

Evaluación de la resistencia de mezclas a la fisuración de las capas de rodadura ultrafinas utilizadas en la conservación de pavimentos

Rodrigo Miró,
r.miro@upc.edu
Aida García Boria,
a.garciaboira@sorigue.com
Alfredo Bobis Rojas,
a.bobis@sorigue.com
Félix Pérez-Jiménez,

edmund.perez@upc.edu
Adriana Martínez,
adriana.martinez@upc.edu
Ramón Botella,
Ramón.botella@upc.edu

Universitat Politècnica de Catalunya – BarcelonaTech

Las capas de rodadura ultrafinas tienen por objeto proporcionar y/o restaurar las propiedades superficiales de los firmes de carreteras, y constituyen una buena solución de mantenimiento para aquellos firmes que no han perdido su capacidad estructural. Estas capas presentan la ventaja de poder colocarse en un espesor muy pequeño (de aproximadamente 1 cm), por lo que su ejecución puede llevarse a cabo de forma rápida y económica.

Para garantizar su correcto funcionamiento y su durabilidad se requiere colocar previamente un riego de adherencia con una emulsión bituminosa modificada que sea capaz de sellar la capa de rodadura existente (envejecida y con deterioros superficiales) y adherir la capa ultrafina de modo duradero.

En este trabajo se realizaron una serie de pruebas que permiten poner de manifiesto las mejoras que se consiguen al utilizar este tipo de capas ultrafinas, basadas en la aplicación del ensayo Fénix. Para ello, se ha cambiado la forma y disposición de la probeta respecto a la del ensayo convencional, de forma que puedan ensayarse testigos formados por más de una capa. Se han utilizado dos configuraciones de ensayo, aplicando la tensión tanto en la cara inferior del testigo, como en la cara superior. Los resultados obtenidos han mostrado una respuesta claramente diferente cuando la tensión se aplica en la cara inferior formada por la capa soporte o en la cara superior formada por la capa ultrafina, retrasando en este último caso la apertura de la fisura, mostrando una rotura mucho más dúctil, y pudiendo observar además que se mantiene la adherencia de la capa al soporte.

Palabras Clave: Mezclas bituminosas ultrafinas, fisuración, ensayo Fénix.

The purpose of ultra-thin lift asphalt for wearing courses is to provide and/or restore the surface properties of road pavements. These lifts are a good maintenance solution for those road pavements that have not lost their structural capacity. They have the advantage of being able to be placed in a very small thickness (approximately 1 cm), so that their construction can be carried out quickly and economically.

In order to guarantee the correct operation and the durability of these layers, it is necessary to previously apply a tack coat with a modified bituminous emulsion that is capable of sealing the existing wearing course (aged and with superficial deteriorations) and adhering the ultra-thin lift in a lasting way.

A series of tests were carried out in this work, based on the application of the Fénix test, that allow showing the improvements that are achieved when using this ultra-thin lifts. To this aim, the shape and arrangement of the specimen were modified with respect to that of the conventional test, so that cores composed by more than one layer could be tested. Two test configurations were used, applying the stress both on the bottom and on the top side of the core. The results obtained showed a clearly different response when the stress is applied on the lower side of the core formed by the support layer or on the upper side formed by the ultra-thin layer. In the latter case, it was observed that the opening of the crack was delayed, the breaking was much more ductile and the adherence of the lift to the support was maintained.

Keywords: Ultra-thin lift asphalt, cracking, Fénix test

Evaluación de la resistencia de mezclas a la fisuración de las capas de rodadura ultrafinas utilizadas en la conservación de pavimentos

1. Introducción

El tráfico y los efectos climáticos a los que están sometidos los firmes de carreteras van afectando gradualmente a sus propiedades estructurales y funcionales. Cuando la pérdida de sus características superficiales puede afectar a la seguridad y/o a la comodidad de la conducción, es necesario realizar tareas de conservación que restauraren esas propiedades superficiales. Para ello se pueden utilizar capas delgadas de mezcla bituminosa expresamente diseñadas para proporcionar una superficie con las características necesarias.

Las mezclas bituminosas usadas hasta ahora en capas de pequeño espesor para el mantenimiento superficial de los pavimentos son, fundamentalmente, de granulometría discontinua. Las primeras que se desarrollaron fueron las mezclas tipo SMA (Stone Mastic Asphalt), definidas en la norma UNE-EN 13108-5, pero aún no recogidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes español (PG-3), que se colocan en espesores que pueden variar entre 2 y 5 cm. Un segundo tipo son los microaglomerados de granulometría discontinua, conocidas como mezclas BBTM (Béton Bitumineux Très Mince), que en España están recogidas en el artículo 543 del PG-3 y en la UNE-EN 13108-2, y se utilizan en capas de 2 a 3 cm de espesor.

Más recientemente se han desarrollado unas mezclas discontinuas en caliente ultrafinas, que se identifican con las siglas AUTL (Asphalt for Ultra-Thin Layer); estas mezclas están recogidas en la norma EN 13108-9 y se colocan en capas de 1 a 2 cm de espesor, Figuras 1 y 2, dotando al pavimento de muy buenas propiedades superficiales, minimizando el consumo de materias primas y de impacto ambiental, y ofreciendo a la vez una rápida apertura al tráfico. Entre sus propiedades superficiales, se destacan una mayor resistencia al deslizamiento y una mejor drenabilidad, gracias a la micro y macrotextura conseguidas mediante la adecuada selección del tipo y granulometría de los áridos empleados.

Como estas mezclas se van a colocar sobre superficies que pueden estar cuarteadas, fisuradas y deterioradas tras haber sido sometidas a esfuerzos importantes o a un proceso de envejecimiento extenso, Figura 3, se buscan materiales que eviten que estas degradaciones puedan aparecer rápidamente en superficie. Aunque la aplicación de este tratamiento suele hacerse conjuntamente con la de un riego de adherencia con una emulsión de betún altamente modificado y dotaciones eleva-

das, con objeto de sellar la capa soporte y asegurar la adherencia entre capas, resulta difícil poder evaluar su resistencia a la fisuración o a la reflexión de fisuras.



Figura 1. Extendido de una capa ultrafina



Figura 2. Detalle del espesor de una capa ultrafina



Figura 3. Extendido de una capa ultrafina sobre una superficie fisurada

Los procedimientos de diseño habitualmente utilizados en España no tienen en cuenta propiedades de la mezcla tan importantes como la resistencia a la fisuración, la tenacidad o la ductilidad. Por ello, el Laboratorio de Caminos de la Universidad Politécnica de Cataluña, ha desarrollado un nuevo ensayo a tracción, realizado a velocidad de deformación constante (1 mm/min), sobre una probeta semi-cilíndrica (obtenida sellando diametralmente una probeta o testigo cilíndrico) con

una fisura inducida mediante una ranura, Figura 4, que permite evaluar la resistencia a la fisuración de las mezclas a través del cálculo de la energía disipada en el proceso de rotura: el ensayo Fénix.

Este ensayo ya ha sido propuesto por los autores como ensayo complementario en el procedimiento de diseño de las mezclas densas y semidensas tipo AC (Asphalt Concrete), habiéndose establecido unos criterios de diseño, que fueron presentados en el marco de la IX Jornada Nacional ASEFMA 2014.

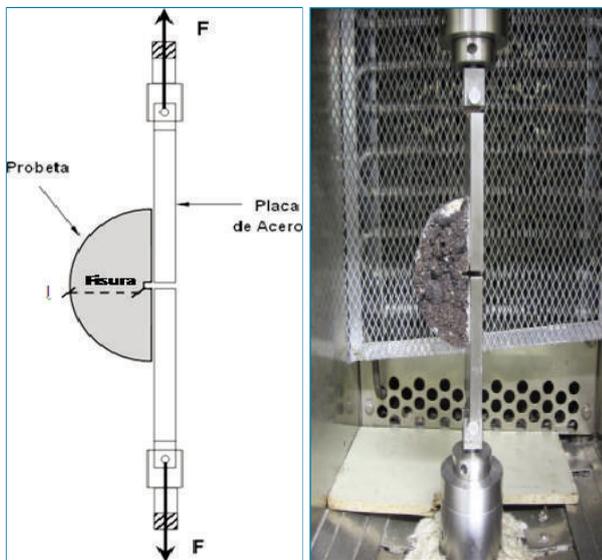


Figura 4. Esquema y geometría de la probeta en el ensayo Fénix

Sin embargo, esta disposición de ensayo no es adecuada para ensayar testigos formados por más de una capa, en los que la capa superior es una mezcla fina o ultrafina. Por ello, se ha adaptado el ensayo original de forma que puedan ensayarse probetas o testigos bicapa. En este trabajo se recogen una serie de pruebas que permiten poner de manifiesto las mejoras que se consiguen al utilizar este tipo de capas ultrafinas, ba-

sadas en la aplicación del ensayo Fénix.

2. Metodología

Se han extraído testigos de un pavimento envejecido, antes y después de extender sobre él una capa ultrafina, con el fin de evaluar el efecto de colocar o no esta capa. El pavimento viejo estaba formado por una capa de mezcla discontinua (microaglomerado) sobre una capa de mezcla semidensa, aunque no se ha podido garantizar que fuera homogéneo a lo largo del tramo sobre el que se ha actuado.

Adicionalmente se han sacado testigos de otro pavimento envejecido formado por una única capa de mezcla convencional, para evaluar el tipo de rotura que se produce evitando el efecto de diferentes capas.

Para caracterizar la resistencia a la fisuración de estas mezclas se ha pretendido utilizar el ensayo Fénix. Pero tal como se ha comentado anteriormente, la disposición de la probeta semicilíndrica durante la realización del ensayo Fénix no permite ensayar probetas o testigos formados por más de una capa. Por otra parte, resulta difícil ensayar una probeta de 1 ó 2 cm, correspondientes al espesor de la capa ultrafina, ya que los resultados podrían no ser representativos. Por ello, se ha cambiado la forma y disposición de la probeta respecto a la del ensayo convencional, de forma que se puedan ensayar probetas/testigos formados por más de una capa.

Así, en lugar de cortar la probeta cilíndrica por un plano diametral (para generar la probeta semicilíndrica), se han realizado dos cortes laterales para aproximarla a un paralelepípedo, Figura 5, de forma que las dos capas queden paralelas al plano de sujeción con las placas metálicas, sobre las que se aplica la tensión.

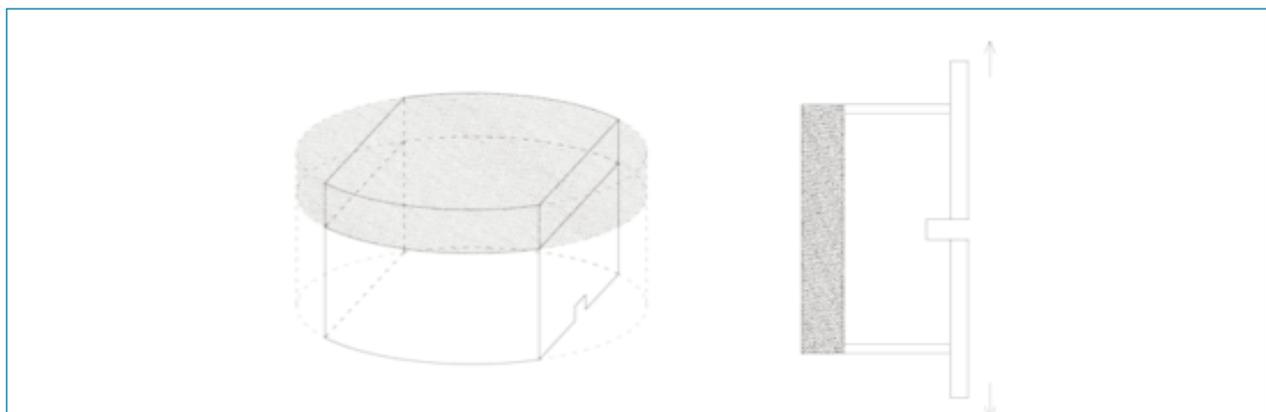


Figura 5. Geometría y disposición de la probeta en el ensayo Fénix adaptado a testigos bicapa (con ranura)

Evaluación de la resistencia de mezclas a la fisuración de las capas de rodadura ultrafinas utilizadas en la conservación de pavimentos

Tal como se observa en la Figura 5, y al igual que en el caso del ensayo Fénix original, se ha realizado una pequeña ranura en los testigos, que se ubica entre las dos placas para inducir el inicio de la fisuración durante el ensayo. De esta forma, la fisuración se inicia en la capa inferior del testigo, y progresa a medida que aumenta el desplazamiento de los pistones de la prensa, hasta alcanzar, en caso de que exista, la capa superior ultrafina, momento a partir del cual ésta empezaría a resistir.

No obstante, después de unas pruebas iniciales, se comprobó que esta configuración puede hacer que los resultados del ensayo se vean muy condicionados por la resistencia de la capa inferior, que es la que empieza a trabajar primero. Por ello, se decidió utilizar otra disposición del testigo, en la que éstos se pegaban a las placas metálicas por su cara superior, sin realizar ninguna ranura, Figura 6. En este caso, cuando existe la capa ultrafina, es esta mezcla la que empieza a trabajar primero y, probablemente se podrán poner más de manifiesto las diferencias respecto cuando no exista esta capa.

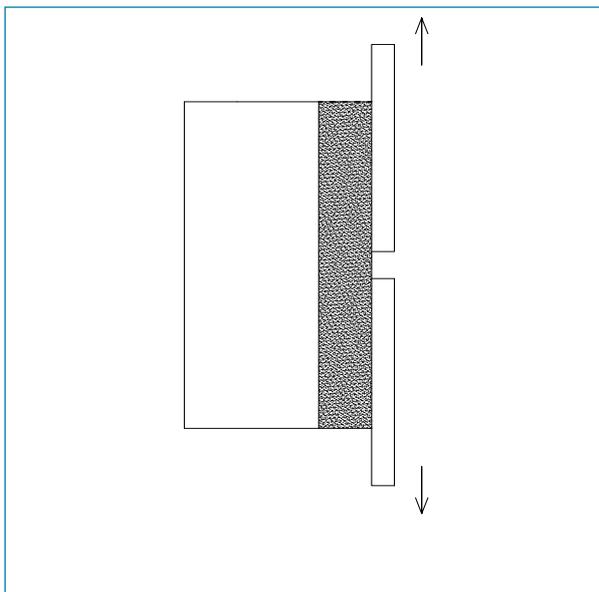


Figura 6. Disposición de la probeta en la segunda configuración del ensayo Fénix adaptado a testigos bicapa (sin ranura)

Durante el ensayo se registra la carga aplicada durante el proceso de rotura en función del desplazamiento aplicado, Figura 7. A partir de la curva carga-desplazamiento es posible obtener una serie de parámetros que permiten caracterizar la resistencia a la fisuración de la mezcla.

Entre estos parámetros se destacan el índice de rigidez a tracción (IRT), que relaciona el incremento de tensión con el

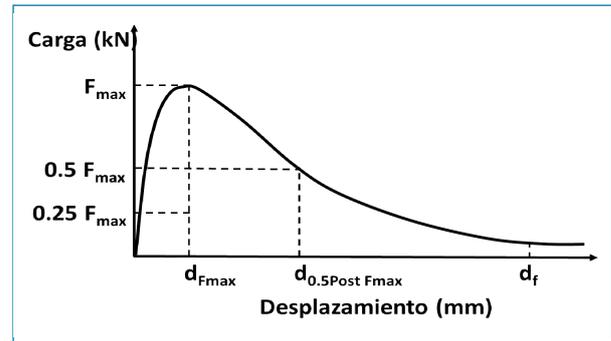


Figura 7. Curva carga-desplazamiento obtenida a partir del ensayo Fénix

incremento de desplazamiento en la zona inicial de carga y que, por tanto, es un módulo secante relacionado con la rigidez de la mezcla ensayada, y la energía disipada en el proceso de rotura (GF), obtenida a partir del área bajo la curva carga-desplazamiento; a mayor energía, se tendrá que realizar mayor trabajo para romper la mezcla, por lo que ésta será más resistente. Además, para cuantificar si el tipo de rotura que se produce durante el ensayo en más o menos dúctil, se ha definido un índice de tenacidad (IT) que pondera la energía disipada una vez que se ha alcanzado la carga máxima de rotura por el desplazamiento registrado tras la rotura, a medida que la carga máxima va disminuyendo; así, si la rotura es frágil, la carga tras la rotura disminuye bruscamente y el índice de tenacidad será relativamente pequeño, mientras que si la rotura es dúctil, la carga post-pico se mantendrá durante el proceso de rotura, registrándose unos mayores desplazamientos, por lo que el índice de tenacidad será más elevado. Este parámetro resulta muy interesante en el caso que nos ocupa, pues la finalidad de la capa ultrafina es sellar el pavimento antiguo, retrasando o evitando que las grietas y fallos aparezcan en superficie.

Los ensayos se han realizado a una temperatura de 10 °C, ya que en estas condiciones la respuesta de la mezcla es más frágil. Para cada configuración se han ensayado dos testigos.

3. Análisis de resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos sobre tres tipos de testigos diferentes:

- Testigos formados por una sola capa de mezcla convencional, extraídos de un pavimento envejecido.
- Testigos formados por dos capas: una capa intermedia de mezcla convencional y un microaglomerado como capa de rodadura, que constituían el pavimento enve-

jecido antes de colocar la capa ultrafina.

- Testigos formados por el microaglomerado del pavimento envejecido anterior, sobre el que se ha colocado la capa ultrafina.

3.1 Testigos de mezcla convencional envejecida

En la Figura 8 se han representado las curvas tensión-desplazamiento obtenidas a partir del ensayo Fénix, a 10 °C, para los testigos formados por una sola capa de mezcla convencional envejecida. En este caso la tensión sólo se ha aplicado en la cara superior, que es la cara más envejecida; se observa que la tensión pico es bastante elevada y cómo tras la rotura disminuye rápidamente, evidenciado una rotura muy frágil.

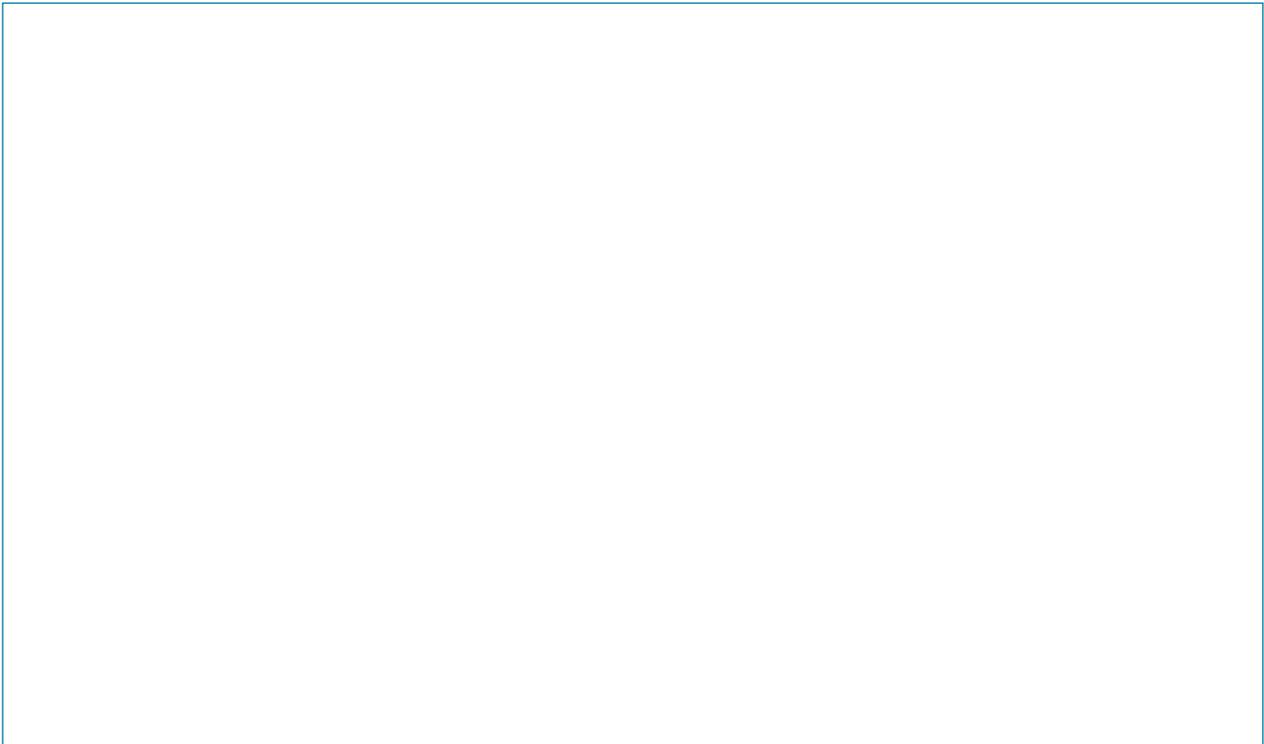


Figura 8. Ensayo Fénix a 10 °C y 1 mm/min. Testigos de una sola capa de mezcla convencional envejecida

3.2 Testigos bicapa, sin capa ultrafina

En la Figura 9 se han representado las curvas tensión-desplazamiento obtenidas a partir del ensayo Fénix, a 10 °C, para los testigos bicapa (microaglomerado sobre mezcla convencional), sin la capa ultrafina; en los testigos 1 y 3, la tensión se ha aplicado en la cara inferior del testigo, mientras que en los testigos 4.1C y 4.2C, la tensión se ha aplicado en la cara superior.

En este caso pueden apreciarse algunas diferencias cuan-

do se ensayan por una u otra cara, ya que las capas superior e inferior de los testigos extraídos están formadas por mezclas de diferentes características. Así, cuando la tensión se aplica por la cara inferior (testigos 1 y 3), la mezcla semidensa que constituye la capa inferior, sobre la que se aplica la carga, presenta una rotura frágil, mientras que cuando la tensión se aplica por la cara superior (testigos 4.1C y 4.2C), es el microaglomerado el que primero trabaja y, a pesar de estar envejecido, presenta una rotura más dúctil que la mezcla que constituye la capa inferior.

3.3 Testigos bicapa, microaglomerado y mezcla ultrafina

En la Figura 10 se han representado las curvas tensión-desplazamiento obtenidas a partir del ensayo Fénix, a 10 °C, para los testigos con la capa ultrafina; en los testigos 1.3R y 1.5R, la tensión se ha aplicado en la cara inferior del testigo, mientras que en los testigos 2.1R y 2.3R, la tensión se ha aplicado en la cara superior.

Evaluación de la resistencia de mezclas a la fisuración de las capas de rodadura ultrafinas utilizadas en la conservación de pavimentos

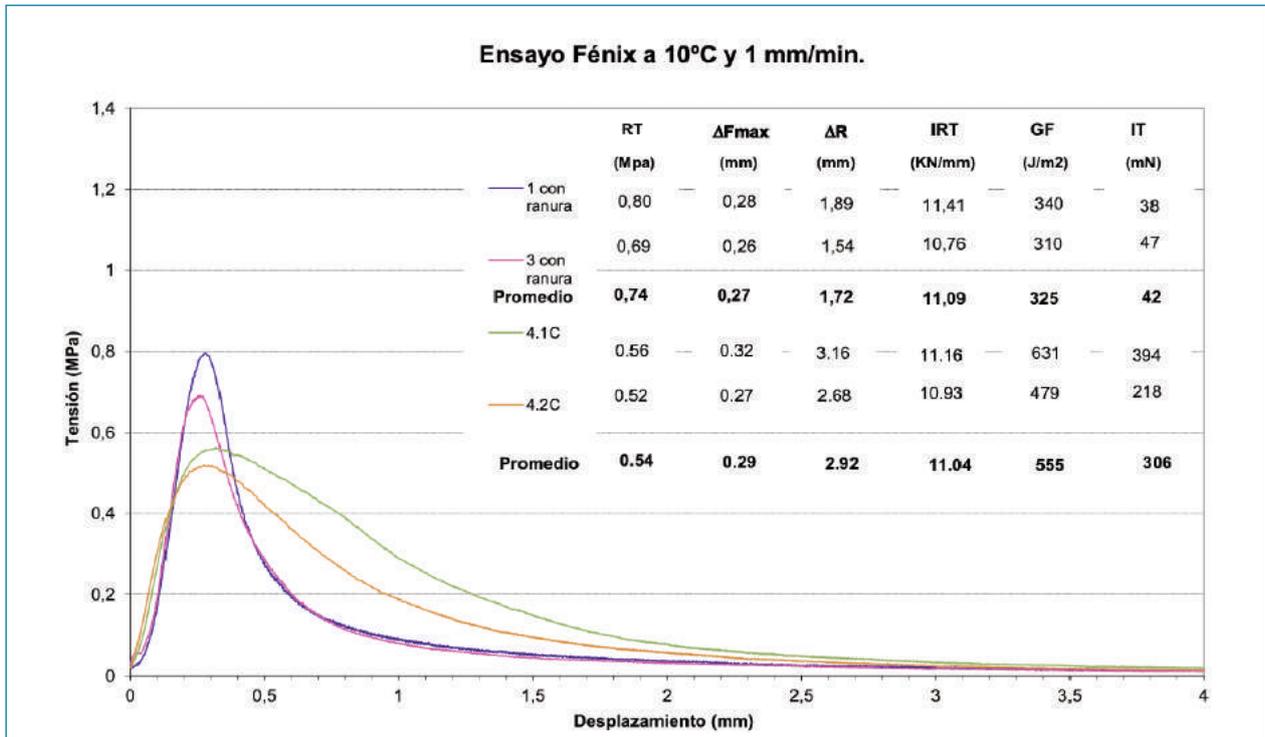


Figura 9. Ensayo Fénix a 10 °C y 1 mm/min. Testigos bicapa, sin capa ultrafina

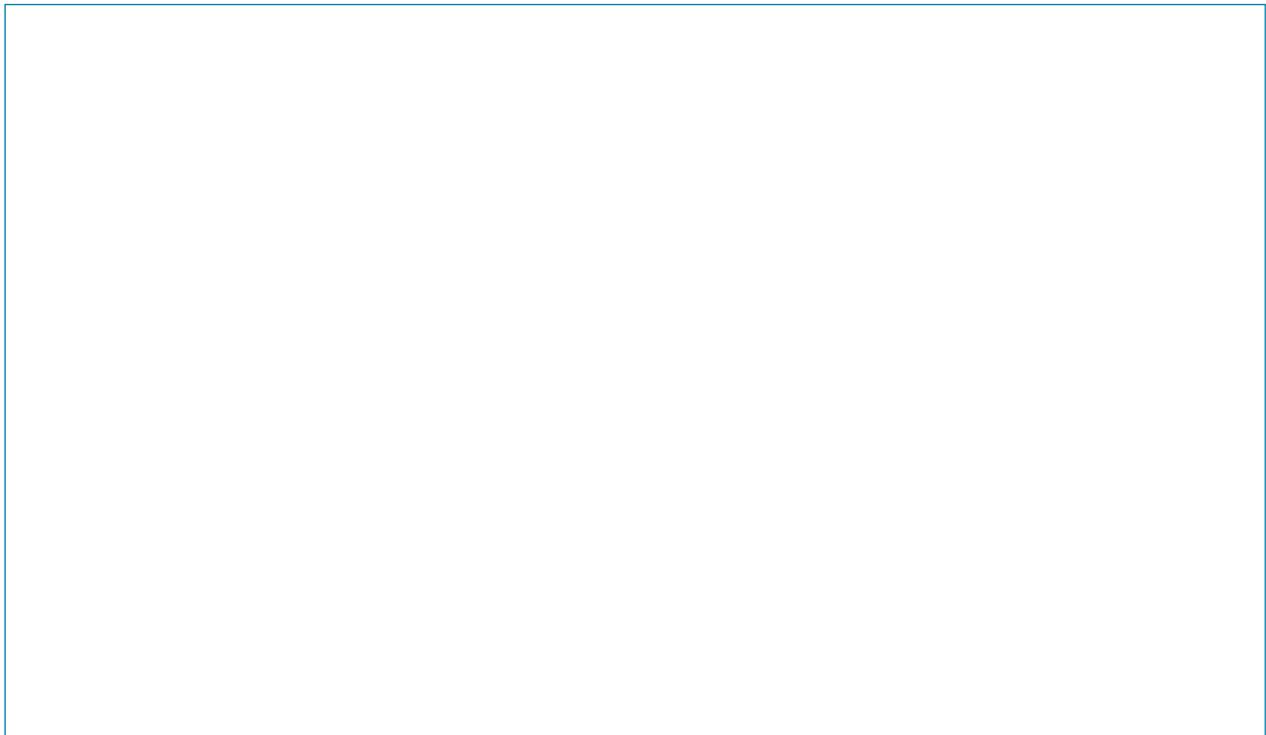


Figura 10. Ensayo Fénix a 10 °C y 1 mm/min. Testigos con capa ultrafina

En el caso de los testigos con la capa ultrafina (sobre el microaglomerado), la rotura observada cuando la tensión se aplica en la cara inferior es relativamente frágil. En este caso, la fisura se propaga rápidamente a través de la mezcla que está en

contacto con las placas hasta la capa ultrafina, pero ésta no se fisura y actúa como una rótula, Figura 11; la carga necesaria para abrir la probeta es relativamente baja. Pero cuando el ensayo se realiza pegando las placas a la capa ultrafina (cara supe-

rior), esta capa retrasa la apertura de la fisura y mantiene la carga por más tiempo, dando lugar a una rotura mucho más dúctil.

Al comparar las curvas de las Figuras 9 y 10 se puede observar que la respuesta del microaglomerado ha sido diferente cuando se ensaya con o sin ranura, aunque es necesario tener en cuenta que, tal como se ha indicado anteriormente, no ha sido posible garantizar que se tratara del mismo microaglomerado en todo el tramo, de ahí que puedan tenerse respuestas diferentes.

En cambio, sí es evidente que al comparar la respuesta del microraglomerado con la de la capa ultrafina, cuando en ambos casos la tensión se aplica de la misma forma sobre ellos (sin ranura), la respuesta de la mezcla ultrafina es mucho más dúctil que la del microaglomerado envejecido. El valor del índice de tenacidad cuando la tensión se aplica en la capa ultrafina es del orden de 3 veces superior al obtenido en el caso anterior (sin capa ultrafina).

En la Figura 12 se aprecia la propagación de la fisura en testigos con y sin la capa ultrafina respectivamente, para un desplazamiento de 3.5 mm, con tensión aplicada en la cara superior; puede observarse como la profundidad que alcanza la fisura es mayor en el caso en que no hay la capa ultrafina. También se observa como la capa ultrafina queda perfectamente unida y anclada a la capa inferior, soportando los esfuerzos cortantes. Estos esfuerzos serían mayores que en el caso del mi-



Figura 11. Detalle de la rotura de un testigo con entalla en la cara inferior, con capa ultrafina. Tensión aplicada en la cara inferior del testigo

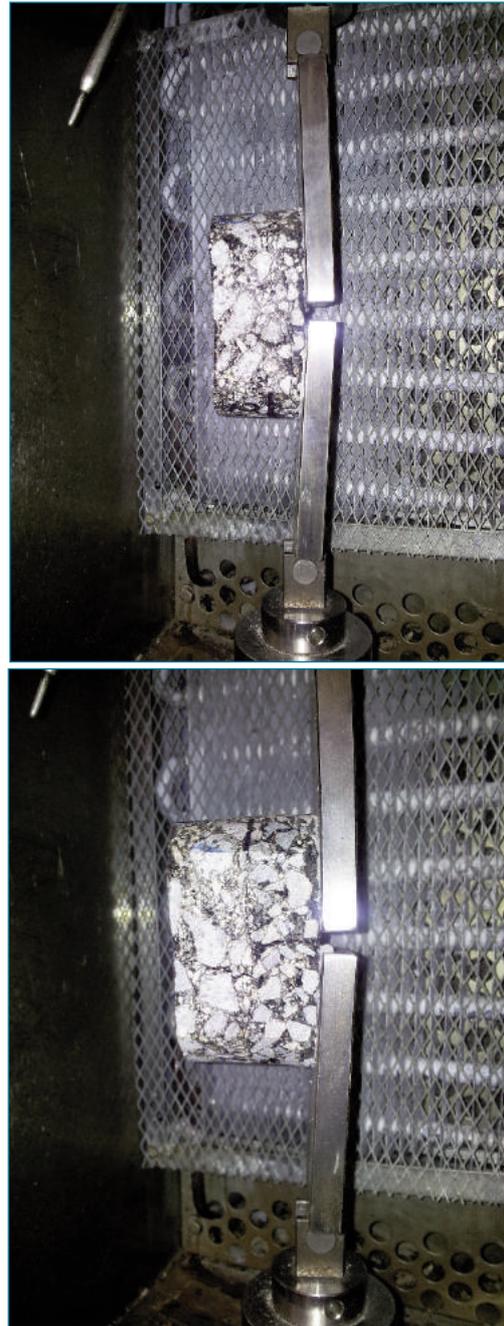


Figura 12. Ensayo Fénix aplicando la tensión en la cara superior del testigo: (a) con capa ultrafina, (b) sin capa ultrafina

croaglomerado por ser de menor espesor. Pero pese a este menor espesor, se observa una total adherencia y que la capa ultrafina no se despega del soporte.

Este ensayo muestra la capacidad de la capa ultrafina para mantener la resistencia y su integridad en unos niveles mayores de deformación, Figura 13, reforzando y aumentando la resistencia a la fisuración de las capas inferiores.

Evaluación de la resistencia de mezclas a la fisuración de las capas de rodadura ultrafinas utilizadas en la conservación de pavimentos



Figura 13. Comportamiento de la capa ultrafina frente la progresiva apertura de la fisura en la cara inferior del testigo

4. Conclusiones

En este trabajo se ha caracterizado en laboratorio la resistencia a la fisuración de testigos extraídos de un pavimento envejecido antes y después de extender sobre él una capa de ultrafina.

Para ello, se ha adaptado el ensayo Fénix, cambiando la forma y disposición de la probeta respecto a la del ensayo convencional, de forma que puedan ensayarse testigos formados por más de una capa. Se han utilizado dos configuraciones de ensayo, aplicando la tensión tanto en la cara inferior del testigo (habiendo generado una pequeña ranura para inducir la fisura), como en la cara superior (sin ranura).

Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto que cuando la tensión se aplica en la cara inferior del testigo se observa una rotura más o menos frágil, dependiendo del tipo de mezcla que constituye esa capa y de su grado de envejecimiento. Si la capa superior es de una mezcla ultrafina, la propagación de la fisura se ralentiza y esta capa actúa a modo de rótula a medida que se abre la fisura.

Por otra parte, al aplicar la tensión en la cara superior del testigo (sin ranura) se observa una respuesta claramente diferente cuando en la cara superior hay la mezcla ultrafina, retrayéndose la apertura de la fisura y mostrando una rotura mu-

cho más dúctil que la que presenta la capa inferior envejecida. Además, en todos los ensayos realizados, se ha mantenido la adherencia de la capa de ultrafina al soporte

5. Bibliografía

- [1] Pérez-Jiménez, F.; Valdés, G.; Miró, R.; Martínez, A. y Botella, R. "Fénix Test. Development of a new test procedure for evaluating cracking resistance in bituminous mixtures", Transportation Research Record, Journal of Transportation Research Board, nº 2181, pp. 36-43, 2010.
- [2] Pérez-Jiménez, F.; Botella, R.; Martínez, A. y Miró, R. "Analysis of the mechanical behaviour of bituminous mixtures at low temperatures". Construction and building materials, Vol. 46, pp. 193-202, 2013.
- [3] Miró, R.; Martínez, A.; Pérez-Jiménez, F. y Botella, R. "Analysis of cracking resistance of bituminous mixtures using Fenix test". Construction and building materials, Vol 59, pp. 32-38, 2014.
- [4] Pérez-Jiménez, F.; Valdés, G.; Muñoz, M.; Miró, R.; Martínez, A.; Botella, R. y Amorós, J. "Criterios y especificaciones para el uso del ensayo Fénix en el diseño de mezclas bituminosas tipo AC". IX Jornada Nacional ASEFMA

2014. Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA), Madrid, 2014.
- [5] López Marco, J.R.; Berbis, J.; Albert, J.R.; Felipo, J.; Moral, A. y Martínez Corral, J. "Nuevas mezclas bituminosas ultradelgadas". X Jornada Nacional ASEFMA 2015. Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA), Madrid, 2015.
- [6] Álvarez, P.; Quintana, C.; Espinosa, J.L. y Montolio, M. "Mezcla ultradelgada discontinua en capa de rodadura de elevada funcionalidad. AUTL-5 (BBTM 5A)". XII Jornada Nacional ASEFMA 2017. Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA), Madrid, 2017.
- [7] López Marco, J.R.; Berbis, J.; Albert, J.R.; Felipo, J. y Moral, A. "Comportamiento y evolución de las características superficiales de las mezclas bituminosas ultradelgadas". XII Jornada Nacional ASEFMA 2017. Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA), Madrid, 2017.
- [8] ORDEN FOM/2523/2014. Artículo 543: Mezclas bituminosas para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas. Orden FOM/2523/2014.
- [9] UNE-EN 13108-5 Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 5: Mezclas bituminosas tipo SMA.
- [10] UNE-EN 13108-2 Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales: Parte 2: Mezclas bituminosas para capas delgadas.
- [10] EN 13108-9 Bituminous mixtures. Material specifications. Asphalt for ultra-thin layer (AUTL).

En **Ferrovial Agroman** y **Ditecpesa** apostamos firmemente por la economía circular, aportando betunes asfálticos específicos para lograr:

- Una primera etapa donde se utilizan los materiales de larga duración; “betún modificado para climas extremos” como en el refuerzo de la A2 tramo Calatayud – Alfajarín en Zaragoza.
- Una segunda etapa reutilizando los pavimentos; “planta asfáltica con unidad industrial específica de reciclado”, como el refuerzo de la A-66 en León.
- Una tercera etapa reciclando materiales; “betunes modificados con polvo de neumático” procedente de 60.000 neumáticos, utilizados en la variante entre Beas y Trigueros en la N-435 en Huelva.

Optimizamos la eficiencia de producción, siendo capaces de suministrar hasta 300 t/día de betún modificado durante 10 días, para el refuerzo de la pista del Aeropuerto Madrid Barajas Adolfo Suárez.

Ditecpesa es una empresa dedicada al desarrollo, fabricación y comercialización de productos asfálticos; betunes asfálticos, betunes asfálticos modificados con polímeros y emulsiones, desde el año **1988**.

Contacto en:
ditecpesa@ferrovial.com
+34 91 879 69 30
www.ditecpesa.com



Crecimiento
basado en
la Innovación

ditecpesa

Una empresa Ferrovial