

Ejemplos de Rotura de Firmes con Pavimentos Bituminosos



Examples of Road Surface Breaking with Bituminous Pavements

Francisco Javier Payán de Tejada González

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Ministerio de Fomento*

Félix Edmundo Pérez Jiménez

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Barcelona*

En este artículo se presentan algunas formas de rotura de firmes con pavimentos bituminosos que se han presentado en la práctica y que se han analizado mediante la realización de calicatas y testigos para conocer su desarrollo en profundidad. El objeto es presentar ejemplos de roturas de firmes reales que permitan profundizar en los mecanismos que las producen de forma que puedan servir para el desarrollo de sistemas de diseño más adaptados a la realidad. En las calicatas se puede observar la progresión de las fisuras a través de las capas del firme y el estado de cohesión y adhesividad del betún a los áridos de cada una de ellas, lo que proporciona una información valiosa para el estudio de los mecanismos de rotura.

This article presents some forms of road surface breaking with bituminous pavements which have arisen in practice and have been analyzed by means of soil pits and controls in order to know in depth their development. The objective is to present examples of real pavement breaking which allow a deeper understanding of the mechanisms that produce them with the prospect of creating design systems better adapted to reality. In relation to soil pits it is possible to see the progression of the cracks through the road surface layers and the state of cohesion and adhesiveness of the bitumen to the coat aggregates of each of them, which provides valuable information for the study of the breaking mechanisms.

1. Introducción

Tradicionalmente se han constatado tres formas de rotura de los firmes según su tipología. El proceso habitualmente considerado, que es el que se utiliza en su dimensionamiento, es el de la fatiga de los materiales que lo componen: mezclas, capas estabilizadas y sin estabilizar, y explanadas. Un segundo proceso de rotura es el de la formación de fisuras de arriba hacia abajo, menos controlado que el proceso de fatiga y que se debe a la conjunción de factores como el envejecimiento y los ciclos térmicos. Por último, es bien conocido el proceso de fisuración transversal de los pavimentos por reflexión de las grietas de retracción de las capas de base estabilizadas con cemento.

En el caso de mezclas de rodadura drenantes y discontinuas tipo b se produce también un deterioro particular por la pérdida de gravilla superficial de la mezcla debido al envejecimiento de los betunes.

Por último, deberíamos incorporar los procesos de rotura debidos al mal diseño de los materiales compuestos (mezclas bituminosas, capas estabilizadas, etc) o a la mala ejecución de las obras.

2. Objeto del estudio

En este estudio se van a presentar algunos casos de roturas del pavimento que se analizaron mediante la extracción de testigos o realización de calicatas. Los casos presentados no abarcan todas las posibilidades de rotura de los pavimentos y se circunscriben a unos tramos con unas características propias en cuanto a historia, composición, tráfico y clima.

El clima en nuestro caso es de tipo continental con grandes gradientes de temperatura, tanto anua-



Figura 1. Fuente: AEMET 1973-2019



Figura 2. Situación de las calicatas realizadas

les como diarios. Con temperaturas muy bajas en invierno que pueden bajar de -5°C y muy altas en verano que pueden superar los 30°C y oscilaciones térmicas diarias que pueden sobrepasar los 15°C . La lluvia anual es de tipo medio, sin superar los 600 mm, mientras que las nevadas son ocasionales y de poca entidad. En el gráfico 1 se presentan los datos estadísticos de temperatura en invierno para Valladolid.

Los firmes analizados son tanto de tipo semiflexible como semirrígido con diferentes espesores de mezcla bituminosa. Las capas de rodadura también varían pudiendo ser de tipo hormigón bituminoso, drenantes o discontinuas.

Los tráfico van desde el T42 hasta el T0, desde menos de 25 vehícu-

los pesados día por carril hasta más de 2000.

Por último, los tramos seleccionados se encuentran tanto en carreteras convencionales, como en autovías desdobladas de primera generación o autovías recientes de nueva construcción. Esto hace que, en los dos primeros casos, haya que tener cuidado respecto a la estructura del firme existente por la posibilidad de la existencia de ensanches, o de variantes localizadas debidas al acondicionamiento de curvas o del perfil longitudinal de la carretera.

En el mapa que se inserta a continuación se indican los puntos de la red de carreteras del Estado en Valladolid en los que se hicieron las calicatas.

RUTAS TÉCNICA



Figuras 3 y 4. Fisuración en rectángulos



Figuras 5 y 6.

3. Tramos con firme semiflexible

3.1. N-620a pk 169+645

Se ha elegido un tramo de la carretera N-620a, pppk 169+645, que presenta en superficie un patrón de fisuración en rectángulos, formado por fisuras longitudinales, no siempre coincidentes con las zonas de rodada, unidas por fisuras transversales con una cierta cadencia (Figuras 3 y 4).

Esta carretera quedó como vía complementaria de la A-62 cuando en 1999 se terminó de construir la citada autovía, tramo Tordesillas – Salamanca. Desde entonces el tráfico disminuyó radicalmente, teniendo actualmente una IMD inferior a 500,

de los que menos de 50 son pesados.

El último refuerzo fue coincidente con la apertura al tráfico de la A-62 en 1999, por lo que el deterioro del pavimento se produce ya con el tráfico reducido.

El firme existente de acuerdo con los datos del inventario de la Dirección General de Carreteras estaría formado por una base granular sobre la que reposan diversas capas de mezcla bituminosa hasta un espesor de 28 cm.

Se hizo una medición del espaciamiento de las fisuras y se encontró que las fisuras longitudinales se encontraban separadas de manera uniforme entre 1,70 y 1,80 m, mientras

que las fisuras transversales también mantenían una cadencia uniforme entre 3,80 y 4,00 m

Se tomaron varios testigos de la zona y se realizó una calicata para conocer el estado del firme en profundidad.

En los testigos solo pudo extraerse la capa superior del último refuerzo, encontrándose la mezcla muy disgregada por debajo, excepto en un testigo que mostró claramente la falta de adherencia entre el último refuerzo y la capa de mezcla inferior. (Figuras 5 y 6).

La calicata mostró que las grietas que se presentaban en la superficie del pavimento no se continuaban en la capa por debajo del último recrecido,



Figuras 7 y 8.



Figuras 9 y 10.



Figuras 11 y 12. Pérdida de betún en capas inferiores

en la que únicamente se vislumbraba una fisura muy fina como continuidad de la fisura transversal correspondiente en superficie. (Figuras 7 y 8)

Las capas inferiores se disgregaban muy fácilmente ante la acción

del martillo y aparecen con muchos áridos limpios sin restos de betún. (Figuras 9 y 10)

Las grietas que aparecían en superficie no continúan a la segunda capa. Fotos 11 y 12.

3.2. N-122 pk 307+800

Se trata de un tramo de carretera convencional al que se le realizó una operación de refuerzo mediante fresado y reposición de las capas



Figuras 13 y 14. Desaparición de las fisuras en las capas inferiores



Figura 15 y 16. Agrietamiento importante de la capa de rodadura

agotadas y extendido posterior de una capa de recrecio de 10 cm de espesor. La rodadura está constituida por una mezcla de tipo AC22 y el firme está constituido por 28 cm de mezcla bituminosa sobre material granular.

La IMD del tráfico es de 5365 y el tipo de tráfico pesado es T2.

El pavimento se encuentra muy fisurado en las zonas de rodada.

Se realizó una calicata centrada en las grietas de una zona de rodada. Ante el efecto del martillo, la primera capa sale en trozos grandes que se rompen fácilmente con la mano. Al partir estos trozos, el betún aparece

brillante y con restos de agua infiltrada y los áridos aparecen con superficies limpias sin betún adherido. (Figuras 11 y 12).

Las grietas que aparecían en superficie no continúan a la segunda capa. (Figuras 13 y 14).

3.3. A-62 pk 107+660

Se trata de un tramo de un desdoblamiento dentro de una autovía de primera generación. La calzada en cuestión es la antigua perteneciente a la N-620 y su firme está constituido por un espesor importante de mezclas bituminosas de hasta 34 cm sobre material granular. El últi-

mo refuerzo se le extendió en 1998. La mezcla de la capa de rodadura es una AC16 con un 4,8% de betún.

El tráfico es muy importante con una IMD cercana a los 40.000 veh/día y un tráfico pesado de tipo T0.

El pavimento se encuentra muy agrietado en las zonas de rodada que originan su cuarteo en trozos pequeños y muchas ramificaciones con formación de grietas transversales que unen las zonas cuarteadas de ambas rodadas. (Figuras 15 y 16).

Al realizar la calicata, la primera capa se levanta con poco esfuerzo dado su estado general de rotura. En la superficie de la segunda capa



Figura 17 y 18. Falta de adherencia entre la capa de rodadura y la intermedia

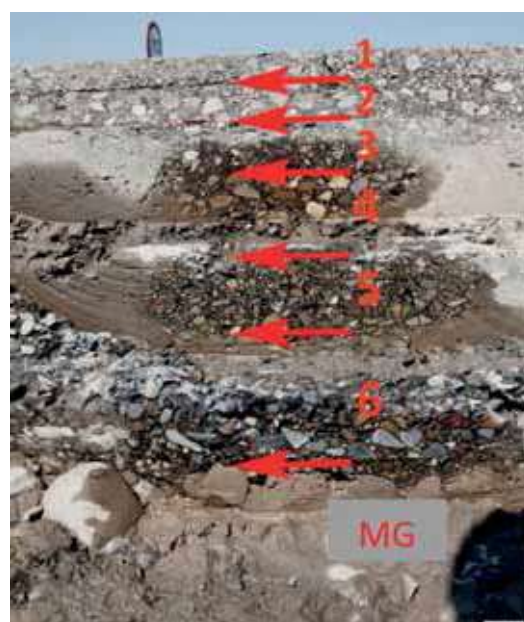


Figura 19 y 20. Desaparición del agrietamiento en la 3ª capa y corte de la calicata

se aprecia la propagación de las grietas del pavimento si bien con una densidad bastante menor. No hay adherencia entre la primera capa y la segunda y los trozos se pueden retirar fácilmente con la mano. (Figuras 17 y 18).

La segunda capa cuesta picarla y presenta adherencia con la tercera capa. En la superficie de la tercera capa ya no aparecen grietas o fisuras de ningún tipo. La continuación de la calicata hasta el final del paquete de mezclas bituminosas presenta algunas capas que se disgregan muy fácilmente con el martillo y un espesor total de 34 cm de mezclas bituminosas. (Figuras 19 y 20).

4. Tramos con firme semi-rígido con gravacemento

Se han escogido varios tramos con modelos de fisuración distintos.

4.1. A-6 ppkk 174 a 175

Este tramo pertenece a la autovía A-6, construida como desdoblamiento de la N-VI existente dentro del Plan de Autovías de Primera Generación. Su firme está constituido por 19 cm de mezclas bituminosas, sobre 20 cm de gravacemento en la capa de base y otros 20 cm de suelocemento como subbase. Además se encuentra dentro de los tramos experimentales que se hicieron

para probar las técnicas de fabricación y extendido de mezclas con caucho. La actuación consistió en el fresado de 11 cm de espesor y su posterior reposición con dos capas, la inferior de 6 cm con AC 22 y la superior con 5 cm de AC 16 modificada con caucho.

El tráfico total se encuentra por debajo de los 25.000 veh/día, mientras que el tráfico pesado es de tipo T1.

En superficie presenta las grietas típicas de reflexión de las formadas en la gravacemento, pero también presenta grietas longitudinales en las zonas de rodada.

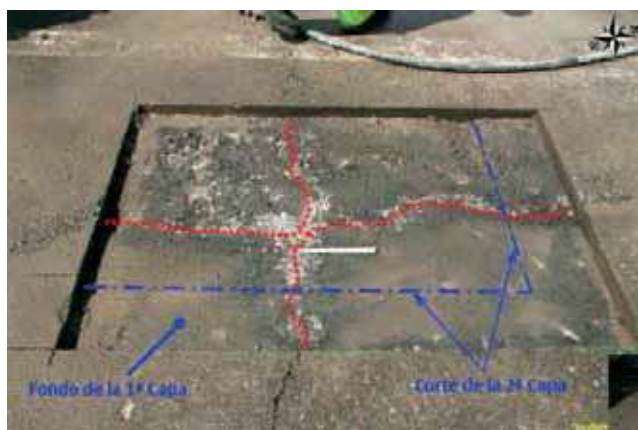


Figura 21 y 22 Fisuración por reflexión de las grietas de retracción de la gravacemiento

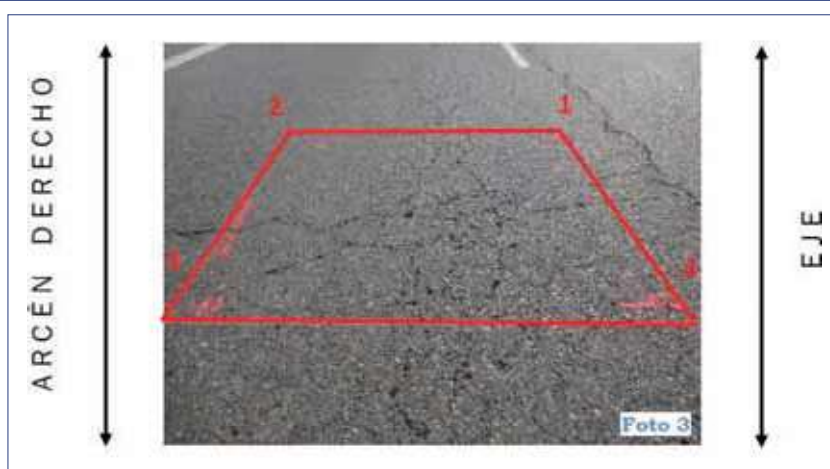


Figura 23. Fisuración a 90°



Figura 24 y 25. Continuación de la fisuración sólo en la segunda capa

Al descubrir las diferentes capas, se puede comprobar que las grietas continúan hasta la capa de gravacemiento donde se manifiestan ambas grietas, transversales y longitudinales, formando bloques del material estabilizado (Figuras 21 y 22).

4.2. A-11 pk 352+020

Este tramo de la A-11, diseñada como desdoblamiento de la N-122, terminó de construirse en 2002 sin que hasta el momento de la calicata en marzo de 2012 se hubiera realizado ninguna actuación de refuerzo o saneo.

El firme está constituido por 15 cm de mezclas bituminosas, sobre 22 cm de gravacemiento en la capa de base y otros 20 cm de suelocemento como subbase

El tráfico soportado por este tramo es de 21.000 veh/día y la categoría de tráfico pesado es T1.

La calicata se realizó en el carril derecho de la calzada derecha que es fundamentalmente la de nueva construcción con un firme formado por 15 cm de MB + 22 cm de gravacemento + 20 cm de suelocemento sobre una explanada tipo E2 (sección 124 6.1. IC 1989).

La superficie del pavimento se encuentra muy agrietada, con dos

líneas de fisuración ramificada a 90°. (Figura 23).

Picada la 1ª capa, presenta grietas a 90° sobre la superficie de la 2ª capa. La adherencia entre ambas capas es escasa y el material sale en grandes trozos. (Figura 24).

Al picar la 2ª capa, que presenta una mayor dureza que la anterior

pero que también se encuentra despegada de la tercera capa, se observa que las grietas observadas en superficie no se continúan a la capa inferior que se encuentra limpia de fisuración. (Figura 25).

Al picar la tercera capa se llega a la gravacemento que presenta en su superficie una grieta de retracción en la misma posición que la encontrada en las capas 1 y 2. (Figura 26).

5. Otros patrones de agrietamiento de los pavimentos

En nuestra experiencia, es muy frecuente encontrar patrones de fisuración de los pavimentos constituidos por fisuraciones longitudinales y transversales que se cruzan a 90°, formando rectángulos. (Figuras 27, 28, 29 y 30).

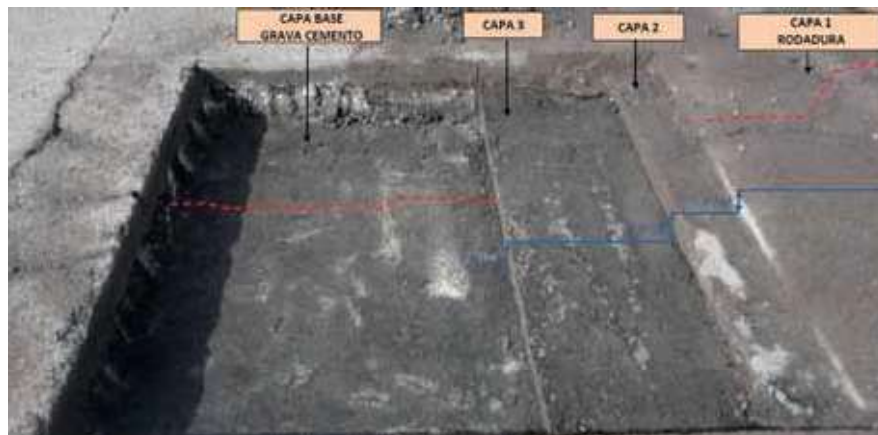


Figura 26. Corte de la calicata



Figura 27 y 28.



Figura 29 y 30. Fisuración a 90°.



Figura 31 y 32. Ascenso de finos del suelocemento a la superficie de rodadura

Se puede comprobar que esta fisuración no coincide con las zonas de rodada sometidas a las cargas del tráfico, incluso aparecen en los carriles izquierdos que soportan muy poco tráfico pesado.

6. Tramos con firme semi-rígido con suelocemento

El suelocemento es un material excelente como base para capas de firme cuando se cuidan tanto los materiales como su diseño y construcción. Sin embargo, en el buen comportamiento de estos materiales influye una multitud de factores, varios de los cuales pueden ser fácilmente alterados en obra por la dinámica de la propia ejecución, como son la existencia de suelos poco adecuados para su mezcla con cemento mezclados con los previstos para la obra que sí son adecuados, la variabilidad respecto de la dosificación correcta al fabricar el material en la planta de la obra, el extendido con espesores inferiores a los diseñados, que es un factor muy importante en su comportamiento, o la ejecución inadecuada del curado y de las juntas de retracción.

Todos estos factores unidos a una cierta desconsideración hacia este material hacen que sea crítico respecto a su comportamiento y pueda provocar la rotura del firme. Además, esta rotura se presentará de for-

ma rápida a partir de la apertura del firme al tráfico y su reparación será muy costosa.

En las Figuras 31 y 32 se aprecian los síntomas del fallo de la base de suelocemento en el pavimento, originándose hundimientos localizados, ascenso de finos en superficie y una gran irregularidad superficial.

7. Pavimentos drenantes y discontinuos tipo B

Los pavimentos discontinuos tipo b y drenantes se caracterizan por su alto contenido en huecos y la carencia del mástic bituminoso. Esto, unido a porcentajes de betún algo escasos, especialmente en las mezclas drenantes, hace que sean muy sensibles al envejecimiento del betún. La fragilización de éste con el tiempo provoca que las uniones entre los áridos se rompan al paso de las cargas desprendiéndose las gravillas, lo que genera una debilitación de la capa de rodadura, un aumento de los huecos superficiales y un aumento del ruido de rodadura emitido, aparte de un riesgo añadido a la seguridad vial ya que las partículas sueltas pueden ser despedidas por los neumáticos contra los demás vehículos con el consiguiente sobresalto de los conductores e incluso la rotura de los parabrisas u otros cristales.

En la Figura 33 puede verse un pavimento drenante completamen-

te envejecido, con más de 18 años desde su puesta en servicio. En esta Figura se aprecia alguna zona que ha perdido toda la capa de rodadura e incluso la existencia de grietas a 90° debidas a otras causas. En la Figura 34 se aprecia un pavimento con mezcla discontinua tipo b que ya está empezando a perder gravillas en superficie.

Otro síntoma que sólo hemos apreciado en las mezclas discontinuas tipo b es el de su heterogeneidad granulométrica que, debido a que se encuentran en el límite entre las mezclas impermeables y drenantes por su alto contenido de huecos, puede provocar la existencia de zonas drenantes que absorben agua rodeadas de zonas impermeables que impiden su salida. Estas zonas con agua, además de perjudiciales para la durabilidad de la mezcla, son un riesgo para la seguridad vial en áreas de climas fríos, pudiendo generar problemas de vialidad invernal por la formación de hielo al congelarse.

En las Figuras 35 y 36 se puede ver este fenómeno en una carretera recién terminada.

8. Mecanismo de deterioro

Al principio de este artículo se mencionaba como un proceso común de deterioro de los firmes la formación de fisuras de arriba ha-



Figura 33 y 34. Pérdida de gravilla en capas de rodadura drenantes



Figura 35 y 36. Formación de zonas con acumulación de agua en una mezcla BBTM -B

cia abajo por el envejecimiento de la mezcla y las tensiones térmicas y también la fisuración transversal de los pavimentos asfálticos por reflexión de las grietas de retracción de las bases estabilizadas. La aparición de estas fisuras lleva asociada con ellas otros dos mecanismos de deterioro muy importantes. En primer lugar, las capas asfálticas ya no se comportan como capas continuas que se apoyan y se adhieren unas a otras formando un continuo. Empiezan a trabajar como losas aisladas en cuyos bordes se produce un aumento notable de tensiones al paso de los vehículos. Esto hace que si la capa de mezcla bituminosa no tiene suficiente espesor, donde había una grieta transversal aparezca una o dos longitudinales.

Dependiendo de la calidad del riego de adherencia y de la fuerza de unión entre capas estas grietas se propagan de arriba abajo o bien por la inter fase de las capas. Esto hace que la capacidad estructural del firme disminuya y que las capas sueltas se rompan con más facilidad.

A este deterioro de la unión entre capas y a la disgregación de la mezcla en cada capa contribuye también el agua que se introduce por estas grietas, proveniente de la lluvia o del agua caída en la superficie del firme (grietas de arriba hacia abajo) o la que proviene de la explanada (grietas de abajo para arriba).

Para aumentar la resistencia de las capas asfálticas del firme ante estos mecanismos de deterioro, de-

bemos poner más atención al diseño de las mezclas bituminosas y usar mezclas dúctiles, más ricas en ligante y resistentes al envejecimiento. Mezclas con muy buena adhesividad resistentes a la acción del agua. Utilizar riegos de calidad que faciliten y aseguren la buena adherencia entre capas. Esto es especialmente importante en el caso de reforzar un firme antiguo, donde se produce con más profusión el despegue de las capas nuevas respecto a la del firme antiguo.

Tampoco hay que olvidarse de la calidad de ejecución de estas unidades de obra. En el caso de las mezclas bituminosas hay que tener muy en cuenta su adecuada compactación y evitar su excesivo envejecimiento en su fabricación y puesta en

RUTAS TÉCNICA

obra. La mayor parte del envejecimiento del betún de una mezcla tiene lugar durante su fabricación y puesta en obra (70-80 %). El efecto del sol y de los rayos ultravioletas es bastante menor. Por eso hay que evitar que se produzca un excesivo envejecimiento durante su fabricación, controlando la temperatura y el tiempo de transporte y puesta en obra. Existen procedimientos de ensayo, como el ensayo Fénix, que permiten controlar este envejecimiento y que se deberían usar en el control de la calidad de la obra. Lo mismo ocurre con los riesgos de adherencia, ensayo de corte, NLT-382/08. Es necesario controlar debidamente la ejecución de estas unidades de obra, si queremos obtener las máximas prestaciones provenientes de la calidad de los materiales usados, mezclas y riegos.

9. Conclusiones

Las situaciones aquí expuestas son sólo una muestra de las formas de deterioro de los pavimentos. En general se ha tratado de presentar fallos de la mezcla asociados con las características del tipo de firme y su mecanismo de deterioro, con una única referencia a las capas de suelocemento o mezclas discontinuas cuyo comportamiento indebido se debe fundamentalmente a problemas debidos a su gran sensibilidad a las variaciones en sus materiales, en su fabricación o en su extendido y terminación.

De los fallos y mecanismos de deterioro observados se pueden obtener algunas conclusiones que se citan a continuación:

1. Existe un modelo de fisuración con grietas longitudinales y transversales que se cortan a 90° que se repite frecuentemente. Las grietas verticales no tienen siempre que coincidir con las zonas de rodada de los vehículos pesados.
2. Muchas de las grietas manifestadas en superficie se desarrollan de arriba hacia abajo, desapareciendo con la profundidad. Estas grietas podrían estar generadas por la acción conjunta de la temperatura externa, el envejecimiento y las cargas del tráfico.
3. En firmes semirrígidos, este modelo puede ser ocasionado por la reflexión de las grietas de retracción que se forman en la gravaceamiento formando bloques de tipo paralelepípedicos.
4. Es muy frecuente encontrarse que las capas inferiores de las mezclas bituminosas tengan muy poca cohesión y se disgreguen fácilmente, presentando áridos limpios de betún. Esto puede deberse a la presión intersticial generada por las cargas del tráfico sobre el agua infiltrada en el cuerpo agrietado de las mezclas bituminosas.
5. Otro fenómeno común es la falta de adherencia entre capas, especialmente en el caso de rehabilitación de carreteras en servicio. Mientras que en carreteras nuevas las capas de mezclas se superponen a otras con betún fresco, menos envejecido, en los refuerzos, el betún de las capas existentes sobre las que se extienden las nuevas mezclas se encuentra muy envejecido perjudicando la adherencia. Además, la urgencia de la apertura al tráfico al encontrarse las carreteras en servicio hace que en muchas ocasiones no se esperen los tiempos necesarios para un correcto secado de los riegos de adherencia, lo que facilita que se queden pegados a los neumáticos de los camiones del extendido eliminándose de la superficie de la carretera.

10. Agradecimientos

Los autores quieren expresar su agradecimiento a D^a M^a del Rosario Cornejo Arribas, Directora Técnica de la Dirección General de Carreteras, y a D. Julio Vaquero García, Presidente del Comité de Firms de la ATC por sus valiosas aportaciones a este artículo.

11. Bibliografía

- [1] Demarcación de Carreteras del Estado en Castilla y León Occidental. "PTD2-V01 Realización e informe de la toma de testigos en firme". Procedimiento interno, no publicado.
- [2] Demarcación de Carreteras del Estado en Castilla y León Occidental. "PTD3-V01 Realización e informe de calicatas en firmes". Procedimiento interno, no publicado.
- [3] Pérez Jiménez, Félix E. et al "Criterios y especificaciones para el uso del ensayo Fénix en el diseño de mezclas bituminosas tipo AC"

