tabla 1* se resumen las principales características de algunas de estas obras. Estas informaciones se completan con un análisis de su comportamiento en los apartados que siguen a continuación.

2.2.- Los tramos Valdepeñas - Almuradiel y Villaverde - Seseña de la autovía Madrid - Bailén

Con arreglo a la Instrucción de Secciones de Firme en Autovías se construyeron dos de las obras más importantes ejecutadas en España con hormigón compactado, ambas en la autovía Madrid - Bailén: la nueva calzada del tramo Valdepeñas - Almuradiel (22,5 km), entre agosto y

octubre de 1987, y el ensanche de las dos calzadas existentes en el tramo Villaverde - Seseña (30 km), entre octubre de 1987 y finales de 1988. En ambos casos se dispusieron juntas serradas con un esviaje 1:6.

En el tramo Valdepeñas - Almuradiel se adoptó en la nueva calzada una sección de firme compuesta por:

- 20 cm de suelocemento;
- 22 cm de hormigón compactado (variando linealmente entre 20 y 24 cm);
- 7 cm de capa intermedia S-20;
- 5 cm de capa de rodadura D-20.

Se trataba, en suma, de la sección estructural 134 de la nueva Instrucción, es decir, para un tráfico T1, pero disponiendo un espesor de 12 cm de mezclas bituminosas en vez de los 10 cm especificados en la misma. En lo que se refiere a las juntas transversales, inicialmente se serraron (*fig. 1*) con una separación de 15 m, aunque muy pronto las fuertes temperaturas obligaron a su acortamiento a 10 m, debido a la aparición de fisuras intermedias. Para impedir la reflexión de las juntas se dispuso en la vertical de las mismas una banda de geomalla (*fig. 2 de la página siguiente*) de 0,85 m de ancho, apoyada en la capa intermedia. A título experimental se construyeron cinco tramos contiguos, cada uno de ellos de 300 m de longitud, con las siguientes variantes:

- sólo 8 cm de mezclas bituminosas, ancho de geomalla 0,85 m;

“
Otra de las realizaciones españolas más importantes con hormigón compactado ha sido el conjunto de tramos de la autovía Sevilla - Granada comprendidos entre las localidades de Archidona y Granada.”

- sólo 8 cm de mezclas bituminosas, ancho de geomalla 1,70 m;
- 12 cm de mezclas bituminosas, ancho de geomalla 1,70 m;
- 12 cm de mezclas bituminosas sin geomalla;
- 12 cm de mezclas bituminosas sin geomalla ni juntas.

Además se reservaron cuatro tramos de 500 m cada uno, en sección normal, para probar distintos tipos de mezclas bituminosas:

- capa intermedia de 10 cm y rodadura de 2 cm de microaglomerado con fibras de amianto;
- capa intermedia de 10 cm y rodadura de 2 cm de microaglomerado con betún mejorado con elastómeros;
- capa intermedia de 8 cm y rodadura de 4 cm de microaglomerado con betún mejorado con elastómeros;
- capa intermedia de 8 cm y rodadura de 4 cm de microaglomerado con fibras de amianto.

Por su parte, cada una de las calzadas del tramo Villaverde - Seseña se ensanchó mediante un carril adicional de 3,5 m de ancho y un arcén de 1,5 m, en los que se adoptó una sección similar a la 024 de la Instrucción, aunque con un mayor espesor de mezclas bituminosas. Dicha sección estaba constituida por:

- 20 cm de suelocemento;
- 25 cm de hormigón compactado;
- 8 cm de capa intermedia G-20;
- 7 cm de capa de rodadura D-20 (que se extendió asimismo sobre los carriles existentes).

Siguiendo una filosofía similar a la del tramo Valdepeñas - Almuradiel, se serraron cada 15 m juntas transversales con un esviaje 1:6, en una



Figura 2. Valdepeñas - Almuradiel: bandas de geomalla sobre las juntas

profundidad de 80 mm. Dichas juntas se ejecutaban una vez transcurridas entre 7 y 8 horas desde la extensión del material. En su vertical y apoyadas en la capa intermedia se dispusieron bandas de geomalla de 0,85 m de ancho, así como en la junta longitudinal entre el nuevo carril y los existentes.

A pesar de que en un principio se había pensado que los espesores de mezcla bituminosa y las bandas de geomalla empleadas en ambos casos iban a ser suficientes para garantizar una adecuada protección a la reflexión de las juntas, la realidad ha sido muy distinta. En ambos tramos empezó pronto a constatarse la aparición generalizada de fisuras, localizadas preferentemente en la vertical de las juntas, con importantes degradaciones de las mismas y apreciables deflexiones al paso de las cargas. En el caso del tramo Valdepeñas - Almuradiel los defectos se concentran sobre todo en el carril para vehículos pesados, siendo por el contrario muy esporádicos en el carril interior. Estos deterioros pueden atribuirse al efecto combinado de varios factores:

- El primero y más importante, la excesiva separación entre las juntas, lo que provoca que éstas experimenten grandes movimientos de origen térmico tanto en sentido horizontal (variaciones de temperatura entre el verano y el invierno) como vertical (combado por gradientes causados por las diferencias de temperatura entre

el día y la noche). Hay que señalar al respecto que los tramos se encuentran situados en dos de las zonas de España con mayores oscilaciones térmicas tanto diarias (en ocasiones superiores a 20° C) como estacionales (más de 40° C). Por otra parte, en ambos se utilizó árido cuarcítico, lo que da lugar a mezclas con coeficientes de dilatación superiores a los obtenidos con áridos calizos. Finalmente, el tramo Valdepeñas - Almuradiel fue construido en una época de verano muy calurosa, por lo que las aberturas de las juntas en invierno son también muy considerables. Esta excesiva abertura de las juntas se traduce en una transmisión de cargas muy reducida (e incluso inexistente) al paso de los vehículos. La parte del pavimento aguas abajo de la junta no acompaña en su movimiento a la parte aguas arriba, lo que a su vez origina una gran deflexión diferencial, con fuertes choques de los vehículos contra las fisuras reflejadas. A su vez, dichos choques provocan importantes degradaciones en estas últimas. Es incluso probable que en algún caso dichos choques hayan provocado la erosión de la subbase de suelocemento y la formación de huecos bajo las losas de hormigón compactado. Todo este proceso guarda grandes similitudes con el que se produce en los pavimentos de hormigón

con una excesiva separación entre juntas sin pasadores, en zonas con gradientes térmicos de importancia. Como consecuencia de ello, las capas bituminosas superiores se ven sometidas a unas fuertes sollicitaciones, produciéndose rápidamente su agrietamiento.

- Como segundo factor hay que resaltar que ambos tramos se hallan sometidos a un tráfico muy fuerte de vehículos pesados, que, al pasar sobre las juntas, dan lugar a un gran número de choques de elevada intensidad. Ello puede comprobarse especialmente en el tramo Valdepeñas - Almuradiel, en el que la mayoría de las degradaciones de importancia, como ya se ha mencionado, se encuentran concentradas en el carril exterior; mientras que en el carril interior, que soporta un número muy inferior de camiones, dichos deterioros son mucho menos acusados;
- Un tercer factor es el empleo de las bandas de geomalla, dispuestas entre la capa de rodadura y la intermedia en la vertical de las juntas, en teoría como elemento antirreflexión de fisuras. Sin embargo, al no tener un peso suficiente de mezcla bituminosa encima de ellas, dichas bandas han actuado como elemento de separación entre las capas de aglomerado, provocando el despegue de la capa de rodadura y el cuarteo de la misma en las franjas situadas encima de las geomallas;
- Finalmente, en el caso del tramo Valdepeñas - Almuradiel hay que mencionar que se proyectó para un tráfico T1, es decir, inferior a 2 000 vehículos diarios por sentido. Sin embargo, la puesta en servicio de sucesivos tramos de la autovía Madrid - Bailén provocó un aumento espectacular del tráfico, que muy pronto pasó a ser un T0 en el mencionado tramo. Por ello, puede considerarse que presenta una cierta falta de capacidad estructural.

2.3.- Los tramos de la autovía Sevilla - Granada

Otra de las realizaciones españolas más importantes con hormigón compactado ha sido el conjunto de

TABLA 2
TRAMOS CON HORMIGÓN COMPACTADO EN LA AUTOVÍA
SEVILLA - GRANADA

Tramo	Longitud de calzada (km)	Apertura al tráfico
Variante de Archidona	25 (doble calzada)	julio 1991
Salinas - Riofrío	8	julio 1989
Variante de Loja	18 (doble calzada)	julio 1990
Huétor - Tájar	16 (doble calzada en variante de Huétor - Tájar)	julio 1990
Cacín	7	julio 1989
Fuensanta	9,5	julio 1989
Láchar	15 (doble calzada)	diciembre 1989
Variante de Granada	22,5 (doble calzada)	julio 1992

tramos de la autovía Sevilla - Granada comprendidos entre las localidades de Archidona y Granada. Se ha utilizado dicho material en la ejecución de 121 km de calzada, divididos en los tramos que se indican en la *Tabla 2*.

El proyecto de estos tramos se realizó a comienzos de 1987, siguiendo los criterios de la Instrucción sobre Secciones de Firme en Autovías. Se consideró un tráfico de proyecto T1 y una explanada E2, adoptándose en conse-

cuencia la siguiente sección estructural de firme:

- 8 cm de mezcla bituminosa en capa de rodadura;
- 22 cm de hormigón compactado;
- 20 cm de suelocemento.

La construcción de las capas de hormigón compactado se realizó entre septiembre de 1988 y diciembre de 1991. Cada tramo fue ejecutado por una empresa diferente, con excepción de los de Huétor - Tájar, Cacín y variante de Granada, en los que la puesta en obra del hormigón compactado se llevó a cabo por una misma constructora. Para controlar la fisuración, se decidió disponer juntas transversales de contracción cada 6 a 7 m, con un esviaje de 1:6. En ningún caso, se previó junta longitudinal de alabeo. Es conveniente indicar que los áridos son de tipo calizo, y que ninguna de las capas de hormigón compactado se extendió en verano.

Las juntas transversales se ejecutaron por serrado en todos los tramos de la provincia de Granada. En algunos casos, el hormigón compactado se extendió en épocas de bajas temperaturas, lo que obligó a retrasar la operación de corte (en ocasiones hasta una semana) para evitar un desportillado excesivo de los bordes de las juntas. Ello ha podido ser la causa de algunos deterioros posteriores en la capa de rodadura, puesto que es muy probable que antes de proceder al serrado ya se hubieran desarrollado algunas fisuras.



Figura 3. Sevilla - Granada (hormigón compactado): protección de junta serrada con banda de betún modificado con elastómeros

Antes de extender la capa de rodadura, las juntas se pontearon con una banda de 10 cm de ancho y 5 mm de espesor, constituida por una armadura de poliéster embebida en betún elástico (fig. 3, en la página anterior).

En el tramo restante, la variante de Archidona en la provincia de Málaga, las juntas se ejecutaron en fresco, siendo la primera vez que se utilizaba este sistema en España. Para ello se empleó una placa vibrante a la que se soldó una chapa con un perfil triangular a modo de quilla, la cual abría el hormigón fresco hasta la mitad de su espesor aproximadamente (fig. 4a y 4b), volviendo a cerrarse al finalizar la compactación. Como dato interesante que puede contribuir a explicar el comportamiento posterior, tanto de este tramo como de otros, hay que mencionar que, al poco tiempo de la puesta en obra, se extrajeron testigos y se comprobó que se había abierto en todo el espesor una junta inducida de cada dos o tres consecutivas (separación de 12 a 18 m).

Aunque el clima y el tráfico de los distintos tramos de la autovía Sevilla - Granada son similares, su comportamiento ha sido muy diferente. A ello han contribuido, por una parte, el que hayan sido ejecutados, en general, por empresas diferentes; y, por otra, las circunstancias climáticas de puesta en obra del hormigón compactado en cada uno de ellos. Así, el balance que puede hacerse hasta el momento de las variantes de Archidona, Loja y Granada, así como de los tramos de Fuensanta y Láchar, es en general satisfactorio. Las fisuras reflejadas aparecen normalmente a distancias entre 12 y 20 m, si bien presentan en general un buen aspecto: rectilíneas, de escasa abertura, sin ramificaciones ni pérdidas de material. Dichas fisuras no se notan al paso del tráfico, y su ponteo, que se ha realizado en algunos casos, podría considerarse incluso contraproducente. Su no degradación parece indicar una transmisión de cargas correcta, con ausencia de deflexiones diferenciales. Una posible explicación puede radicar en que, como se constató en la variante de Archidona, al principio se abre únicamente una junta de cada dos o tres. Dicha junta experimenta entonces, durante un cierto período, unos movimientos excesivos, que provocan la fisuración de la mezcla bituminosa. Posteriormente acaban abriéndose todas las juntas, dando lugar a una re-



Figura 4a. Variante de Archidona (hormigón compactado): detalle de placa vibrante con cuchilla soldada para la ejecución de junta en fresco

ducción de las deformaciones, las cuales pueden entonces ser absorbidas por la capa de rodadura. Por el contrario, el tramo Salinas - Riofrío presenta numerosas fisuras incontroladas, que pueden atribuirse a un serrado demasiado tardío de las juntas. Finalmente, los tramos de Huétor - Tájar y Cacín han exhibido un comportamiento mediocre, asociado en general a una baja capacidad de soporte por falta de espesor del hormigón compactado realmente puesto en obra, junto con una deficiente compactación de los terraplenes. Al res-

pecto, hay que mencionar que, en algunos de los restantes tramos de la autovía con hormigón compactado, se han producido varios casos de fisuración longitudinal por corrimiento de terraplenes; aunque hay que indicar también que en los tramos de la provincia de Sevilla, en los que se ha adoptado una solución constituida por zahorras y mezclas bituminosas, se han constatado fisuras del mismo tipo, originadas por causas similares, y que han reaparecido aun después de haber extendido varias capas de refuerzo. Hay que destacar finalmente que los buenos resultados obtenidos en el tramo de Archidona, que es el que hasta el momento ha exhibido un mejor comportamiento, junto con la economía que supone la ejecución de juntas en fresco, han dado lugar a que se haya utilizado este sistema en la casi totalidad de las obras con hormigón compactado construidas a partir de 1990, habiéndose abandonado prácticamente el serrado.

2.4.- El refuerzo de la CL-803 entre Sanchidrián y San Pedro del Arroyo

Durante los más de dos años de puesta en obra de las capas de hormigón compactado de la autovía Sevilla - Granada se llevó a cabo otra de las realizaciones españolas más importantes con este tipo de material: el refuerzo de la CL-803, tramo Sanchidrián - San Pedro del Arroyo, en la provincia de



Figura 4b. Variante de Archidona: realización de junta en fresco en el hormigón compactado

Ávila. Se trata de una obra con una longitud de 27 km, en la que la extensión del hormigón compactado se realizó entre el 5 de julio y el 15 de septiembre de 1989. Dicha carretera está sometida a un tráfico T2 alto (constituye el itinerario más corto entre Madrid y Salamanca, evitando además la travesía por la ciudad de Ávila). El firme existente presentaba en más de 5 km deflexiones características superiores a 300 mm; y, por otra parte, en más de 10 km la explanada tiene un CBR inferior a 2. Por todo ello, se procedió a la búsqueda de soluciones de refuerzo que transmitiesen las menores tensiones posibles a la explanada, adop-

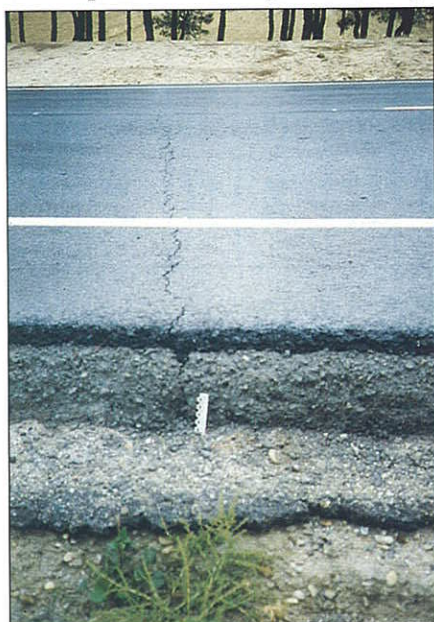


Figura 6. Sanchidrián - San Pedro del Arroyo: junta reflejada

tándose finalmente una sección estructural de refuerzo constituida por:

- 23 cm de hormigón compactado;
- 5 cm de mezcla bituminosa.

Como medida de control de la fisuración del material se serraron juntas cada 7 m, las cuales se dispusieron sesgadas, con una inclinación 1:6. Para evitar su reflexión en la capa de rodadura se pontearon mediante una masilla asfáltica a base de betún modificado con elastómeros, de aplicación en caliente. El ancho de ponteo fue de 5 cm, efectuándose previamente una limpieza cuidadosa de las juntas, para quitarles la lechada de cemento adherida durante el serrado. Se ejecutaron asimismo cinco tramos de prueba con distintas variantes en cuanto al sistema antirreflexión de fisuras. En tres de ellos



Figura 5. Sanchidrián - San Pedro del Arroyo: extensión de membrana de betún modificado sobre el hormigón compactado

se introdujeron modificaciones en la formulación de la mezcla bituminosa, mientras que en los dos restantes se dispuso una capa antirremonte entre el hormigón compactado y la rodadura. Las soluciones ensayadas fueron las siguientes:

- 3 000 m con 8 cm de mezcla bituminosa en caliente;
- 2 000 m con 5 cm de mezcla bituminosa en caliente, de granulometría discontinua, con un contenido importante de betún (5,6% sobre áridos), para darle una cierta capacidad autosellante;
- 2 750 m de una capa de mezcla bituminosa en frío, de granulometría abierta y fabricada con emulsión modificada con elastómeros;
- 2 300 m en los que, previamente a la capa de 5 cm de mezcla en caliente convencional, se extendió una membrana (fig. 5) constituida por un 85% de betún 150/200 modificado con polieti-

leno y SBS, con una dotación de 2,5 kg/m²;

- 1 000 m en los que, sobre el hormigón compactado, se extendió un sistema bicapa constituido por 2 cm de arena - betún, con un 9,5% de ligante modificado con elastómeros y 2,5 cm de un microaglomerado en caliente con un 5,8% sobre áridos de betún modificado con elastómeros.

Ninguno de los sistemas ensayados se ha mostrado eficaz para evitar la reflexión de fisuras (fig. 6). En la mayoría de los casos, al cabo del segundo invierno se habían reflejado la totalidad de las fisuras, como puede verse en la Tabla 3; y al cabo del cuarto invierno, solamente en el tramo con sistema bicapa no se había alcanzado el 100% de reflexión, si bien el porcentaje de fisuración era muy importante (50%). Estos malos resultados hay que atribuirlos a los siguientes factores:

TABLA 3
EVOLUCIÓN DE LA FISURACIÓN POR REFLEXIÓN EN EL TRAMO SANCHIDRIÁN - SAN PEDRO DEL ARROYO

SOLUCIÓN	1º invierno (%)	2º invierno (%)	3º invierno (%)	4º invierno (%)
5 cm M.B.C.	100			
8 cm M.B.C.	0	25	50	100
5 cm autosellante	50	100		
5 cm M.B.F.	0	100		
Arena - betún	0	100		
Arena - betún + membrana	0	0	10	50

“**D**espués de haber soportado cinco inviernos y un tráfico que supera en la actualidad los 3 000 vehículos pesados diarios en cada calzada, el comportamiento del tramo puede considerarse como excelente.”

- excesiva separación entre juntas, combinada con la extensión en verano y la utilización de áridos silíceos;
- insuficiente espesor de mezcla bituminosa, para un tráfico ya muy cercano al T1 (IMD de 5 000 vehículos, con un 30% de pesados), combinado con fuertes gradientes diarios y estacionales. Hay que destacar asimismo que el tramo con 8 cm de mezcla bituminosa tampoco ha exhibido un buen comportamiento;
- mal comportamiento de alguna de las soluciones, como la arena - betún dispuesta entre el aglomerado y la capa de rodadura. Ésta mantuvo su elasticidad en el primer invierno, para rigidizarse en el segundo, reflejándose el 100% de las juntas.

2.5.- El tramo Alcalá - Meco de la autovía Madrid - Zaragoza

En la primavera de 1990, es decir, un año después de la puesta en obra de la capa de hormigón compactado en la variante de Archidona, se ejecutó la segunda obra con este material prefisurado en fresco: el tramo Alcalá - Meco de la autovía Madrid - Zaragoza. Dicha obra queda enmarcada dentro de una ampliación de las calzadas existentes, en una longitud de 4,5 km, la cual consistió en la adición de un carril de 3,5 m de ancho, más 1 m de arcén exterior y 0,5 m de arcén interior para disponer una barrera rígida. En el sentido Madrid - Barcelona se escogió una solución compuesta por:

- 20 cm de suelocemento;
- 25 cm de hormigón compactado;

Sistema antirreflexión de fisuras	Número total de juntas	Fisuras reflejadas abril 1992		Fisuras reflejadas marzo 1994		Fisuras reflejadas octubre 1995	
		Total	% *	Total	% *	Total	% *
Juntas cada 6 m	152	2	1,3	2	4,6	7	4,6
Ponteadas							
Juntas cada 2,5 m	360	7	1,9	9	5,0	18	5,0
Sin protección							
Juntas cada 3,5 m	257	8	3,1	8	3,1	14	5,5
Sin protección							
Juntas cada 6 m	100	-	-	4	4,0	7	7,0
Bandas asfálticas de 5,2 kg/m ²							
Juntas cada 6 m	50	2	4	2	4,0	3	3,0
Bandas asfálticas de 2,2 kg/m ²							
Juntas cada 6 m	150	15	10	19	12,7	31	20,7
Arena - betún							
TOTAL	1069	34	3,2	44	4,1	10	0,9
TOTAL SIN TRAMO DE ARENA - BETÚN	919	19	2,1	25	2,7	49	5,3

* Porcentaje de fisuras en relación al número de juntas del tramo

- 6 cm de mezcla bituminosa en capa intermedia;
- 6 cm de mezcla S-12 como refuerzo en el conjunto de la calzada.

Como se ha mencionado, las juntas se ejecutaron en fresco, disponiéndose, según los tramos, con separaciones de 2,5, 3,5 ó 6 m. En consecuencia, una de las singularidades del tramo es que por primera vez en España se realizó una prefisuración a distancias cortas, práctica que ha sido seguida después en todas las obras en que se ha utilizado este sistema. La prefisuración se complementó en algunos casos con otras medidas antirreflexión de juntas, quedando dividida la obra en los cinco tramos siguientes, cada uno de ellos con una longitud de 900 m:

- separación de 2,5 m entre juntas transversales, sin protección de ellas;
- separación de 3,5 m entre juntas transversales, sin protección de ellas;
- separación de 6 m entre juntas transversales y protección de ellas con bandas de lámina bituminosa prefabricada de 10 cm de ancho;
- separación de 6 m entre juntas transversales y extensión de

una capa de arena - betún entre el hormigón compactado y la capa intermedia;

- separación de 6 m entre juntas transversales y ponteados de ellas previamente a la extensión de la capa intermedia.

Después de haber soportado cinco inviernos y un tráfico que supera en la actualidad los 3 000 vehículos pesados diarios en cada calzada, el comportamiento del tramo puede considerarse como excelente, siendo hasta el momento el que mejores resultados ha proporcionado. Con la excepción de la parte con arena - betún, las fisuras reflejadas son del orden del 5%, como puede verse en la *Tabla 4*; y, lo que es más importante, dichas fisuras no experimentan deterioros al paso de los camiones, como ha podido comprobarse en algunas de las que llevan varios años reflejadas.

Puede ser interesante comparar la evolución de los tramos de Villaverde y Alcalá, dado que se trata de dos obras con características muy similares, como puede verse en la *Tabla 5*, sometidas ambas a tráfico muy pesado y relativamente próximas, es decir, con unas condiciones climáticas también muy parecidas. Como diferencia fundamental entre ambas hay que destacar

la separación entre juntas: 15 m en Villaverde, y entre 2,5 y 6 m en Alcalá. En la primera de dichas obras, después del segundo invierno, se había reflejado un 67% de las juntas; mientras que en Alcalá - Meco, dicha proporción era únicamente del 4% al cabo del tercer invierno; es decir, después de haber soportado un tráfico acumulado similar al de Villaverde después de dos inviernos.

2.6.- La variante de Irurzun en la autovía Vitoria - Pamplona

En 1992 se llevó a cabo la construcción de la variante de Irurzun, que forma parte de la autovía que une Pamplona con Vitoria y San Sebastián. Dicha variante incluye el enlace de Irurzun, en el que se bifurcan los tramos Pamplona - Vitoria y Pamplona - San Sebastián. La longitud de la obra es de 9,2 km de calzada de dos carriles. En el proyecto de construcción se consideró que el tráfico procedente de Pamplona, con una IMD prevista para 1993 de 8 000 vehículos/día y un 19% de vehículos pesados, se distribuiría en un 60% hacia Vitoria y en un 40% hacia San Sebastián. El firme se proyectó en consecuencia para un tráfico T1, adoptándose la siguiente sección estructural:

- 20 cm de suelocemento;
- 22 cm de hormigón compactado;
- 8 cm de mezcla bituminosa D-12 en capa intermedia (con un 5% de betún);
- 4 cm de mezcla drenante PA-10 en capa de rodadura (con betún modificado con elastómeros).

Se ha construido, asimismo, un tramo de ensayo con 2 cm de arena - betún y 6 cm de mezcla bituminosa convencional en capa de rodadura.

En el hormigón compactado se emplearon áridos calizos. Para controlar la fisuración se dispusieron juntas en fresco, espaciadas entre 2,5 y 3 m. Para su realización se utilizó por primera vez en España el equipo CRAFT, del que ya se poseía una amplia experiencia en Francia, país en el que ha sido desarrollado. Como es sabido, dicho equipo consta esencialmente de un dispositivo de prefisuración constituido por una doble cuchilla, la cual

TABLA 5
COMPARACIÓN ENTRE LOS TRAMOS DE VILLAVERDE - SESEÑA Y ALCALÁ - MECO

Tramo Tipo de obra	Villaverde Ensanche	Alcalá Ensanche
IMD pesados	4 800	2 900
Mezcla bituminosa (cm)	15	12
Hormigón compactado (cm)	25	25
Suelocemento (cm)	20	20
Distancia entre juntas (m)	15	2,5 - 3,5 - 6
Geomalla sobre juntas	Sí	No
Fisuras 2º invierno	2 700	34
% Juntas reflejadas 2º invierno	67	3
Fisuras 3º invierno	4 600	44
% Juntas reflejadas 3º invierno	115*	4

* Todas las juntas reflejadas, más fisuras intermedias.

se desplaza con ayuda de un brazo manipulador instalado en la parte frontal de un tractor. En este último se montan también como equipos complementarios un depósito de emulsión, un dispositivo hidráulico, un compresor y un grupo electrógeno. El equipo CRAFT crea una serie de juntas transversales en la capa de material fresco, con una profundidad que alcanza la práctica totalidad de su espesor. Simultáneamente proyecta un chorro de emulsión en las paredes de los surcos así formados, cerrándose posteriormente la junta en el proceso de compactación. La fase acuosa de la emulsión crea una zona de menor resistencia, favoreciendo por tanto la localización de las fisuras; mientras que la fase bituminosa crea una protección en las paredes de estas últimas frente a la abrasión. Puede mencionarse al respecto que en los testigos extraídos de algunas juntas se obtuvieron resistencias del orden de 1,8 MPa a tracción indirecta, frente a los 4,1 MPa de los testigos sin juntas.

Además de las juntas transversales en fresco, se serró una junta longitudinal en el centro de la capa de hormigón compactado.

Transcurridos ya tres inviernos desde la apertura al tráfico de la variante, ésta presenta un magnífico aspecto, sin que hasta el momento haya aparecido ninguna fisura en su superficie.

2.7.- Otros tramos de autovía con hormigón compactado

Los excelentes resultados obtenidos en los tramos con hormigón compactado prefisurado a distancias cortas han conducido a que, a partir de 1992, se haya seguido el mismo sistema en todas las obras construidas con dicho material, las cuales han sido los siguientes:

- La autovía Jaén - Torredonjimeno, en la N-321. Consta de tres tramos; el primero de los cuales, con una longitud de 10 km de doble calzada, se abrió al tráfico en 1992. Se empleó la misma sección estructural de firme que en la autovía Sevilla - Granada, es decir, 20 cm de suelocemento, 22 cm de hormigón compactado y 8 cm de mezcla bituminosa. Se formaron juntas en fresco cada 4 m, utilizando una placa vibrante con una cuchilla triangular soldada. Antes de su compactación, en los bordes de cada junta se aplicó con pistola una emulsión asfáltica. Un firme similar se adoptó en la variante de Jaén, en la misma carretera, con una longitud de 3,2 km de doble calzada, y que fue abierta al tráfico en junio de 1995. En esta obra, además de las juntas transversales cada 4 m, se dispuso una junta longitudinal, ejecutada igualmente en fresco. Finalmente, en no-



Figura 7. Variante de Torredonjimeno (hormigón compactado): creación de junta longitudinal y de juntas transversales en fresco con placas vibrantes

viembre del mismo año se llevó a cabo la puesta en obra del hormigón compactado del último tramo, con el mismo firme y esquema de juntas (fig. 7) que el anterior y una longitud de 8 km.

- El tramo Huarte Arakil - Lacunza, en la autovía Pamplona - Vitoria. Con una longitud de 7,5 km, tiene un firme compuesto por 20 cm de suelocemento, 22 cm de hormigón compactado, 6 cm de mezcla bituminosa S-20 en capa intermedia y 4 cm de mezcla drenante en capa de rodadura; es decir, el mismo que el de la variante de Irurzun. El hormigón compactado se prefisuró con placa vibrante provista de cuchilla. Dicho tramo se abrió al tráfico en 1993.

El comportamiento de todas estas obras ha sido también muy correcto, sin que se haya producido reflexión de las juntas transversales. Únicamente cabe mencionar la aparición de algunas fisuras longitudinales en la primera parte del tramo Jaen - Torredonjimeno originadas, muy probablemente, por la ausencia de junta longitudinal en el hormigón compactado.

3.- Experiencias de prefisuración en tramos de hormigón magro compactado

El hormigón magro compactado, entendiendo como tal un material con un contenido de cemento (7 - 8%) in-

termedio entre los de las gravasce- mento y los hormigones compacta- dos, solamente ha sido utilizado has- ta el momento en una obra española: la variante de Medinaceli de la auto- vía Madrid - Zaragoza. Dicha variante corresponde a los, aproximadamente, 9 km en los que la citada autovía dis- corre por la primera parte del valle del río Jalón.

Se trata de una zona con terrenos muy inestables constituidos por fan- gos arcillosos blandos, con potencias que llegan hasta los 40 m. En conse- cuencia, en la ejecución de los terra- plenes era necesario lograr que los

asientos que tuviese que soportar el firme, una vez construido, fuesen muy reducidos. Para ello, se realizaron distintos tratamientos (p.ej., cimentaciones con pilotes de grava), a fin de acelerarlos y de procurar, por otra parte, que fuesen lo más uniformes posibles.

No obstante, ante el temor de que posibles asientos diferenciales poste- riores pudiesen provocar la ruina del firme, se procedió a buscar para éste una solución con una rigidez sufi- ciente para disminuir al mínimo las tensiones transmitidas a la explanada y que, al mismo tiempo, pudiese acom- odarse a los movimientos de la mis- ma. Tras analizar distintas alternati- vas, se adoptó finalmente la siguiente sección estructural:

- 15 cm de suelocemento;
- 25 cm de hormigón compacta- do, con junta longitudinal a los 4,5 m y juntas transversales ca- da 3,5 m, dispuestas estas últi- mas con una inclinación 1:6;
- 10 cm de mezcla bituminosa en dos capas de 5 cm.

Las juntas transversales se reali- zaron en fresco, empleando una pla- ca vibrante con un útil de corte solda- do en su parte inferior. Este último estaba constituido por una doble cu- chilla, a través de la cual se realizaba una inyección de emulsión. La junta longitudinal se formaba también en fresco, mediante una cuchilla incor- porada a la extendidora del hormigón magro (fig. 8a y b).



Figura 8a. Variante de Medinaceli (hormigón magro compactado): creación de juntas transversales con placa vibrante, provista de dispositivo de inyección de emulsión, y de junta longitudinal mediante cuchilla incorporada a la extendidora

Hay que indicar que, por necesidades de apertura al tráfico de la variante, la puesta en obra del hormigón magro y de las capas bituminosas hubo de realizarse durante los últimos meses de 1991, en los que se registraron frecuentemente temperaturas muy bajas, acompañadas en algunos casos de lluvias. Ello ha dado lugar a posibles pérdidas de adhesividad del ligante, presentando en algunos tramos descarnaduras importantes en las rodadas de los vehículos pesados. Estas degradaciones desaparecen frecuentemente al llegar a una junta de final de día, pasando a una mezcla bituminosa extendida probablemente en condiciones más favorables. En las zonas con este tipo de deterioros se ha producido una importante reflexión de juntas, tanto transversalmente como en sentido longitudinal. No es infrecuente que aparezcan grupos de fisuras transversales con una separación de 3,5 m, lo que indica que todas las juntas se han abierto, pero que la escasa flexibilidad de la mezcla no ha permitido que ésta soporte sin fisurarse incluso los reducidos movimientos de estas últimas. Por el contrario, y prescindiendo de una serie de blandones localizados, en las zonas con la mezcla bituminosa las fisuras se han reflejado en general con una cadencia del orden de 10 a 20 m; es decir, similar a las registradas en la autovía Sevilla - Granada; y de forma análoga a lo que sucede en esta última, tampoco evolucionan de momento con el paso del tráfico. Todos



Figura 9. N - I, Salvatierra (gravacemento): detalle de creación de junta en fresco con equipo CRAFT

estos datos parecen confirmar de nuevo la hipótesis de que, durante un período inicial, en una longitud del pavimento que depende de una serie de factores (rozamiento con la subbase, variaciones de temperatura, evolución de resistencias, etc.) solamente funciona como tal una de las juntas, lo que provoca la fisuración de la capa superior de mezcla bituminosa. Posteriormente, acaban abriéndose todas las juntas, lo que da lugar a una reducción de sus movimientos, sobre todo en sentido vertical, gracias a lo cual no se produce la degradación de las juntas ya reflejadas.

4.-Experiencias de prefisuración en tramos con gravacemento

Como ya se ha mencionado en la introducción, hasta el momento la experiencia española en prefisuración de bases de gravacemento se ha limitado a una corta realización en una de las calzadas de la autovía N-I, en el tramo entre Salvatierra y límite con Navarra, dependiente de la Diputación Foral de Álava.

Está previsto que dicho tramo, con una longitud de 11 km, soporte inicialmente unos 15 000 vehículos diarios, con un porcentaje de vehículos pesados superior al 38%. La explanada es de categoría E3, sobre la que se ha dispuesto un firme constituido por las siguientes capas:

- 20 cm, como mínimo, de zahorra artificial estabilizada en planta con cemento;
- 23 cm de base de gravacemento;
- 9 cm de mezcla bituminosa en caliente, tipo G-25, en capa intermedia;
- 6 cm de mezcla bituminosa en caliente, tipo S-20, en capa de rodadura.

Dado el espesor de mezcla sobre la gravacemento, ésta se ha dejado fisurar espontáneamente. No obstante, en octubre de 1995, en una longitud del orden de 300 m se realizaron juntas en fresco, separadas 3 m, con ayuda de un equipo CRAFT similar al empleado en la variante de Irurzun (fig. 9, 10 y 11).



Figura 8b. Variante de Medinaceli: detalle de formación de la junta longitudinal



Figura 10. N - I, Salvatierra: equipo CRAFT desplazándose para formar una nueva junta



Figura 11. N - I, Salvatierra: juntas transversales creadas en fresco

Para forzar la apertura de las juntas, una parte de ellas se sometió al efecto de un rodillo vibrante pesado al día siguiente de su ejecución (fig. 12). Todavía no han podido extraerse conclusiones de esta prueba. Mucho más concluyentes han sido las roturas de una serie de testigos (fig. 13), que han mostrado que, al igual que en Irurzun, las juntas creadas mediante este sistema suponen una notable debilitación de la capa de gravacemento, con una disminución de las resistencias a tracción indirecta del orden del 50% (6 MPa a 28 días en testigos con juntas, frente a 12 MPa en los testigos sin juntas). Al respecto, hay que mencionar que en otros ensayos similares realizados en testigos extraídos del hormigón compactado del último tramo de la autovía Jaén - Torredonjimeno, dicha relación de resistencias estuvo comprendida entre el 60 y el 75%. Es conveniente recordar que en esta autovía las juntas en fresco se crearon con una cuchilla soldada a una placa vibrante, con una profundidad que alcanzaba únicamente un tercio del espesor total de la capa. Por otra parte, la emulsión que se vertía en el surco formado en el material fresco tampoco podía penetrar más allá de dicha profundidad.

5.- Experiencias de prefisuración en tramos reciclados con cemento

La experiencia española en el reciclado con cemento de firmes existentes, aunque escasa en cuanto al número de realizaciones, sí puede considerarse importante atendiendo a la longitud y características de las

obras en que se ha aplicado dicha técnica, y que son las siguientes:

- el tramo Huelva - Cartaya de la N-431, con una longitud reciclada de 13 km;
- el tramo Villabrágima - Villagarcía de Campos de la C-519, en la provincia de Valladolid, con 8 km reciclados;
- el tramo de la N-630 entre la ciudad de Cáceres y el límite con la provincia de Salamanca, en el que se trataron con cemento cerca de 30 km.

El reciclado del tramo Huelva - Cartaya se llevó a cabo entre los meses de diciembre de 1991 y marzo de 1992. El firme existente se escarificó en una profundidad de 30 cm por medio de un equipo de gran potencia y se mezcló con un 4,5% de cemento V-35 y un 6% de agua. Posteriormente, se extendió una capa de rodadura de mezcla bituminosa de 5 cm de espesor. Se pretendía con ello obtener un material con unas características resistentes similares a las de un suelocemento, es decir, 3,8 MPa en compresión a 90 días. Un material de este tipo suele presentar una fisuración espontánea a distancias cortas. Sin embargo, las heterogeneidades del firme existente han dado lugar a unas dispersiones importantes en las resistencias in situ, que con frecuencia han sido bastante más elevadas, llegando a superar algunos testigos los 11 MPa en compresión. No es de extrañar, por ello, que aunque se trate de una zona con variaciones climáticas suaves, en diciembre de 1994, es decir, unos dos años y medio después de la apertura al tráfico de la obra, se empezaron a detectar unas fisuras transversales muy finas, distanciadas entre 12 y 14 m. En ju-

nio de 1995, dichas fisuras habían aumentado su ancho hasta 0,4 - 0,6 mm, así como en cantidad, variando su separación entre 6 y 7 m.

Este hecho indica que en los tramos reciclados, por la heterogeneidad de los materiales existentes, pueden existir riesgos de que aparezcan zonas con una resistencia excesiva. En estos casos, es conveniente controlar su fisuración mediante la creación de juntas en fresco a distancias cortas.

Siguiendo esta idea, se han realizado algunas experiencias de prefisuración en el reciclado con cemento de la N-630. Su ejecución se inició en marzo de 1995, habiéndose completado en julio del mismo año. El firme existente se escarificó en una profundidad de 25 ó 30 cm, según los tramos, mezclándose a continuación con un 5% de cemento. El proceso se realizaba por semianchos. Finalizada la compactación, se extendía el riego de curado con emulsión y el árido de protección. Una vez que se tenía una longitud suficiente reciclada, se cambiaba de semicalzada, abriéndose al tráfico la adyacente con un desfase de unas 4 horas desde la ejecución del último fresado. Se tiene previsto disponer sobre el material reciclado un total de 10 cm de mezcla bituminosa en caliente, si bien por el momento y debido a la programación de los trabajos, solamente se ha extendido una capa de regularización con un espesor medio de 3,5 cm.

En dicha obra se pensó crear juntas en fresco en una parte importante de su longitud, utilizando una placa vibrante con una cuchilla soldada (fig. 14). No obstante, la precompactación proporcionada por los propios equipos de reciclado hacía la opera-

ción muy laboriosa, interfiriendo en el resto de las operaciones. Por ello, hubo que limitarse a la construcción de dos tramos de ensayo en el mes de julio, cada uno de ellos con una longitud del orden de 100 m, en los que las juntas se dispusieron con separaciones de 2,5 y 3,5 m, respectivamente.

Para tratar de asegurar la apertura de todas las juntas, en uno de los tramos se procedió a pasar sobre ellas, una vez transcurridas 24 horas desde la ejecución del reciclado, el mismo rodillo vibrante pesado utilizado en la compactación del material. Visualmente se pudo apreciar que las juntas se marcaban en superficie, comprobándose posteriormente mediante extracción de testigos a los dos meses que la abertura abarcaba toda la profundidad del material reciclado. Hay que mencionar, no obstante, que también se abrieron todas las juntas del tramo en el que no se aplicó posteriormente el rodillo. Ello puede atribuirse, muy probablemente, al paso del tráfico sobre el material a las pocas horas de haberse efectuado el reciclado. Dicho tráfico es en la actualidad del orden de 600 vehículos pesados por sentido y día.

A la vista de estas experiencias, resulta recomendable la práctica de la prefisuración a distancias cortas en los firmes reciclados con cemento. No parece necesario, sin embargo, tratar de asegurar la apertura de las juntas en el caso de que el firme, como es usual, se abra inmediatamente al tráfico sin extender la capa de rodadura de aglomerado.

En el tramo de la provincia de Valladolid se recicló un espesor de 33 cm, los cuales se recubrieron con 5 cm de mezcla bituminosa. Una parte de él se prefisuró con el equipo francés Olivia, que inserta una banda de plástico en el surco abierto en el material fresco. Las juntas en fresco se dispusieron con separaciones de 3 m. La obra se realizó en mayo de 1994. En noviembre de 1995 se pudo constatar que se había reflejado una proporción importante de fisuras, tanto las ejecutadas en fresco a distancias de 3 m como las originadas por el agrietamiento espontáneo del material, las cuales se presentaban con separaciones de 4 a 5 m. Esta fisuración puede atribuirse al reducido espesor de mezcla bituminosa y a las fuertes oscilaciones de temperatura de la zona.



Figura 12. N - I, Salvatierra: paso de rodillos sobre la gravacemento endurecida para forzar la apertura de las juntas creadas en fresco

4.- Resumen y conclusiones

Cuando se analiza el comportamiento de los distintos tramos contruidos con hormigón compactado en los que se ha utilizado la técnica de la prefisuración, se observa la dificultad de extraer conclusiones definitivas, dado el gran número de diferencias existentes entre ellos: tráfico, sección transversal, distancia entre juntas, medidas especiales antifisuras, etc. Sin embargo, sí se ha podido constatar que la distancia entre juntas y el espesor total de las ca-

pas de aglomerado utilizadas son dos factores que presentan una gran influencia en el comportamiento de este tipo de firmes.

En los tramos con juntas de contracción a 10 ó 15 m, las fisuras se reflejaron en la superficie del firme con gran rapidez, antes de que hubiesen transcurridos dos años desde su apertura al tráfico. En la actualidad todas las juntas se han reflejado, así como un considerable número de fisuras intermedias. En ambos casos, es necesario destacar la existencia de un tráfico pesado y unas grandes variaciones de tempe-



Figura 13. N - I, Salvatierra: testigos extraídos de una junta (con mancha de emulsión) y de una zona entre juntas, después de haber sido ensayados a tracción indirecta

“**T**odos estos resultados, así como la experiencia internacional, indican que la prefisuración en fresco a distancias cortas (2,5 - 3,5 m) es una medida muy recomendable.”

ratura diarias; es decir, entre el día y la noche, así como estacionales; es decir, entre el invierno y el verano. Además, en dichos tramos se puede constatar una deflexión diferencial en las juntas (lo que indica una ineficaz transmisión de cargas) bajo el paso de vehículos pesados. Estos factores, unidos al hecho de que la geomalla interpuesta entre las capas de aglomerado ha impedido, en la mayoría de los casos, la adecuada adherencia entre ellas, han conducido a una amplia ramificación y a un gran deterioro de las fisuras reflejadas.

Al contrario que los anteriores, los tramos con juntas transversales próximas —espaciadas 2,5 y 3,5 m—, sin ningún tipo de tratamiento antirreflexión de fisuras, han dado hasta el momento un resultado excelente. La única excepción la constituyen algunas zonas de la variante de Medinaceli, en la que, como ya se ha mencionado, la puesta en obra se realizó en unas circunstancias climáticas muy adversas, sobre todo para la mezcla bituminosa.

En aquellos casos en que las juntas están a una distancia comprendida entre 6 y 7 metros, se ha producido en general la reflexión de una de ellas cada dos o tres. No obstante, el tráfico pesado no produce movimientos en las losas, ni se aprecian hasta el momento degradaciones en las mismas, aun en el caso de no estar protegidas mediante un pondeado.

A las ventajas que la creación controlada de juntas a distancias cortas aporta desde el punto de vista de su reflexión habría que añadir la muy probable eliminación de los problemas de pandeo que se han dado



Figura 14. N - 630, Cáceres - Salamanca: prefisuración de firme reciclado con cemento

en algunas obras de la zona de Castilla - León, en capas de gravacemento o de hormigón compactado sin juntas ejecutadas en épocas frías. En las largas losas que se forman así, se han observado posteriormente levantamientos de algunas de las juntas de fin de jornada en las que no se había asegurado su verticalidad, al producirse una elevación importante de temperatura como consecuencia, por ejemplo, de una fuerte ola de calor.

Todos estos resultados, así como la experiencia internacional, indican que la prefisuración en fresco a distancias cortas (2,5 - 3,5 m) es una medida muy recomendable, que, por su facilidad de realización, coste reducido y las ventajas que proporciona, debería ser aplicada en todas las futuras obras con capas de hormigón compactado, hormigón magro compactado o gravacemento y tráfico T0 ó T1. Mediante su aplicación es posible eliminar casi totalmente el problema de la reflexión de fisuras y de su deterioro, que han dado lugar en muchas ocasiones a un rechazo de estas técnicas.

Es conveniente recordar que, con una medida frecuentemente adoptada, como es la de la imponer un límite superior a la resistencia de las gravacemento, se busca en definitiva conseguir un objetivo similar: que en el proceso espontáneo de formación de las fisuras éstas se originen con separaciones reducidas. La prefisuración permite controlar dicho

proceso de una forma más racional, sin sacrificar las propiedades mecánicas del material, y minimizando los problemas de aparición de zonas excesivamente débiles, por heterogeneidades en la fabricación o en la puesta en obra.

En lo que se refiere al método de creación de las juntas en fresco, tanto la cuchilla soldada a una placa vibrante como el equipo CRAFT se han mostrado eficaces, si bien este último presenta una mayor seguridad y es de empleo prácticamente obligado cuando se utilizan equipos de extendido proporcionando una cierta precompactación.

Parece también de interés conseguir que todas las juntas se abran por igual, a fin de evitar la reflexión de las que se abren inicialmente, lo cual suele producirse con separaciones entre 10 y 20 m. Por ello, sería deseable continuar experimentando con sistemas ya utilizados en otros países, como el ya mencionado del paso de un rodillo vibrante pesado o la aplicación de una guillotina del tipo de las empleadas para fracturar pavimentos de hormigón, una vez transcurridas entre 24 y 48 horas desde la puesta en obra del material. Como medida complementaria podría tratar de aumentarse el rozamiento entre la base tratada con cemento y la subbase de suelocemento, efectuando un barrido enérgico de esta última inmediatamente antes del extendido de la capa superior.

La prefisuración es también una medida conveniente en los reciclados con cemento, sobre todo si el firme existente presenta grandes heterogeneidades. En este tipo de obras, el paso a edades tempranas del tráfico sobre el material reciclado, protegido únicamente con el riego de curado, parece garantizar la apertura de las juntas.

Bibliografía

● **Ponencias de las IV Jornadas sobre Pavimentos de Hormigón**, Oviedo, septiembre - octubre de 1993. Organizadas por IECA y ATC:

- PINILLA, J.: "Autovía variante de Iruzun".

- ALBEROLA, R.: "Autovía Trijueque - Zaragoza. Autovía variante de Medinaceli".

- SÁNCHEZ, B.: "La fisuración en los firmes con gravacemento y hormigón compactado. Casos reales".

- LÓPEZ PERONA, R. Y ORTIZ, F.: "Hormigón compactado en la autovía Sevilla - Granada".

- SOLÍS, L. A.: "Refuerzo de hormigón seco compactado de la carretera CL-803, tramo Sanchidrián - San Pedro del Arroyo".

● **Ponencias de las Jornadas sobre Reciclado con Cemento de Firmes**, Cáceres, junio de 1995. Organizadas por IECA y la Universidad Politécnica de Extremadura:

- PEÑA, J.: "Comportamiento del tramo Huelva - Cartaya de la N-431".

- BLANCO, J. M.: "Reciclado del firme de la N-630. Proyecto y características de la obra".

- NEVADO, J.: "Reciclado del firme de la N-630. Ejecución y control de las obras".

● **Ponencias del II Congreso Nacional de Firmes**, Valladolid, mayo de 1994. Organizado por la Junta de Castilla y León:

- SOLÍS, L. A.: "Estudio de rehabilitación del firme de un tramo de la carretera comarcal C-519 entre Villabrágima y Villagarcía de Campos".

- FERNÁNDEZ CUENCA, J. A.: "Tecnología del reciclado con ligantes hidráulicos".

- JOFRÉ, C. Y VAQUERO, J.: "Prefisuración de capas tratadas con cemento". Carreteras, núm. 77, mayo - junio 1995. ■

Carlos Jofré Ibáñez. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).