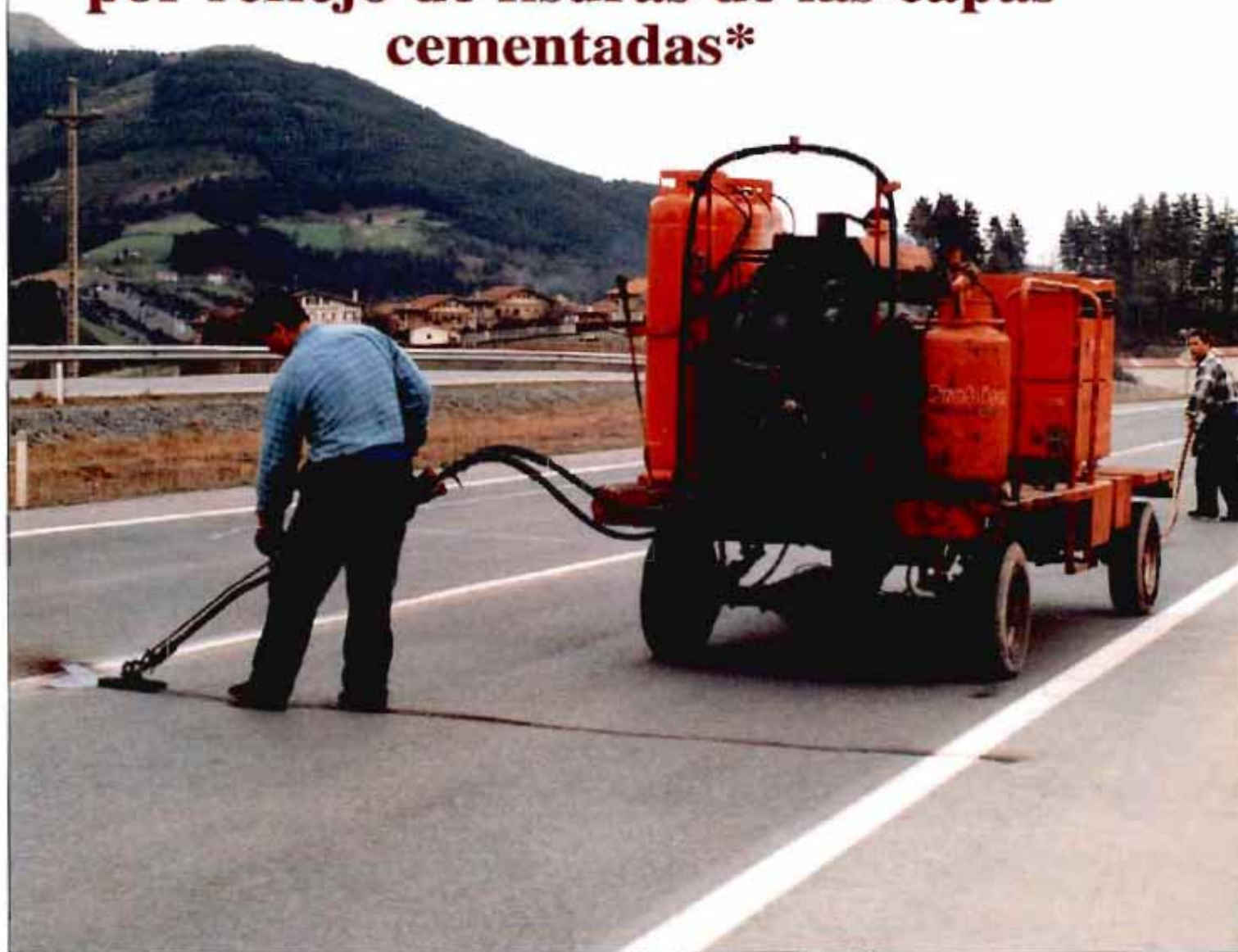


Conservación de carreteras fisuradas por reflejo de fisuras de las capas cementadas*



Equipo de sellado de fisuras por puenteo, realizando el trabajo en un firme semirrígido. Cortesía de Autopistas de Navarra (AUDENASA).

1. - ANTECEDENTES ESPAÑOLES, DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1. - Historia

La utilización de bases cementadas, fundamentalmente de grava-cemento, tuvo

su origen en España en los años 60, siguiendo una tendencia de origen francés.

Este tipo de firme proporciona una capacidad portante parecida a la de los firmes rígidos, más una rodadura confortable conseguida gracias a la capa superior de mezcla asfáltica; y todo ello con un costo no demasiado elevado.

El primer tramo de carreteras de este tipo que se hizo en España fue el tramo Las Rozas-Las Matas en los años 62-63. Algo más tarde, se realizó el denominado Nudo de Villalba (64-65) y, con posterioridad, la salida de Madrid por la Carretera de Extremadura (66-67).

Años más tarde, se fue ex-

* Artículo remitido para su publicación por el Comité Técnico de Gestión y Conservación de Carreteras de la Asociación Técnica de Carreteras, como fruto de un Grupo de Trabajo del Comité, en el que han colaborado D. Antonio Alonso Corroto, D. Rafael Álvarez Lorunca, D. José A. del Busto Suárez y D. José R. Guzmán Lucini. La redacción final ha sido llevada a cabo por D. Rafael Álvarez Lorunca y D. José R. Guzmán.

1.2.- Origen del problema

La fisuración de una carretera con base de grava-cemento puede deberse a múltiples causas.

Entre ellas, se pueden citar las siguientes:

- Asiento de los terraplenes de la carretera.
- Movimientos de las capas del firme producidos por el hinchamiento y deshinchamiento de capas inferiores sensibles a la variación de humedad.
- Fisuración superficial térmica.
- Fisuración por asientos debidos a rellenos localizados.

Pero, realmente, la fisuración que sistemáticamente se produce en una carretera con base cementada, de forma prácticamente irremediable, es la fisuración de la base por retracción y posterior movimiento, por cambios térmicos, de las "losas" de firme así formadas.

La base de grava-cemento, en el momento de su colocación, es un sólido visco-plástico en el que se están produciendo unas reacciones químicas de fraguado que elevan su temperatura.

En el momento en que la grava-cemento se hace un sólido rígido, su temperatura es más elevada que la ambiente. Al enfriarse, se producen tensiones de tracción que acaban rompiendo la base

Si el problema ya ha surgido, el mantenimiento de la carretera es costoso y pasa por unas actuaciones que retarden el proceso de reflejo de fisuras, primero, y, de su deterioro, después

continúa en "losas". La fisuración es sistemática, produciéndose fisuras a una distancia que suele oscilar entre los cuatro y los siete metros, en función de diversas variables como son la dosificación del cemento, la relación agua-cemento, la naturaleza de los áridos, condiciones ambientales, la humedad de la capa, etc.

Los inviernos fríos producirán, al contraer las losas, el reflejo de la fisura hasta que ésta aparezca en la superficie. A partir de este momento, el problema se agrava, ya que el agua puede penetrar, a través de la fisura, hasta las capas inferiores.

Esto produce un deterioro de los bordes de la junta. Con el tiempo, el deterioro continúa con



tendiendo el uso de este tipo de base, que adquirió gran difusión y popularidad. El buen resultado de los primeros firmes realizados colaboró a su extensión. En el año 1975, con mezclas ya más rígidas y frágiles, en la Norma 6.1 IC se establecían unos espesores de mezcla bituminosa (sobre la grava-cemento) variables entre 15 y 5 cm, según las características del tráfico y de la explanada.

Las carreteras así construidas sufrieron generalmente una fuerte fisuración sistemática, que ha obligado a continuos trabajos de mantenimiento y conservación.



Firme semirrígido mostrando fisuras selladas por puentes

la formación de unos pequeños huecos debajo de la capa cementada, la eclosión de los finos, el aumento del tamaño de los huecos, la formación de fisuras paralelas a la inicial al faltar el apoyo inferior, debido al aumento del tamaño del hueco, y el deterioro final de la zona.

La otra posible causa de reflexión de las fisuras, por efecto del tráfico, da lugar a discusión entre distintos autores sobre la entidad de su importancia. Se ha comprobado que carreteras nuevas, sin abrir al tráfico, se han fisurado con ocasión de un invierno especialmente duro. Por otra parte, también se han detectado este ti-

1.3.- Problemas de mantenimiento

Contra este problema, se debe luchar desde el proyecto de la carretera, bien drásticamente (no proyectando firmes con capa de grava-cemento o colocándola dentro de un firme inverso como se experimenta en Francia), bien incluyendo unos elementos que dificulten el proceso de reflejo de las fisuras, como pueden ser: aumentar el espesor de las capas de mezcla bituminosa que se sitúan sobre la grava-cemento, aumentar la elasticidad de estas capas, interponer elementos que retarden el proce-



Evolución de la fisuración y de la degradación de un firme semirrígido. Fase I.

po de fisuras en el carril derecho (de tráfico pesado) de autopistas en zona de clima suave, fisuras que no aparecen en el carril izquierdo de estas autopistas.

En lo que no existen dudas es en la colaboración del tráfico en el agravamiento de la fisuración, sobre todo en el caso en que se ha producido socavación bajo la grava-cemento.

Todos estos fenómenos se han intentado plasmar en unos modelos de comportamiento, fundamentalmente modelos de elementos finitos, como el programa CAPA de la Universidad Técnica de Delft, para intentar ahondar más en el comportamiento de este tipo de firmes.

so de reflejo de fisuras, prefisurar la capa de grava cemento, etc.

Si el problema ya ha surgido, el mantenimiento de la carretera es costoso y pasa por unas actuaciones que retarden el proceso de reflejo de fisuras, primero, y de su deterioro, después.

El sellado de las fisuras mediante puenteo, el refuerzo de la carretera con una capa antirreflejo de fisuras y una capa superior de mezcla asfáltica, drenante o no, y el refuerzo con una capa de mezcla asfáltica directamente encima del firme existente son actuaciones de conservación y de refuerzo que se suelen utilizar en el proceso de mantenimiento y gestión de este tipo de carreteras.

2.- AUSCULTACIÓN Y MEDIDAS DE LA EVOLUCIÓN

2.1.- Características especiales de los firmes semirrígidos

Los firmes semirrígidos tienen una serie de propiedades, en el campo de la capacidad estructural, que los hacen diferentes de los firmes flexibles y semiflexibles. Estas propiedades especiales son:

- **Capacidad estructural elevada**, en general, suministrada por la capa de grava-cemento.
- **El firme semirrígido es un firme discontinuo**.

Esta importante propiedad no es evidente en los primeros momentos de la vida del firme, ya que la fisuración que origina esta discontinuidad permanece oculta. Cuando la fisura se refleja en la superficie de la carretera, esta discontinuidad se hace manifiesta.

La capacidad portante de la zona fisurada es bastante menor que la correspondiente a la zona sin fisurar, por lo que esta zona fisurada se convierte en la parte débil del firme. Además, su evolución es la que marca el deterioro y la que indica la necesidad de refuerzo del firme.

2.2.- Auscultación tradicional

En este apartado y en el siguiente, nos referiremos únicamente a la auscultación de la capacidad portante de los firmes semirrígidos, que es el único tema en el que existe un elemento diferencial con relación a la auscultación de los firmes flexibles.

Tradicionalmente, la auscultación se realiza con deflectógrafo Lacroix 03 y, últimamente, con el curviámetro, midiendo la deflexión y el radio de curvatura cada 5 metros.

El resultado de este tipo de medidas es un deflectograma en el que aparecen una serie de deflexiones de valor bajo, con alguna deflexión de valor alto, situada de forma esporádica cuando el en-



Evolución de la fisuración y de la deformación de un firme semirrígido. Fase 2.

sayo coincide con zona de juntas. Alguna zona afectada por otro problema, como puede ser la baja capacidad de soporte de las capas inferiores, aparece también con valores de deflexiones altos en los deflectogramas.

Unos valores de deflexiones altos en el deflectograma pueden también verse originados por un deterioro muy importante de la grava-cemento. En estos casos lo más conveniente es reparar el firme sustituyendo la grava-cemento deteriorada por mezcla bituminosa.

En general, cuando se quiere repetir la auscultación de un firme semirrígido con un deflectógrafo tradicional, las zonas que tienen problemas con las capas inferiores del firme se reproducen bastante fielmente; pero los valores individuales de deflexiones altas obtenidas en las zonas fisuradas es más difícil que se repitan en la siguiente toma, simplemente por la dificultad de coincidencia.

Sin embargo, suprimiendo las deflexiones singulares y estudiando las deformadas aportadas por el deflectógrafo Lacroix, tanto en la rodada derecha como en la izquierda, se pueden instrumentar unos modelos de comportamiento que nos informan de los parámetros más significativos del firme semirrígido y valorar así su estado de degradación. Este pro-

cedimiento se está siguiendo desde hace bastantes años con éxito por una Concesionaria de autopistas.

2.3.- Auscultación dirigida al punto débil

2.3.1.- Generalidades

Dado que el elemento que produce el deterioro del firme es la fisura al evolucionar progresivamente en su degradación, últimamente se ha procedido a auscultar los firmes semirrígidos centrándose el estudio en estos puntos débiles de forma análoga a como se hace en las juntas de los firmes rígidos.

Los parámetros que indican el estado de la zona fisurada y, por tanto, del total del firme son:

- Transferencia de carga entre los bordes de la fisura.
- Existencia de huecos debajo de la fisura.
- Deflexión en la fisura.

En general, se elige auscultar una junta de cada cinco, con lo que se obtiene una idea global pero bastante precisa del estado del firme. Evidentemente, en las zonas donde no se haya reflejado la fisura ni se puede ni se debe hacer la auscultación.

Para realizar la auscultación que se indica, se utiliza el deflectómetro de impacto.

La rehabilitación de estas carreteras fisuradas, mediante la colocación de una capa de refuerzo directamente sobre el firme existente, ha demostrado ser bastante ineficaz

El aparato va provisto de un odómetro que permite identificar perfectamente cada fisura auscultada y repetir la auscultación en el futuro, en el mismo sitio con objeto de comprobar la evolución de los parámetros.

La sistemática de empleo se basa en la Normativa AASHTO "Guide for design of pavement structures" en su Apartado 3.5 "Non destructive testing deflection measurement".

2.3.2.- Deflexiones en las zonas de juntas

Para conocer la evaluación de la capacidad estructural, se realiza el cálculo de los módulos de



Evolución de la fisuración y de la degradación de un firme semirrígido. Fase 3.

elasticidad de las capas que componen el firme.

Al realizarse los ensayos en zonas centrales y en zonas de fisuras, se pueden comparar la diferencia de comportamiento entre una y otra.

2.3.3.- Transferencia de carga en juntas

En un firme continuo, la transferencia de carga entre un lado de una línea ficticia y el otro lado de dicha línea, sería del cien por cien. En cambio, entre dos partes de firme totalmente separadas, la transferencia sería cero. Esto supone un aumento de las tensiones en la losa al disminuir la transferencia.

El ensayo se realiza dos veces en cada junta, cargando cada vez a un lado de la fisura, ya que la transferencia de carga puede ser distinta si la carga está a un lado o a otro de la misma, pudiendo haber diferencias significativas.

2.3.4.- Detección de huecos

Para la detección de huecos, se utiliza el método de la AASH-TO basado en la proporcionalidad existente entre cargas y deflexiones en los firmes en buen estado.

2.3.5.- Flecha entre bordes de fisuras

Se ha comprobado que la diferencia de flecha entre los bordes de las fisuras, al estar un lado cargado y otro no, es muy importante.

Por encima de valores de 30 centésimas de milímetro rompen por movimiento vertical todos los tratamientos, por lo que es necesario reparar primero la fisura.

3.- REHABILITACIÓN DE FIRMES SEMIRRÍGIDOS FISURADOS

3.1.- Introducción

La rehabilitación de estas carreteras fisuradas, mediante la colocación de una capa de refuerzo directamente sobre el firme existente, ha demostrado ser bastante ineficaz, porque las fisuras se reflejan en la superficie del firme al cabo de unos pocos años.

Para evitar esto, es necesario interponer entre la superficie fisurada existente y la nueva, una capa destinada a retardar el reflejo de dichas fisuras. Esto se consigue porque dichas capas disminuyen las tensiones y las deformaciones que se producen en las cercanías de las fisuras existentes.

En definitiva, una capa de refuerzo está compuesta por las partes siguientes:

- Una capa de regularización que, en función del estado de la superficie del firme existente, puede existir o no, o a veces, puede sustituirse por el fresado de alguna zona muy concreta del pavimento.

Para la capa intermedia, que es realmente el tratamiento para retardar el reflejo de las fisuras, se utiliza una gran variedad de productos, de los cuales los principales son:

- **Membranas delgadas para absorber las tensiones.** Se las denomina generalmente SAMI lo que proviene de su denominación en inglés, *Stress Absorbing Membrane Interlayer*. Consisten en una capa de betún modificado con una dosificación alta, generalmente, la media es 2,5 kg/m², a la que se le añade un árido pequeño y uniforme.
- **Geotextiles.** Aunque los geotextiles pueden ser tejidos o



Evolución de la fisuración y de la degradación de un firme semirrígido. Fase 4.

- La capa intermedia destinada a retardar el reflejo de las fisuras, y que suele dividirse en el sistema que garantiza la unión del producto con el firme existente, y el producto en sí destinado a retardar el reflejo de la fisura.
- Una capa de mezcla bituminosa de refuerzo.

3.2.- Definición de las partes que componen un refuerzo

La capa de regularización suele tener 3 ó 4 cm de espesor, y se utiliza en carreteras con superficie irregular para conseguir un apoyo liso.

no tejidos, los normalmente utilizados en este tipo de trabajo son los no tejidos, que suelen dar unos resultados superiores a los primeros. En el fondo, un geotextil no tejido es un fieltro de plástico (polipropileno, polietileno o poliéster), con un espesor no superior a unos pocos milímetros, y que sirve como cuerpo para absorber y retener el betún modificado que se coloca sobre él.

- **Arena-betún.** Es una capa, generalmente de 2 cm, formada por un mortero de arena y betún modificado. El porcentaje de betún modifi-

cado es, generalmente, elevado y un valor del 10% no es inusual. Dicho porcentaje debe estudiarse mediante ensayo: llegando a un compromiso entre la flexibilidad de la capa, que crece con la proporción de betún hasta un cierto valor para luego disminuir, y la posibilidad de que en el refuerzo se formen roderas, posibilidad que crece análogamente con la proporción de betún de la capa de arena-betún.

- **Slurry-fibra.** Formada por dos capas de lechada bituminosa con una dotación de 6 a 7 kg/m² y un espesor total próximo a los 8 mm. El ligante es modificado y se le incorpora fibra sintética de 1,5 cm de longitud.
- **Geomallas.** Consiste en una malla regular de nervios, total o casi totalmente conectados, realizados en polipropileno, poliéster o fibra de vidrio.
- **Mallas de acero de refuerzo.** Generalmente, se trata de unos alambres de acero galvanizados conectados que, regularmente, se refuerzan transversalmente con unos filamentos de alambre de acero retorcidos.
- **Combinaciones de los productos anteriores.** A veces se utilizan dos productos de los anteriormente nombrados de forma conjunta, para que uno refuerce la acción del otro. Así, se utilizan conjuntamente el geotextil no tejido con una capa de arena-betún encima, o con una geomalla fijada sobre el geotextil no tejido.

El papel de la capa intermedia es diferente según los productos nombrados que se utilizan. Así, las geomallas y las mallas de acero de refuerzo actúan como elementos que absorben tensiones localizadas en las cercanías de las fisuras. La arena betún, las membranas SAMI y los geotextiles no tejidos, actúan como una capa elástica intermedia capaz de admitir los movimientos horizontales que se producen cerca de las



Evolución de la fisuración y de la degradación de un firme semirrígido. Fase 5.

fisuras. Además, estas últimas proporcionan una impermeabilidad adicional, aun cuando se acaben reflejando las fisuras en la superficie. A veces, las mallas de acero de refuerzo se embeben en un sellado con lechada bituminosa, y, entonces, también cumplen con el papel de ayudar a la impermeabilidad de la carretera.

Para conocer totalmente el tratamiento es necesario definir el método o material para fijar el producto elegido al firme existente. Existen diferentes posibilidades

que indicamos a continuación, cada una de ellas adecuada a uno o varios de los tratamientos.

Riego de adherencia.

Usado para fijar la capa de arena-betún y las geomallas al firme existente, y a la capa de refuerzo de mezcla bituminosa que se extiende posteriormente. Normalmente, se utiliza una emulsión, preferiblemente con elastómeros.

Fijación mediante clavos.

Se puede utilizar con las soluciones de geomallas y de mallas de acero de refuerzo; pero es muy



Extendido de un geotextil saturada como tratamiento antiirreflejo de fisuras.

lenta, por lo que suele combinarse con otras soluciones, utilizándola sólo en los puntos más importantes.

Capa intermedia.

En esta capa, se suelen utilizar también los elastómeros. Se usa con geotextiles con una triple finalidad. Por una parte, une el geotextil con la capa inferior y con la superior; por otra parte, impregna el geotextil formando la capa elástica que retarda el reflejo de la fisura; y, por último, sirve para impermeabilizar el firme.

Sellado con lechada bituminosa.

Esta capa está formada generalmente por cemento, arena y una emulsión de ligante con elastómeros. Se usa en la solución de mallas de acero de refuerzo y se coloca después de la malla.

Productos autoadhesivos.

Algunos de los productos pueden ser autoadhesivos y no necesitan un producto de fijación. Se debe cuidar su extensión ya que se debe realizar sobre una superficie seca ya que con la superficie húmeda pierde gran parte de su adhesividad. Algunas membranas SAMI y algunas geomallas pueden ser autoadhesivas.

Como última parte del refuerzo, está la capa de mezcla bituminosa que se coloca sobre el producto elegido para retardar el reflejo de las fisuras, que también juega un papel importante en el comportamiento del conjunto.

Como primer elemento está el espesor de la capa de refuerzo. Aun cuando parece evidente, que un aumento del espesor supone recorrer una mayor longitud por la fisura en su marcha hacia la superficie, recientes estudios indican que el aumento del espesor tiene poca influencia estructural en retardar la aparición de la fisura. Lo que sí es innegable, es que un espesor mayor supone una protección que reduce las variaciones de temperatura a nivel de la fisura, y, por tanto, reduce la amplitud del movimiento de apertura y cierre por cambio de temperatura.

Los áridos juegan un papel menor aunque interesan los que se adhieran bien al betún empleado y que tengan un bajo coeficiente de dilatación térmica.

El tipo de betún y su dosificación juegan un papel mucho más importante en el comportamiento de la capa. Se debe procurar utilizar la mayor proporción posible de betún y que éste tenga unas características elásticas. Así podrá soportar las deformaciones de apertura y cierre, especialmente

de conocer el tratamiento dado en casos en los que se había producido una reflexión de grietas de la base de grava-cemento en la superficie, obteniéndose once contestaciones (siete de Concesionarias de autopista, tres de Comunidades Autónomas y una de Demarcaciones de Carreteras



La capa anterior terminada.

a baja temperatura; será más resistente a la fatiga, y permitirá que algunas fisuras abiertas durante el invierno, se cierren en el verano. La formación de rodadas y los valores bajos que se alcanzan en el coeficiente de rozamiento, cuando se utiliza una proporción elevada de betún, son los puntos que hay que considerar cuando se proyecta este tipo de refuerzo.

Una solución normalmente utilizada es la de emplear betunes modificados, bien con SBS, fibras u otros productos aconsejados por la práctica habitual.

A continuación, se realiza un resumen de algunas de las actuaciones realizadas en España en este campo.

3.3.- Soluciones utilizadas en España

A mediados de 1995, el Subgrupo de Trabajo de Carreteras Fisuradas del Comité Técnico de Conservación y Gestión de Carreteras de la ATC, realizó una encuesta entre las distintas Administraciones de carreteras, con objeto

del Estado).

Los tratamientos contemplados en dichas contestaciones se pueden resumir como sigue:

A.- TRATAMIENTOS DE TODA LA CALZADA:

A.1.- Refuerzos sin ningún tipo de elemento intermedio.

A.1.1.- Sin tratamiento previo de las fisuras:

Es una de las soluciones más antiguas. Se extendió una capa de rodadura con betún modificado con polímeros, de 5 cm de espesor.

Se trata de una zona con temperaturas mínimas del orden de los -10°C.

No se encuentran diferencias, en cuanto a fisuración, con otras zonas no tratadas.

A.1.2.- Con tratamiento previo de las fisuras:

Se han presentado dos casos en los que, previamente a la extensión del refuerzo, se han sellado las fisuras con productos asfálticos, en longitudes considerables de calzada, y con una antigüedad del tratamiento entre cuatro y diez años.

En uno de los casos, con temperaturas mínimas de hasta -5°C,



Extendido de una membrana "sarni" como tratamiento antirreflejo de fisuras.

las fisuras han aparecido con una velocidad de 1 cm/año. En el otro, de clima más benigno, la velocidad ha sido mucho menor, habiendo zonas de longitud considerable en las que aún no han aparecido las grietas en la superficie al cabo de los 10 años de haber extendido la rodadura, con betún convencional.

A.2.- Reciclado previo al extendido del refuerzo.

Se han realizado pruebas con reciclado en frío (5 000 m) o en caliente (8 000 m) en 1994.

A.3.- Refuerzo con un elemento intermedio.

A.3.1.- Con mezcla discontinua en caliente como elemento intermedio:

Este elemento separador consiste en una capa de 1,5 cm, de mezcla discontinua con betún modificado.

En longitud apreciable, con excelentes resultados desde 1991.

Temperaturas mínimas de -10°C: la capa de rodadura, 4 cm de mezcla 5-12 con betún modificado.

A.3.2.- Con membranas bituminosas como elemento intermedio:

Se han realizado distintos tipos de membranas (riego con betún SBS, emulsión ECL-1 con látex y fibras sintéticas), con buenos resultados, aunque, en general, con poco tiempo de servicio (2 años).

Una solución que viene llevando a cabo una Concesionaria de autopista, con resultados aceptables desde 1990, es una membrana en frío con emulsiones modificadas con caucho y fibras, y, como capa de terminación, una lechada con emulsiones modificadas.

A.3.3.- Con geotextiles

La utilización más antigua que se ha registrado en la encuesta (entre los años 82 y 90) se ha realizado en enlaces, con un geotextil no tejido de propileno y poliéster, con resultados eficaces hasta

ahora.

Otras aplicaciones más recientes (años 93 y 94) también han tenido resultados satisfactorios.

A.3.4.- Con arena-betún

La encuesta ha recogido varios casos de utilización de esta solución. La más significativa sería la llevada a cabo en una autopista, con temperaturas invernales bastante bajas, a partir de 1990 y, hasta ahora, con resultados aceptables. Se ha utilizado una capa de 25 mm de espesor, con dotación de betún modificado en torno al 9%, recubierta con capa de 25 mm de microaglomerado, también con betún modificado.

Otro caso de utilización de la arena-betún, de la que no se especifican datos, más un refuerzo de 12 cm de mezcla bituminosa, ha dado lugar a la aparición de una fisuración localizada en las zonas de rodadura, al cabo de los cinco años.

A.3.5.- Sobre un firme de hormigón

Un caso que presenta diferencias de base es la aplicación de soluciones antifisuras en los recubrimientos de aglomerado sobre firmes de hormigón.

Así, para regularizar la rodadura de un firme de este tipo, cuyas losas se han estabilizado previamente mediante la inyección de una lechada de cemento bajo ellas, se ha utilizado la siguiente



Detalle de la gravillada.

solución:

- 2 cm de regularización asfáltica.
- 2 cm de arena betún, con 9,7% de betún modificado.
- 6 cm de rodadura, con betún modificado.

Esta solución, aplicada en el invierno y primavera de 1993, ha dado, hasta ahora, unos resultados excelentes.

B.- TRATAMIENTOS PARCIALES (SOLO EN GRIETAS)

Se han realizado diversos tra-

tema.

Esta simulación experimental estará dirigida a alguno de los objetivos siguientes:

- Estimar el comportamiento del sistema en la realidad.
- Verificar la concordancia entre su comportamiento, según el proyecto utilizado, y la realidad.
- Comparar distintos sistemas entre sí.

Bien entendido que la realidad conseguida en el laboratorio tiene muchas limitaciones, por lo que

pas.

Por otra parte, el tamaño de la muestra está siempre limitado, por lo que en algunos casos, las condiciones de carga no se corresponden con la situación real en la carretera, fundamentalmente en lo que a condiciones de borde se refiere.

4.2.2.- Aparato de ensayo

Fundamentalmente, el aparato para realizar el ensayo consta de un bastidor para colocar la muestra y de los dispositivos necesarios para reproducir las sollicitaciones a las que se va a someter a aquella, así como de los equipos de medición de los parámetros controlados en el ensayo.

Es de gran importancia, la base de apoyo de la muestra que en algunos casos está prefisurada para dar origen a la reflexión que se intenta reproducir.

Debido a la alta susceptibilidad térmica de los materiales bituminosos, de los que están constituidos normalmente los sistemas antirreflexión, y, por tanto, las muestras ensayadas, es muy importante controlar con gran precisión la temperatura a la que se realiza el ensayo. Por ello, una gran parte de estos ensayos se lleva a cabo a temperatura controlada en una cámara climática.

4.2.3.- Principales parámetros que se miden

En todos los ensayos, se controla el comienzo de la formación de la grieta en la parte inferior de la capa inmediatamente superior a la base fisurada y la progresión de dicha grieta, a través de la muestra, hasta llegar a la superficie de la misma, en función del tiempo de realización del ensayo, de la magnitud de las cargas o del número de ciclos de éstas a las que se somete la muestra.

El sistema de seguimiento de la formación y progresión de la fisura a través de la muestra puede ser muy diverso, variando desde la simple visualización hasta la medición de la disminución de un tren de ondas ultrasónicas al que es sometido la muestra, pasando por procedimientos, de medición



Vista del producto terminado.

bajos de sellado de fisuras, en general mediante puenteo, con resultados aceptables en general.

4.- ANÁLISIS PREVIO EN LABORATORIO DE LAS POSIBLES SOLUCIONES

4.1.- Objeto de los análisis en laboratorio

Una vez seleccionado un sistema antirreflexión de fisuras, normalmente estudiado mediante la aplicación de un modelo analítico, o elegido de acuerdo con la práctica, se procede con frecuencia a su estudio mediante ensayos de laboratorio que simulan el comportamiento del sis-

lo ideal sería completar estos ensayos con otros realizados a escala real en el campo.

4.2.- Características de los ensayos

En cualquier caso, los ensayos de laboratorio deben reproducir de la forma más exacta posible lo que va a ocurrir en la realidad, tanto en lo que concierne a la solución probada (muestras) como a las sollicitaciones a las que será sometida a lo largo de su vida de servicio (cargas).

4.2.1.- Muestras para los ensayos

Las muestras ensayadas deberán ser una simulación del firme (base fisurada y distintas capas sobre ella), tanto en los materiales como en la elaboración de las ca-



Extensión de una capa de arena-betún como tratamiento anti-reflejo de fisuras. Cortesía de Autopista Vasco-aragonesa.

eléctricos (rotura de una serie de hilos conductores trazados sobre el canto de la probeta con una pintura de plata).

4.2.4.- Esfuerzos considerados en el ensayo

En el fenómeno de reflexión

de fisuras intervienen fundamentalmente dos tipos de esfuerzos: los producidos por la carga de tráfico y los producidos por la variación de la temperatura.

Los ensayos contemplan un tipo u otro de carga con mayor o menor detalle; y, a veces, con-

Una solución que se viene llevando a cabo desde 1990 es una membrana en frío con emulsiones modificadas con caucho y fibras, y, como capa de terminación, una lechada con emulsiones modificadas.

templan ambos tipos.

4.3.- Diferentes procedimientos de ensayos

Se han puesto a punto numerosos ensayos para simular la reflexión de las fisuras.

Dada la limitación que supone un artículo como éste, no se pue-



Detalle del producto terminado. Cortesía de la Autopista Vasco-Aragonesa.

El problema más crítico de los ensayos con vigas aparece en los extremos de las muestras, ya que tienen que ser introducidas las fuerzas de reacción del resto de la carretera

den enumerar, ni siquiera dar ejemplos, los diversos ensayos puestos a punto por distintos técnicos y laboratorios; por lo que se procederá, a continuación, a describir los tipos principales.

Para poder tener una información individualizada de los ensayos, se pueden consultar las ponencias de las Conferencias del RILEM.

A efectos de realizar un resumen sistematizado de los ensayos, se les puede clasificar según el tipo de carga que se aplica a la muestra ensayada.

4.3.1.- Ensayos con carga de tráfico

Estudian el desarrollo de una grieta bajo condiciones de carga vertical. La presión de contacto y la frecuencia de carga (en su caso) deben corresponderse con las cargas de tráfico.

4.3.1.1.- Ensayos con viga

La muestra cortada en forma de viga, se coloca sobre una capa soporte elástica (generalmente, de goma, con un módulo de reacción conocido) y es sometida a repetidas cargas sobre su superficie, para simular cualquiera de las condiciones de carga.

El problema más crítico de este tipo de ensayo aparece en los extremos de las muestras, ya que tienen que ser introducidas las fuerzas de reacción del resto de la carretera.

4.3.1.2.- Ensayos con rueda móvil

Una losa o viga representativa



Equipo de laboratorio para la realización de ensayos comparativos de tratamientos antifisuras.



Detalle del sellado de fisuras por puenteo.

de la estructura del firme por ensayar es sometida a la acción de una rueda en movimiento. El ensayo permite el estudio de la reflexión de grietas en muestras de mayor tamaño que en el método de la viga, y, además, bajo unas condiciones de carga más representativas.

4.3.2.- Ensayos con esfuerzos producidos por las variaciones de temperatura

El efecto térmico puede dar lugar a unos grandes esfuerzos en las capas de base del firme, con apertura y cierre de juntas y grietas de dicha capa.

Dentro de este tipo de ensayos, se pueden distinguir dos:

4.3.2.1.- Retracciones de la capa de base, debidas a la variación de la temperatura

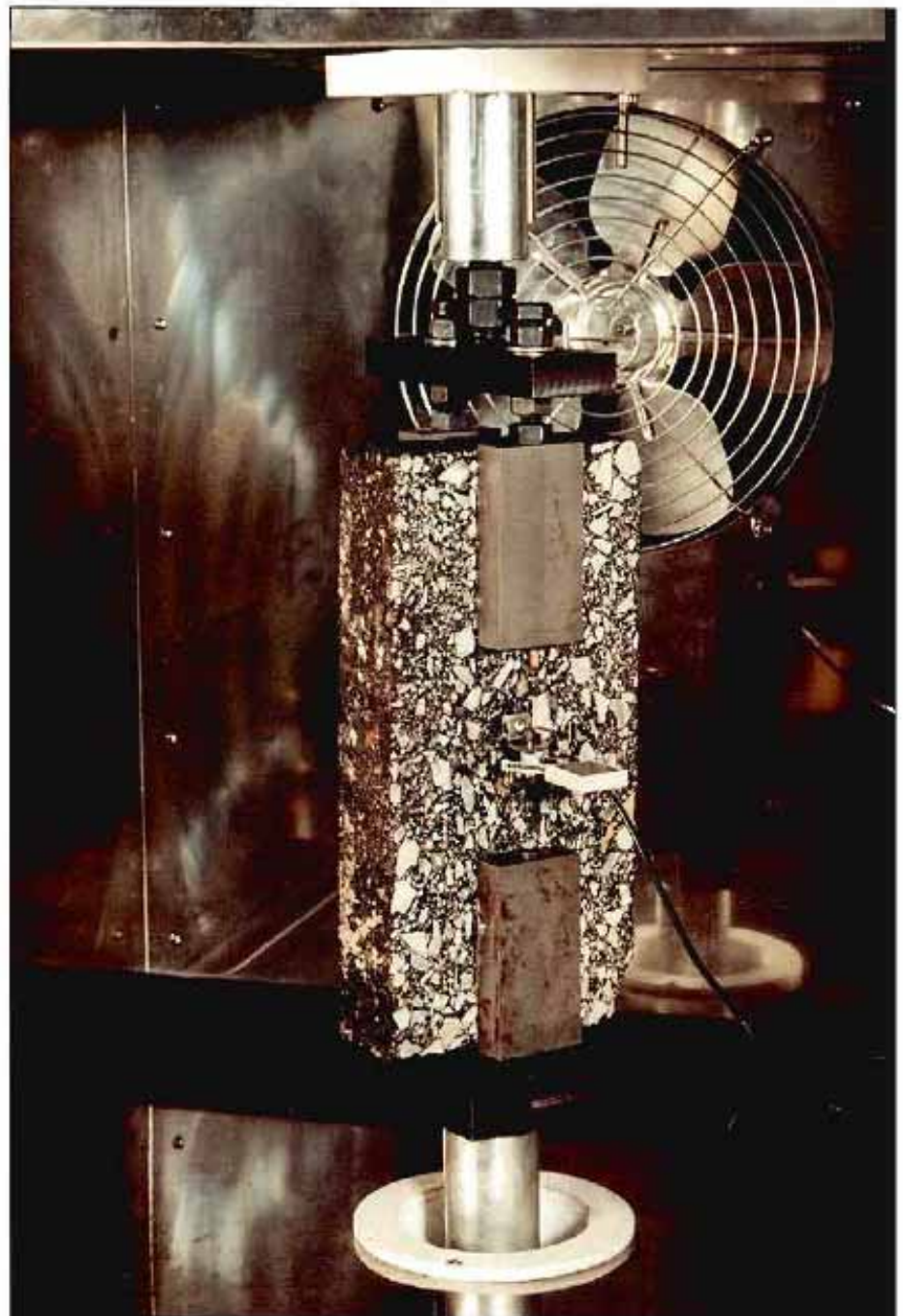
Se trata de simular los movimientos térmicos de apertura y cierre de una grieta en la capa de base de la muestra, que así se ve sometida alternativamente a cargas de tensión y compresión, que se concentran en las proximidades de la grieta. En algunos equipos, ésta es abierta de forma continua a velocidad constante. En otros, más precisos, se reproducen los movimientos reales de apertura y cierre de la grieta hasta la rotura.

Estos ensayos se realizan generalmente a bajas temperaturas, con las que el riesgo de agrietamiento es más alto (por debajo de -5°C en la mayor parte de los casos).

4.3.2.2.- Retracción térmica de la capa superior

Estos ensayos se dirigen a la simulación de grietas generadas en la capa superior, debidas a altas variaciones de la temperatura. Aunque este tipo de ensayo no es directamente representativo de la reflexión de las grietas de la capa de base, la evaluación de la resistencia de la capa superior a este tipo de agrietamiento es de suma importancia.

El ensayo se realiza sobre una muestra de tipo viga del material de la capa, que se mantiene a longitud constante sobre un bastidor rígido, mientras que la temperatura de ensayo se hace variar a velocidad constante.



Detalle de una probeta que simula un firme fisurado.

4.3.3.- Ensayos mediante procedimientos compuestos

Se trata de ensayos que utilizan una combinación de apertura hori-

zontal de la grieta con una carga vertical repetida, simulando los efectos del tráfico y de la retracción térmica en la capa de base. ■

El ensayo de retracción térmica de la capa superior se realiza sobre una muestra de tipo viga del material de la capa.

Suscríbase a la revista
"RUTAS"

la mejor revista para
técnicos y profesionales.
Boletín de suscripción
en pág. 77