



# La fisuración en pavimentos asfálticos y sus mecanismos de deterioro

## Cracking in asphalt pavements and damage mechanisms

**Valdés Vidal G. 1, Pérez Jiménez F.2 y Calabi Floody A.3**

**1, 3 Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La Frontera, Chile.  
2Departamento de Infraestructuras del Transporte y el Territorio, Universidad Politécnica  
de Cataluña, España. gvaldes@ufro.cl, phone: 56-45-3256820**

### INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Historial del  
artículo:

Recibido  
05-08-2011  
Aceptado  
13-10-2011  
Publicado  
01-01-2012

Palabras Claves:  
Fisuración,  
agrietamiento.  
Pavimentos  
asfálticos

### ARTICLE INFO

Article history:  
Received  
05-08-2011  
Accepted  
13-10-2011  
Available  
01-01-2012

Keywords:  
cracking,  
asphalt  
pavements,  
mechanisms

### RESUMEN

---

Los deterioros por fisuración en las estructuras de pavimentos asfálticos son los más frecuentes en los fallos presentados en las carreteras, y las causas que los originan son diversas. Por ello, este artículo tiene por objetivo entregar una revisión del contexto en el que se enmarca este tipo de fallo, presentando los agentes causantes de este tipo de deterioro, sus tipologías, los diferentes enfoques utilizados para su representación y análisis, y los mecanismos de fisuración observados en las capas asfálticas. Además se efectúa un análisis de los procedimientos experimentales desarrollados que actualmente se utilizan para evaluar propiedades vinculadas a la resistencia a fisuración en las mezclas asfálticas. Finalmente se presenta un nuevo procedimiento desarrollado por el Laboratorio de Caminos de la Universidad Politécnica de Cataluña (España) para evaluar los mecanismos de fisuración en este material.

### Abstract

---

Distresses by cracking in asphalt pavements are the most common in the highways. Cracking is due to several causes. Therefore, the aim of this paper is provide a review of the context on that this failure mode is produced. This paper shows, the causing agents of this distress type, its classification, the different approaches used for its representation and analysis, and the cracking mechanisms commonly observed. In addition, this paper includes an analysis of the experimental procedures currently used to evaluate properties associated with cracking resistance in asphalt mixtures. Finally, a new process to evaluate the cracking resistance in asphalt mixture, developed by The Roads Laboratory of the Polytechnic University of Catalonia (Spain), is shown.

## 1. Introducción

No cabe duda de que el desarrollo económico y social de un país está estrechamente ligado a un correcto funcionamiento de los sistemas de transporte. Keane en el año 1996, señala que las inversiones en las redes de carreteras tienen un impacto directo a nivel macro y microeconómico en la productividad de una determinada región o localidad de un país, destacando principalmente la influencia directa que tiene un sistema de transporte por carreteras de calidad sobre el empleo y desarrollo industrial de una determinada región, basándose en que las empresas pueden recibir insumos para sus instalaciones de producción, y a su vez, los productos terminados pueden acceder al mercado de manera eficiente. Es decir, un eficiente sistema de transporte permite a las empresas reducir los costos de transporte, lo que reduce los costos de producción, aumentando la productividad y los beneficios. Consecuentemente, Tamames (2003) e Ibarrola (2008), destacan la inversión estatal en construcción y mantenimiento de redes de carreteras como una herramienta de crecimiento económico, generando condiciones de estabilidad en un país. Esto se produce debido a que las inversiones estatales suponen una movilización de recursos que generan una serie de impactos específicos, como el aumento de demanda de otras infraestructuras (p. ej. viviendas), generando imputs en el mercado interno por demanda de materiales como el hierro, acero, cemento y asfalto. Además, se genera un aumento en el PIB del sector de la construcción, estimulando el empleo, y la productividad del sistema económico general, junto con un aumento de las recaudaciones impositivas para el país.

Como se observa, las infraestructuras viales juegan un rol importante dentro del sistema de transporte de cada país, y en éstas, las carreteras son el elemento principal que incide en el desplazamiento de los vehículos que permiten el traslado de personas y mercaderías desde un punto a otro.

El pavimento es una de las partes de la carretera que requiere la mayor inversión de recursos económicos, tanto en su etapa de construcción como en su etapa de mantenimiento. Además, el estado del pavimento influye directamente en la mayoría de los costos usuario de la carretera, aumentándolos cuando su estado no es óptimo, debido principalmente a los aumentos en tiempos de viaje, consumo de combustible y deterioro de los vehículos de transportes, entre muchos otros costos involucrados.

Con el transcurso del tiempo las características iniciales del pavimento van degenerándose, tal cual se ilustra en la Figura 1, provocando de manera progresiva, deterioros que implican la intervención de la estructura mediante tareas de mantenimiento o conservación, o bien, cuando el deterioro es excesivo, se requiere llevar a cabo tareas de rehabilitación o reconstrucción.

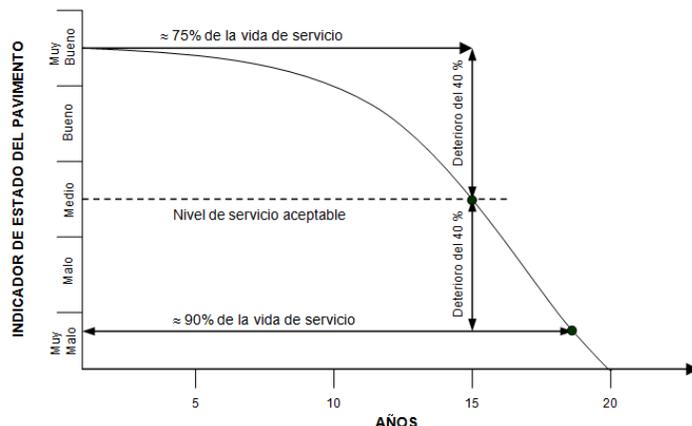


Figura 1. Modelo de deterioro de un pavimento Fuente: De Solminihaç, 2001

Debido a las características funcionales y estructurales entregadas, hoy en día, los pavimentos asfálticos son los más utilizados en la construcción de las redes de carreteras de los diferentes países (Figura 2), y de la calidad y diseño de las mezclas asfálticas utilizadas en ellos depende en gran parte su comportamiento en la fase de operación o servicio.

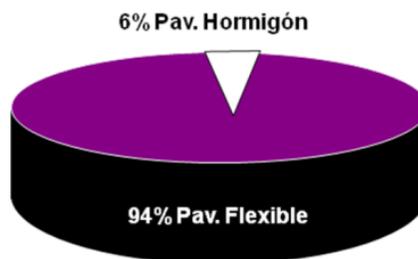


Figura 2. Distribución de tipologías de pavimentos Fuente: FHWA, 2011.

Lo señalado anteriormente también puede observarse en la evolución a nivel mundial de la producción de mezclas asfálticas entre los años 1994 a 2007 para Europa, Estados Unidos y el resto de mundo (Figura 3). Se observa en dicho periodo que Europa ha aumentado su producción en un 25%, pasando de un total de 275,7 millones de toneladas a 342,9 millones de toneladas por año. En Estados Unidos la evolución de la producción de mezclas bituminosas fue más marcada hasta el año 2002, pasando de 459 a 545 millones de toneladas entre los años 1994 y 2002, manteniéndose en los años siguientes la producción en torno a las 500 millones toneladas anuales. A nivel mundial se observa una evolución similar a la registrada en Estados Unidos, presentado el mayor incremento de producción de mezclas en caliente entre los años 1994 y 2002, manteniéndose en los años siguientes la producción en torno a las 900 millones de toneladas anuales.

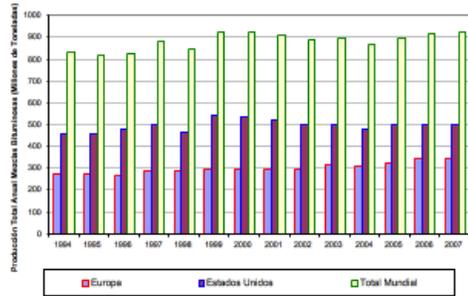


Figura 3. Producción total anual de mezclas asfálticas fabricadas en caliente  
 Fuente: Asphalt in Figures, 2007.

De acuerdo al panorama presentado en este punto queda clara la importancia de tener buenas redes de carreteras dentro de los sistemas de transportes de cada país. Además los niveles de producción de mezclas asfálticas en Europa, USA y el panorama a nivel mundial en torno a la evolución de su producción, nos permite reflexionar respecto a la magnitud de las inversiones en redes de carreteras, principalmente en las capas superiores de la estructura del pavimento, las capas asfálticas, en las cuales se invierten las mayores cantidades de recursos financieros de los proyectos.

Expuesto lo anterior, resulta necesario desarrollar los conocimientos científicos que permitan asegurar la durabilidad de los pavimentos flexibles durante los períodos usuales de diseño. En este contexto, es necesario comprender las tipologías y los mecanismos de deterioros de las carreteras, de manera tal, que la comprensión de estos fallos permitan diseñar materiales que aumenten su durabilidad frente a los mecanismos solicitantes en condiciones de servicio, optimizando así, las inversiones y los costos de mantenimiento realizados en las carreteras.

De acuerdo a la Federal Highway Association (FHWA), entre los deterioros más frecuentes producidos en las capas asfálticas de las estructuras de carreteras se encuentran las deformaciones plásticas y los daños producidos por la fisuración de las estructuras (Figura 4). La fisuración es el más frecuente en los fallos ocurridos, por lo cual, en este artículo se presentarán los agentes causantes de este tipo de fallo, sus tipologías, los diferentes enfoques utilizados para su representación y análisis, y los mecanismos de fisuración observados en las capas asfálticas. Además se dará a conocer una revisión de los procedimientos experimentales desarrollados que actualmente se utilizan para evaluar propiedades vinculadas a la resistencia a fisuración en las mezclas asfálticas. Conjuntamente se mostrará un nuevo procedimiento desarrollado por Laboratorio de Caminos de la Universidad Politécnica de Cataluña (España) para evaluar los mecanismos de fisuración en este material.

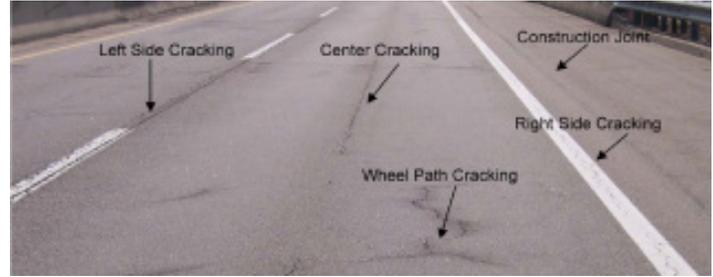


Figura 4. Tipos de fisuración en pavimentos asfálticos  
 (Fuente: Kuai et al., 2009)

## 2. Agentes solicitantes de los pavimentos

Los principales agentes solicitantes de los pavimentos son las cargas generadas por el tránsito y las condiciones ambientales a las que está expuesto el pavimento durante su vida útil.

El tránsito solicitante es un factor de primera importancia a la hora de determinar o predecir el daño en el tiempo que sufrirá un pavimento en un periodo dado. Sin embargo, la caracterización de las solicitaciones producidas por el tránsito sobre los pavimentos es bastante compleja, debido no solo a la variabilidad y periodicidad de los vehículos que lo solicitan, sino también a las interacciones vehículo-pavimento y velocidades de circulación que producen fenómenos con solicitaciones adicionales a las propias cargas estáticas de los vehículos. Un ejemplo de las deformaciones producidas en la base de la estructura de un pavimento asfáltico producto de las cargas del tránsito se puede observar en la Figura 5.

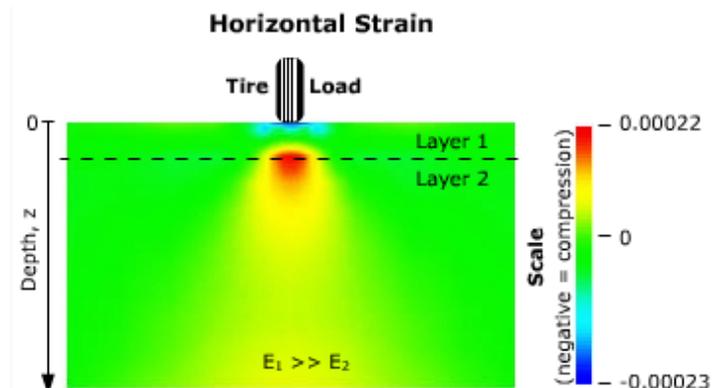


Figura 5. Deformaciones generadas en el pavimento por las cargas del tránsito  
 Fuente: Pavement Interactive Guide

Por otra parte, las solicitaciones medioambientales tienen también una gran influencia en el comportamiento mecánico del pavimento. Básicamente, dos son los efectos que afectan las características del pavimento, la temperatura y la humedad. La temperatura influye de manera directa en la rigidez del pavimento, ya que a medida que aumenta la temperatura, la capa superior del pavimento se vuelve menos rígida y cuando disminuye se incrementa la rigidez de esta capa.

A su vez, la temperatura también afecta a los estados tensionales del pavimento, puesto que cuando bajan las temperaturas se generan altas tensiones superficiales de retracción en la superficie del pavimento, tal cual se observa en la Figura 6.

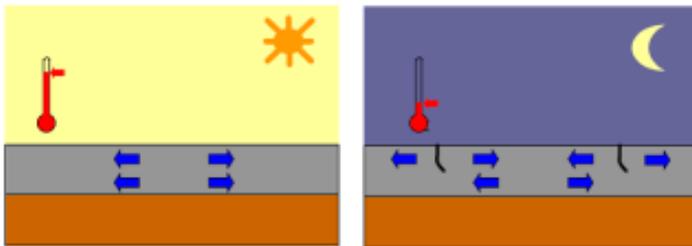


Figura 6. Tensiones generadas por variaciones térmicas  
 Fuente: Martínez, 2006

Por otro lado, se encuentra la humedad, la cual tiene una gran influencia en la adhesividad entre los materiales componentes de las capas asfálticas, junto con ser el origen de los posibles fallos en la estructura de pavimento producto de la infiltración de agua en sus capas inferiores.

Existe a su vez, un efecto combinado entre la temperatura, la radiación solar, la humedad y el aire que produce una oxidación del ligante de la mezcla asfáltica a través del tiempo, que implica un aumento de rigidez de la mezcla, y por ende, un aumento de fragilidad de ésta, haciéndola más susceptible a fallos por fisuración. Ambos agentes solicitantes, tanto las cargas de tránsito como las condiciones medioambientales, junto con ser los factores que dan lugar a los principales tipos de fallos en las carreteras, en modo conjunto tienen un efecto directo sobre el nivel de serviciabilidad del pavimento en el tiempo, tal como se observa en la Figura 7.

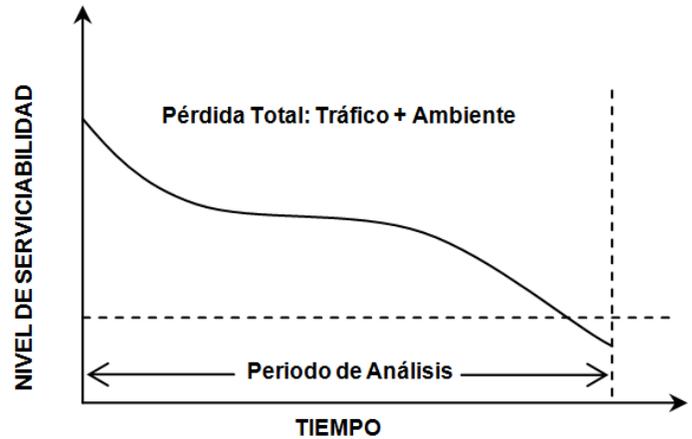
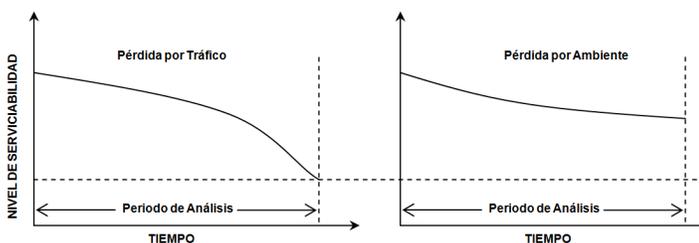


Figura 7. Efecto conjunto tráfico y medioambiente sobre la serviciabilidad de un pavimento Fuente: De Solminihaç, 2001

### 3. Deterioros por fisuración en pavimentos asfálticos

Numerosos investigadores señalan que el fallo por fisuración en los pavimentos bituminosos es un fenómeno sumamente complejo, difícil de representar por medios experimentales y que está regido por una amplia gama de factores, dentro de los cuales se puede considerar las características de los materiales constituyentes, el espesor de la capa y el proceso de ejecución de la mezcla. Por otra parte, tal como se señaló en el punto anterior, existe la importante influencia de los agentes externos que solicitan el pavimento, que tienen que ver principalmente con las características de las cargas aplicadas y condiciones climáticas imperantes en el medioambiente (Brown et al., 2001; Roberts et al., 1996; McGennis et al., 1994).

Los agentes solicitantes que interactúan con los pavimentos dan lugar a una serie de fallos o tipos de fallos por fisuración. El catálogo de fallos desarrollado en el programa Strategic Highway Research Program (SHRP) para su utilización en el Long-Term Pavement Performance Program (LTPP), reconoce los tipos de fisuración tal cual se indican en la Tabla 1.

Fisuración en pavimentos asfálticos)
Fisuración por Fatiga
Fisuración en Bloque
Fisuración de Borde
Fisuración Longitudinal
Fisuración por Reflexión en Juntas
Fisuración Transversala

Tabla 1. Tipos de fallos por fisuración en pavimentos asfálticos Fuente: FHWA, 2003

### 3.1 Fisuración por fatiga

Este tipo de fallo, también conocido como “piel de cocodrilo”, ocurre generalmente en áreas del pavimento sujeta al impacto de numerosas y repetidas cargas por tráfico, principalmente en la zona de rodadura de la calzada, en la cual la mezcla asfáltica sufre un fatigamiento, o pérdida paulatina de sus propiedades estructurales, producto de las cargas reiteradas. Generalmente este tipo de fallo se caracteriza por tener un patrón geométrico descrito por numerosas grietas interconectadas entre sí, formando trozos de ángulos agudos.

La fisuración por fatiga se puede presentar en diferentes niveles de severidad, Figura 8.

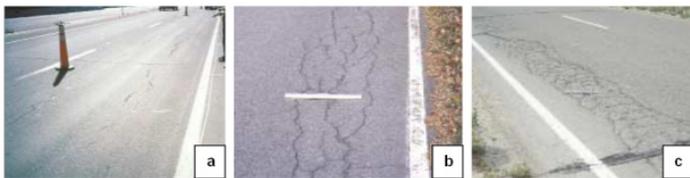


Fig. 2-7 Deterioro por Fatiga en diferentes niveles de severidad. (a). Bajo, (b). Moderado, (c) Alto (Fuente: FHWA, 2003)

Figura 8. Deterioro por fatiga en diferentes niveles de severidad - (a), Bajo, (b), Moderado, (c) Alto Fuente: FHWA, 2003

Corresponde a un nivel de severidad bajo cuando las fisuras están apenas interconectadas entre sí, y no existe expulsión de finos desde las capas inferiores. El nivel de severidad moderado se presenta con un mayor número de grietas interconectadas y sin presencia de expulsión de finos desde las capas inferiores. Finalmente, el alto grado de severidad se puede observar cuando las grietas están completamente interconectadas, presentando expulsión de finos desde las capas inferiores, y además existen trozos de pavimento desprendidos que se mueven con el paso del tránsito.

Dentro de los deterioros de fisuración por fatiga se pueden identificar dos mecanismos. El primero, en que la fisura progresa desde la capa de base, se conoce como fisura ascendente (bottom-up cracking), o también, fisuración “clásica” por fatiga. Este fallo se produce por tensiones y deformaciones producto de esfuerzos de tracción en la base de la capa asfáltica, que provoca que la fisura se inicie y se propague hacia la superficie. En el segundo mecanismo, las fisuras se inician y se propagan desde la superficie del pavimento hacia la base y es conocida como fisuración por fatiga descendente (top-down fatigue cracking). Este fallo ocurre generalmente en pavimentos de mayor espesor, a causa de tensiones combinadas de tracción y corte en la superficie del pavimento bituminoso, en la interfase neumático – pavimento, producto del tránsito de vehículos pesados con neumáticos con altas presiones

de inflado, sumado también el efecto del envejecimiento de la mezcla asfáltica y el efecto térmico que provoca retracciones en el pavimento cuando las temperaturas bajan.

### 3.2 Fisuración en bloque

Este tipo de fisuración se caracteriza por presentar fisuras o grietas que conforman una serie de trozos aproximadamente rectangulares, cuyas dimensiones pueden estar comprendidas entre 0,1 y 10 m<sup>2</sup>, Figura 9.



Figura 9. Fisuración en bloque Fuente: Pavement Interactive, Asphalt Pavement Guide

Este tipo de fallo es causado principalmente por las tensiones generadas por diferenciales térmicos, especialmente en mezclas asfálticas con módulos de rigidez muy altos, en las cuales se provocan retracciones superficiales que dan origen a este tipo de fallo. Otras causas posibles se atribuyen a la falta de espesor o fatiga de las capas del firme, falta de capacidad de soporte de la estructura de pavimento, o bien, a una mala ejecución de las capas que componen el pavimento.

### 3.3 Fisuración de borde

Este tipo de fisuración se caracteriza por presentar grietas en forma de media luna y se encuentran ubicadas a una distancia no mayor de 0,6 m del borde de la calzada, Figura 10.



Figura 10. Fisuración de borde  
 Fuente: Dirección de Vialidad-Chile, 2003

Este fallo se produce en los bordes de las capas asfálticas del pavimento que no cuenta con bermas pavimentadas.

Su causa se atribuye a una base granular débil por falta de compactación y confinamiento. Otro factor que acelera este tipo de deterioro es la posible infiltración de humedad, por drenaje insuficiente, que provoca una baja en la estabilidad de las bases de la estructura del pavimento.

### 3.4 Fisuración longitudinal

Este tipo de fallo se caracteriza por la aparición de grietas predominantemente paralelas al eje del camino, Figura 11.

Cuando la posición de la grieta se encuentra a lo largo del eje de la calzada se atribuye su causa a una mala ejecución de la junta de construcción longitudinal en el extendido de la mezcla asfáltica. Cuando la grieta aparece localizada en la zona de la huella de paso de los vehículos, su causa se atribuye a problemas en las capas inferiores, capas de base y subbase granular, o bien, a un fallo por fatiga de la mezcla. Finalmente cuando las grietas se localizan en otras posiciones su origen se le atribuye a contracciones térmicas producidas en el pavimento cuando existen descensos de temperatura.

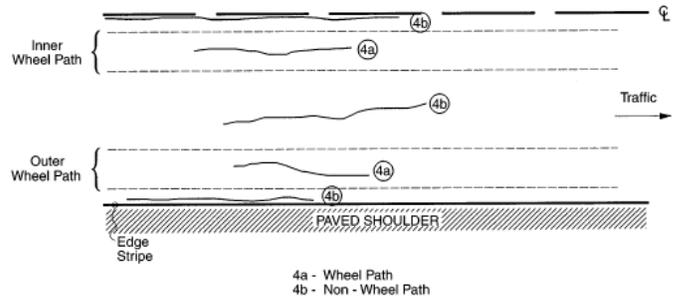


Figura 11. Tipos de fisuración longitudinal  
 Fuente: FHWA, 2003

Este tipo de fisuración se puede presentar como fisuración ascendente (bottom-up cracking), cuando la causa es principalmente por debilitamiento de las capas inferiores o es un comienzo de fallo por fatiga, o también se puede presentar como fisuración descendente (top-down cracking), cuando el fallo obedece a causas de origen término, o bien, por el paso de vehículos pesados con neumáticos con altas presiones de inflado, generando tensiones de tracción superficial, tal cual se observa en la Figura 12.



Figura 12. Fisuración longitudinal descendente- top down cracking  
 Fuente: Harmelink and Aschenbrener, 2003

### 3.5 Fisuración por reflexión en juntas

Este tipo de fisuración se caracteriza por la aparición de grietas que se producen en las capas asfálticas que refuerzan un pavimento de hormigón, coincidiendo con las juntas y grietas de éste. Estas fisuras progresan a medida que trabajan o se mueven las juntas del pavimento de hormigón ubicado en la capa inferior, reflejándose así la fisura en la superficie. También este tipo de fallo se produce en recapados asfálticos sobre antiguas estructuras de pavimentos con fisuras existentes, las cuales se reflejan en la nueva capa de mezcla hacia la superficie, Figura 13.



Figura 13. Fisuración por reflexión de juntas  
 Fuente: Pavement Interactive, Asphalt Pavement Guide

### 3.6 Fisuración transversal

Este tipo de fallo se caracteriza por presentar fisuras aproximadamente normales al eje del camino y se producen sin existir un pavimento de hormigón subyacente, Figura 14. La principal causa atribuida a este tipo de deterioro es el efecto térmico en pavimentos flexibles con mezclas asfálticas de alta rigidez, en el cual se generan tensiones de tracción en la superficie del pavimento cuando las temperaturas bajan. Otra causa probable es la reflexión de las fisuras existentes en las capas bituminosas inferiores del pavimento, producto de una mala ejecución en su junta de construcción transversal, o bien, por reflexión de las fisuras en capas de base tratadas con cemento.



Figura 14. Fisuración transversal  
 Fuente: FHWA, 2003

## 4. Mecanismos de fisuración

La formación de fisuras en las mezclas asfálticas reconoce tres etapas. La primera etapa es llamada iniciación, donde se producen los primeros cambios microestructurales producto de las sollicitaciones a las que está sometido el material dando lugar a la formación de microfisuras, Figura 15(a). Luego sigue la etapa de propagación, donde se generan las macrofisuras producto de la unión de las microfisuras existentes. Esta unión de microfisuras se debe a que se generan mecanismos de trabazón en la matriz de áridos, Figura 15(b), los cuales junto con las discontinuidades propias del material, como son las dislocaciones existentes, los poros y huecos presentes, se producen puentes de fisuración aumentando la longitud de la fisura, Figura 15 (c- f), hasta terminar finalmente con la fractura o fallo total del material, que es cuando se han separado íntegramente las dos caras de material solicitado.

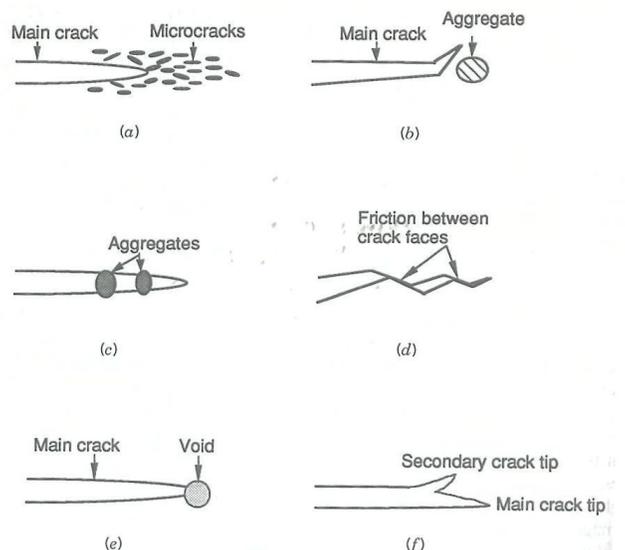


Figura 15. Mecanismos desarrollados durante el proceso de fisuración  
 Fuente: Shah et al., 1995

Una forma de clasificación de las formas de fisuración de un material fue la introducida por Irwin en 1957, que permite estudiar la concentración de tensiones en la cabeza de una fisura y mostrar sus modos de propagación, definiendo 3 modos: Modo I o modo de apertura (tracción normal), en el cual las caras de la fisura se separan casi paralelamente entre sí, Modo II o modo de corte (corte normal), en el cual las caras de la fisura se deslizan una sobre la otra y Modo III o modo de rasgado (corte paralelo), en el cual las caras de una fisura se deslizan lateralmente una respecto a la otra, Figura 16.

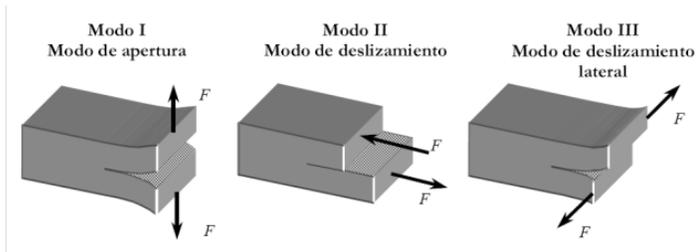


Figura 16. Tres modos fundamentales de propagación de fisuras  
 Fuente: Oller, 2001

De acuerdo a lo señalado por Braham et al. el año 2007, de los modos de fisuración antes descritos, es el modo I el que más representa el deterioro producido en el pavimento, el cual es observado generalmente cuando una rueda cargada pasa sobre una fisura transversal o longitudinal, cuando se producen esfuerzos térmicos en la superficie de la capa de rodadura, o bien, cuando se producen movimientos de contracción térmica en capas rígidas ubicadas bajo una capa de mezcla bituminosa.

### 5. Actuales procedimientos para evaluar la fisuración en mezclas asfálticas.

En la literatura se han identificado cuatro ensayos cuya finalidad es medir propiedades mecánicas relacionadas con la fisuración de las mezclas asfálticas. El ensayo de viga entallada, SE(B), se ha utilizado en varios estudios para determinar las propiedades de fractura de las mezclas asfálticas. La geometría del ensayo SE(B), que se muestra en la Figura 17, proporciona una adecuada propagación de la fisura de acuerdo al modo I de fractura. Sin embargo, de acuerdo a lo señalado por Wagoner et al. en el año 2005, su geometría tiene la desventaja de que al no ser una probeta estandarizada, se limita su aplicabilidad a vigas compactadas en laboratorio, no permitiendo su aplicación a testigos.

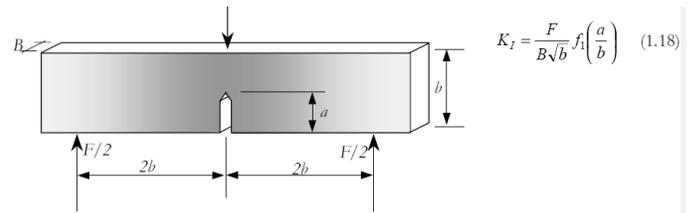


Figura 17. Esquema del ensayo SE(B)  
 Fuente: Portillo y Cobon, 2008

El ensayo de viga semicircular a flexión, SCB, ha sido aplicado en varios estudios, destacando entre las ventajas de éste ensayo (SCB), su fácil aplicación a probetas y testigos, y que requiere un menor número de muestras por su geometría, Figura 18. Sin embargo, la forma de aplicación de la carga produce un complejo estado tensional que afecta en el proceso de propagación de la fisura, generando un efecto de arco con altos esfuerzos de compresión en la localidad cercana a la fisura (Wagoner, 2005).

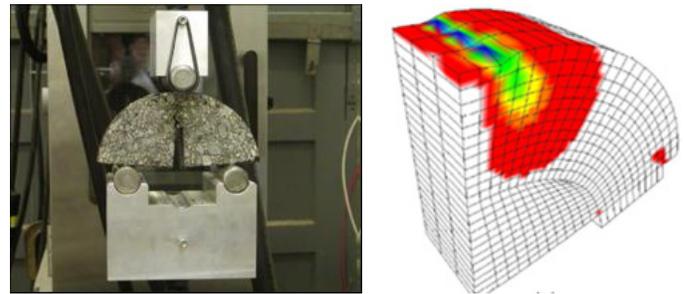


Figura 18. Montaje del ensayo SCB y daño en zona de aplicación de carga  
 Fuente: Huang et al., 2004 y Molenaar et al., 2002

El ensayo de disco compacto a tracción, DC(T), tiene las ventajas de presentar un tamaño mayor del área de fractura y que posibilita su aplicación a testigos, Figura 19. Sin embargo, en el proceso de fabricación de las probetas existe el inconveniente de generar microfisuras en los alrededores de los orificios donde se aplica la carga. Sumado a lo anterior, existe la complejidad de efectuar el ensayo a temperaturas superiores a los 10 °C. (Pérez et al., 2009)

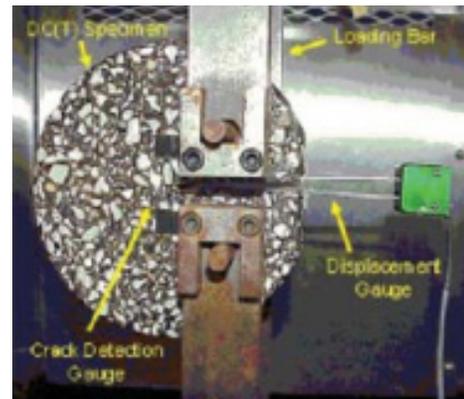


Figura 19. Montaje ensayo DC(T)  
 Fuente: Kim et al., 2009

El ensayo DBDT que se muestra en la Figura 20 fue desarrollado recientemente por la Universidad de Florida, posee las ventajas de tener un plano de falla conocido y que su geometría permite que las muestras se puedan fabricar de probetas cilíndricas o testigos. La metodología de fabricación de las probetas y los complejos equipos requeridos dificultan una aplicación práctica de este ensayo.

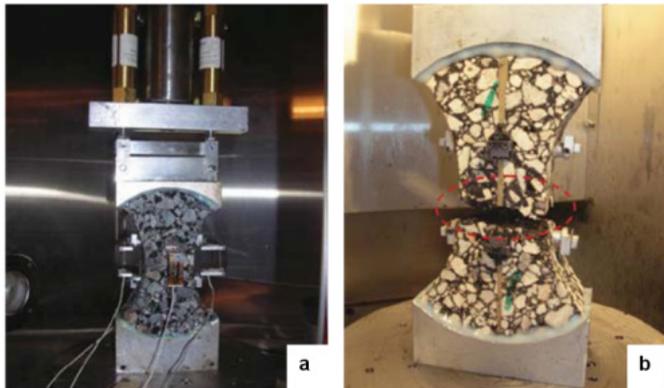


Figura 20. Montaje del ensayo DBDT (a) y la probeta una vez realizado el ensayo (b)  
 Fuente: Koh et al., 2009

## 6. Nuevo procedimiento desarrollado para evaluar la fisuración en mezclas asfálticas

En el Laboratorio de Caminos de la Universidad Politécnica de Cataluña (España) se ha desarrollado un nuevo ensayo experimental práctico, cuya finalidad en su desarrollo fue solventar las desventajas presentes en los procedimientos definidos en el punto anterior. Este procedimiento permite evaluar la resistencia a la fisuración de las mezclas asfálticas a través del cálculo de la energía disipada en el proceso de fisuración de las mezclas, a través de un procedimiento que simula el principal modo de fisuración en pavimentos, el Modo I. Este ensayo ha sido llamado Fénix de acuerdo al proyecto de investigación que ha permitido su desarrollo (Proyecto CENIT: Investigación Estratégica de Carreteras más Seguras y Sostenibles, Acrónimo: FÉNIX). Un esquema de su montaje, junto con la curva resultante se observa en la Figura 21.

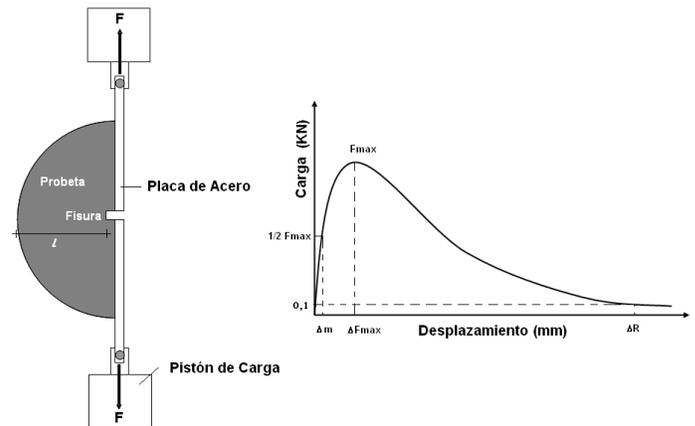


Figura 21: Montaje ensayo Fénix, curva carga-desplazamiento.  
 Fuente: Valdés et al., 2009

El ensayo Fénix permite obtener la energía disipada en el proceso de fisuración del material, la cual es una combinación de energías liberadas durante el proceso de deformación y fractura del material. La evaluación de la energía disipada en ensayo se presenta como una forma efectiva de medir la resistencia a la fisuración en las mezclas asfálticas. A su vez, el ensayo Fénix presenta la particularidad de desarrollar principalmente tensiones de tracción en los alrededores de la fisura, focalizando el trabajo realizado en propagar la fisura a través del plano previamente inducido, tal cual se muestra en la Figura 22.

La sensibilidad de este ensayo frente a las temperaturas de ejecución se puede observar en la Figura 23. En esta figura se puede observar que a bajas temperaturas,  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la fisura se produce en toda la matriz árido – ligante, dejando áridos fracturados a medida que progresa la fisura. A temperaturas intermedias,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se observa que la fisura se produce mayoritariamente en la interfase árido – ligante, fracturando sólo algunos áridos a medida que ésta se propaga. Finalmente, a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se observa que la fisura se produce prácticamente sólo en la interfase árido- ligante.

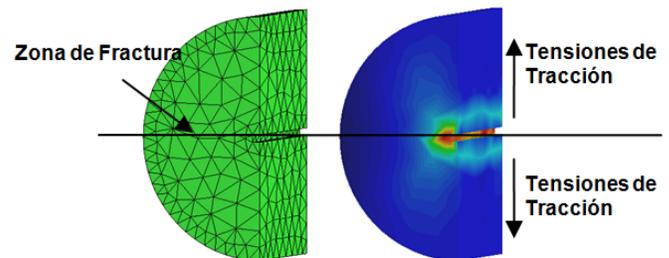


Figura 22: Tensiones de tracción ensayo Fénix.  
 Fuente: Pérez et al., 2010.

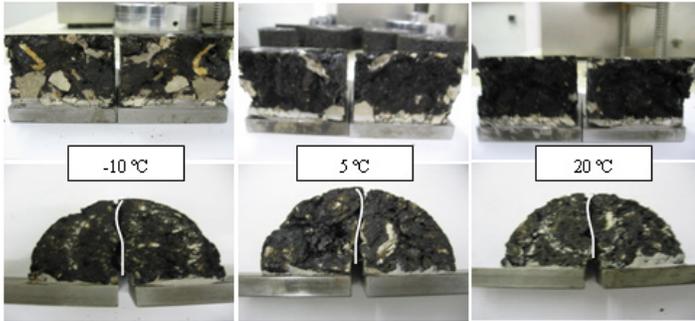


Figura 23. Superficies de fractura a distintas temperaturas en probetas Fénix (Valdés et al., 2009)

Por otra parte, los resultados de la aplicación del procedimiento del ensayo Fénix a mezclas de igual composición granulométrica, pero fabricadas con ligantes de diferente penetración se observan en la Figura 24.

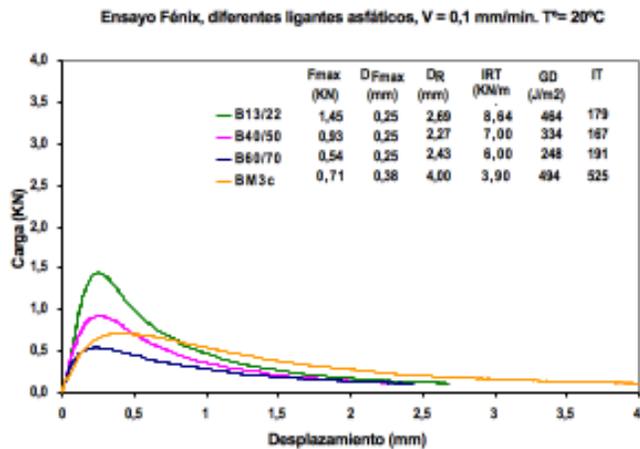


Figura 24. Resultados de parámetros Fénix en distintos ligantes asfálticos. (Valdés et al., 2009)

## 5. Conclusiones

En este artículo se presenta la importancia que tienen las infraestructuras de transportes en el desarrollo económico de un país, y a raíz de ello, la necesidad poder contar con infraestructuras que no presenten deterioros. En este contexto, en este trabajo se describe la influencia y los mecanismos de uno de los principales deterioros frecuentes en nuestras carreteras, la fisuración de las capas asfálticas. Por ello, se realizó un análisis descriptivo de los procedimientos actuales que tratan de simular los mecanismos de fisuración a través de ensayos experimentales, señalando las ventajas y desventajas de éstos. Finalmente se muestran los principales resultados experimentales de un nuevo procedimiento diseñado que permite caracterizar y diseñar mezclas asfálticas con una mayor resistencia a la fisuración, llamado ensayo Fénix. El ensayo Fénix posee metodología experimental que es de fácil aplicación y ha demostrado ser un procedimiento sensible y repetible, con el que se han evaluado diferentes temperaturas de ensayo y tipos de mezclas asfálticas.

## 6. Referencias

- A. Braham, Peterson C., Buttlar W. 2009. Mixed-mode cracking in asphalt concrete, *Advanced Testing and Characterization of Bituminous Materials*, Vol.2, pp. 785-793.
- Brown R., Kandhal P., Zhang J. 2001. Performance Testing for Hot Mix Asphalt. NCAT Report 01-05, National Center for Asphalt Technology.
- De Solminihaç, H. 2001. *Gestión de Infraestructura Vial*. 2ª edición, Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- European Asphalt Pavement Association, *Asphalt in Figures*, 2007.
- Dirección de Vialidad – Ministerio de Obras Públicas. 2003. *Manual de Carreteras*, Volumen 7 (Mantenimiento Vial), Chile.
- Federal Highway Administration. 2003. *Distress Identification Manual for Long-Term Pavement Performance Program*, Publication Nº FHWA-RD-03-031, USA.
- Harmelink D., Aschenbrenner T. 2003. Extent of top-down cracking in Colorado, Report No. CDOT-DTD-R-2003-7, Colorado Department of Transportation.
- Huang B., Brian E., William R., Zhang Z., Zuo G. 2004. Laboratory Study of Fatigue Characteristics of HMA Surface Mixtures Containing RAP, In Transportation Research Board, TRB Annual Meeting. CD-ROM, Washington, D.C., USA.
- Ibarrola H. 2008. La Importancia de la Infraestructura Carretera en el Desarrollo Económico de un País. *Rutas*, Nº 127, pp. 2-3.
- Keane T. 1996. The Economic Importance of the National Highway System. *Public Road*, Vol. 59, Nº 4.
- Kim H., Partl M., Wagoner M., Buttlar W. 2009. Size effect investigation on fracturing of asphalt concrete using the cohesive softening Discrete Element Model, *Advanced Testing and Characterization of Bituminous Materials*, Vol.2, pp. 827-836.
- Koh C., Lopp G., Roque R. 2009. Development of a Dog-Bone Direct Tension Test (DBDT) for asphalt concrete. *Advanced Testing and Characterization of Bituminous Materials*, Vol.1, pp. 585-596.
- Kuai, H., Lee H., Zi G. 2009. Application of Generalized J Integral to Crack Propagation Modeling. In Transportation Research Board, 88th Annual Meeting. CD-ROM, Washington, D.C., USA.
- Martínez F. 2006. Deterioro en Capas Asfálticas: Fisuración, *Jornadas Técnicas de Actualización y Capacitación en el Área de los Pavimentos Flexibles*, Argentina.
- McGennis R., Anderson R., Kennedy T., Solaimanian M. 1994. Background of Superpave Asphalt Mixture Design and Analysis. Publication No. FHWA-SA-95-003.
- Molenaar A., Scarpas A., Liu X., Erkens S. 2002. Semi-Circular Bending Test; Simple but Useful?. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 71, pp. 795-815.
- Oller S. *Fractura Mecánica*. 2001. Un Enfoque Global, Centro Internacional de Métodos Numéricos, Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- Pérez F., Valdés G., Miró R., Martínez A., Botella R. 2010. Fénix Test: development of a new test procedure for evaluating cracking resistance in bituminous mixtures, In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, in press, Transportation Research Board of the National Academies, ISSN 0361-1981, Vol 2181/2010, pp 36-43.
- Portillo O., Cebon D. 2008. Fracture of Bitumen and Bituminous Mixes, Oatley Seminar, Cambridge University Engineering Department.
- Roberts F., Kandhal P., Ray E., Lee D., Kennedy T. 1996. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction*. NAPA Education Foundation, Second Edition.
- Shah S., Shwartz S., Ouyang Ch. 1995. *Fracture Mechanics of Concrete, Applications of Fracture Mechanics to Concrete, Rock and Other Quasi-Brittle Materials*, Wiley-Interscience Publication, New York, USA.
- Tamames R. 2003. Una Visión Global desde La Economía Ecológica: Desarrollo Sostenido y Desarrollo Sostenible, *La Nueva Cultura de Las Carreteras*. Asociación Española de la Carretera. pp. 13-33.
- Valdés G., Pérez F. y Botella R. 2009. Ensayo Fénix, una nueva metodología para medir la resistencia la fisuración en mezclas asfálticas, *Revista de la Construcción*, ISSN 0717-7925, Nº 14, pp. 114-125.
- Wagoner M., Buttlar W., Paulino G. 2005. Disk-shaped Compact Tension Test for Asphalt Concrete Fracture, *Experimental Mechanics*, Vol. 45, Nº 3, pp 270-277.