

COMPORTAMIENTO A FATIGA DE BETUNES MEDIANTE EL USO DEL DSR.

Reyes-Ortiz, Oscar Javier.
Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona-España.
Universidad M. Nueva Granada. Bogotá-Colombia.
oscar.reyes@unimilitar.edu.co

Pérez-Jiménez, Félix E.
Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona – España.
edmundoperez@upc.edu

Botella Nieto, Ramón
Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona – España.
ramon.botella@upc.edu

Miro Recacens, Rodrigo
Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona – España
r.miro@upc.es

Amoros Parras, Jose
Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona – España.
j.amoros@upc.edu

Resumen

El objetivo principal del artículo fue determinar el comportamiento a fatiga de diferentes tipos de betún a partir de ensayos en el reómetro de corte dinámico (DSR). Los ensayos en el DSR se realizaron a una tensión senosoidal de amplitud constante, a una frecuencia de 1,59 Hz y a 20°C. Los betunes estudiados fueron B-13/22, B-40/50, B-60/70, B-80/00, B-150/200 y un BM-3c (betún modificado). Durante los ensayos se midió la evolución de la deformación, el módulo complejo, el ángulo de desfase, la energía disipada y el ratio de energía disipada con los ciclos de carga, parámetros para determinar el ciclo de fallo por fatiga de los betunes. En primer lugar, se estableció en las curvas de evolución de la deformación con los ciclos de carga, el rango de deformación de rotura, zona donde la evolución de la deformación crece de forma súbita y se presenta el fallo por fatiga. Posteriormente del análisis del ratio de energía disipada (DER) y de la evolución de la deformación con los ciclos de carga, se determinó el ciclo donde se produce el fallo. Del estudio se obtuvo un nuevo criterio de fallo de fatiga, consistente en calcular la fatiga del betún cuando alcanza un valor de 10% pasado el valor máximo de la curva de ratio de energía disipada. Por último se obtuvieron las leyes de fatiga de los betunes con los resultados de deformación de rotura y ciclo de fallo.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno de fatiga es una de las principales causas del daño de las mezclas bituminosas, de ahí la importancia de su estudio. Múltiples autores han definido su comportamiento y han evaluado su proceso mediante la ejecución de ensayos de laboratorio con la aplicación de tensiones, deformaciones o desplazamientos controlados en forma cíclica [1, 2, 3], sin embargo, se ha estudiado menos el betún como causa de dicho proceso. La normativa SUPERPAVE dentro de los ensayos propuestos, plantea el uso del reómetro de corte dinámico para establecer el agrietamiento por fatiga de los betunes mediante el análisis de G^* sen δ en ensayos a deformación controlada, a una frecuencia de 1,59 Hz y en los primeros ciclos de carga [4]. Sin embargo, diferentes autores han estudiado el comportamiento del betún con base en los criterios de análisis hechos por SUPERPAVE y han manifestado la escasez de información del sistema, razón por la cual han planteado nuevas hipótesis a tener en cuenta en el análisis del comportamiento del betún y de su fallo por fatiga [5, 6, 7, 8].

H. Soenen, De la Roche y Redelius [9], determinaron leyes de fatiga de betunes con el DSR. Las leyes de fatiga fueron hechas con muestras de betún de 8 mm de diámetro y 2 mm de alto. El criterio para determinar las leyes de fatiga fue someter múltiples muestras a deformación controlada y calcular el ciclo de la rotura cuando el módulo complejo inicial se reduce al 50%, criterio clásico de falla de mezclas bituminosas a desplazamiento controlado. (Figura 1).

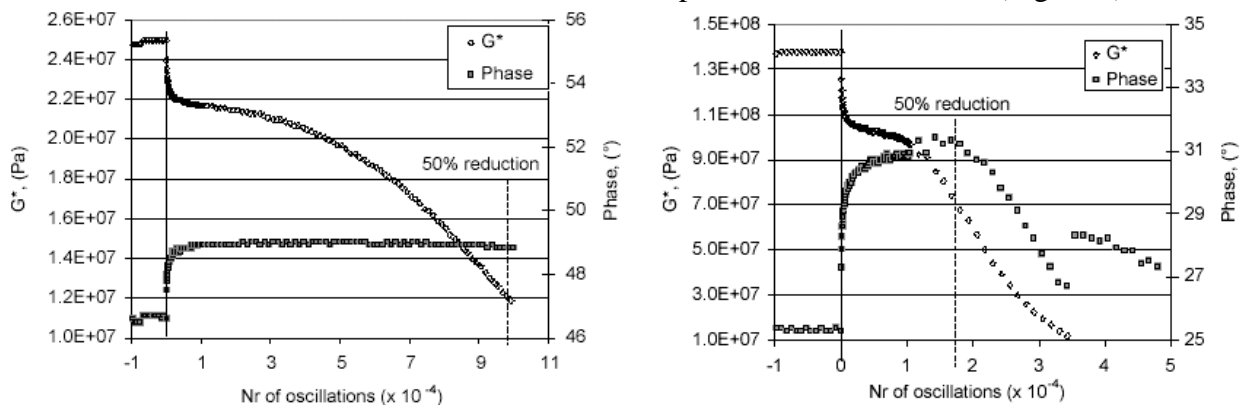


Figura 1 Fallo por fatiga al 50% de la reducción del módulo complejo. Criterio clásico.

Delgadillo y Bahia [10], han estudiado la fatiga de los betunes con ensayos en el DSR mediante el análisis de la energía disipada (ecuación 1) y el ratio de energía disipada (ecuación 2). Del grafico de ratio de energía disipada con respecto a los ciclos de carga (Figura 2), para ensayos a esfuerzo controlado, la curva inicia con una pendiente constante y que luego de la aplicación de cierta cantidad de ciclos, la curva empieza a separarse de la línea tangente, punto denominado como formación de las grietas e inicio del fallo por fatiga. Posterior a este punto, la curva continúa creciendo, pero cada vez alejándose más de la línea tangente, hasta llegar a un punto donde obtiene su valor máximo, punto denominado por los autores donde se crea el fallo por fatiga. En ensayos a deformación controlada, el comportamiento de la gráfica de ciclos de carga contra DER, consiste en la separación ascendente de la curva con respecto a la línea tangente, determinándose que el punto de fallo por fatiga es cuando la separación alcanza un valor del 20%. (Figura 3).

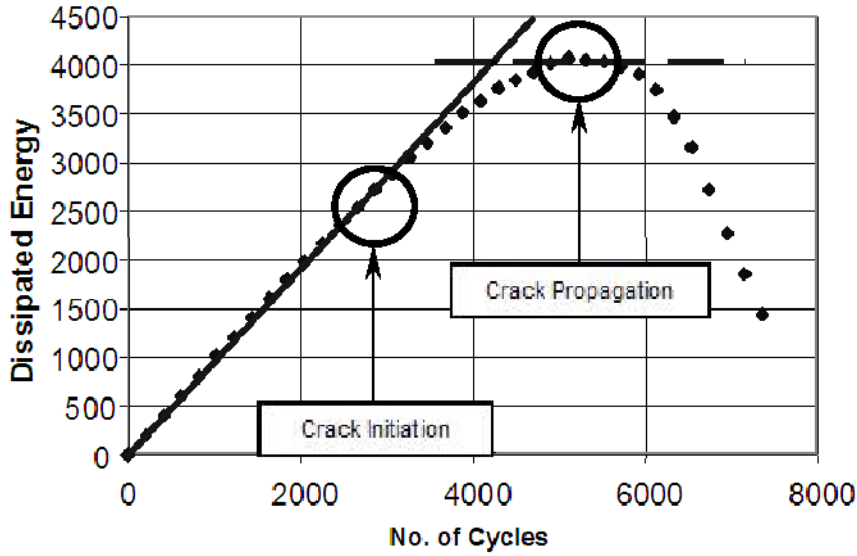


Figura 2 Variación del ratio de energía disipada a esfuerzo controlado.

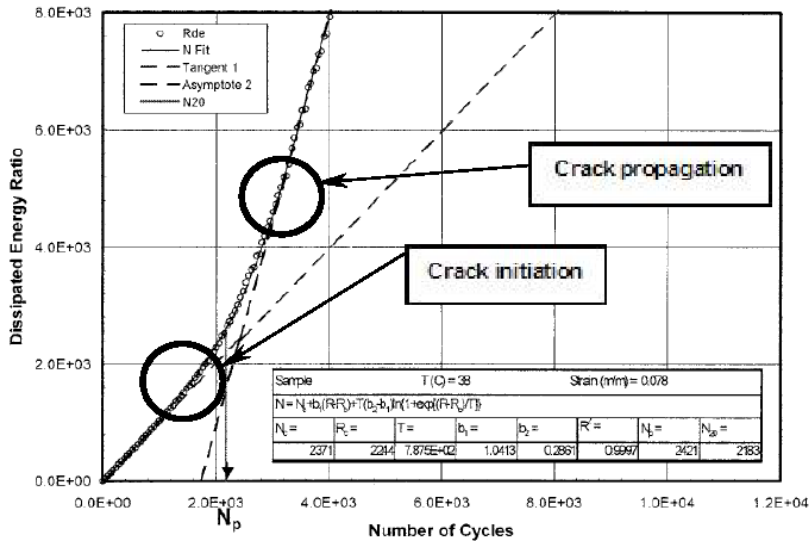


Figura 3 Variación del ratio de energía disipada con deformación controlada.

$$w = \pi \sigma \varepsilon \sin \theta \quad \text{Ecuación 1}$$

$$DER = \frac{\sum_{i=1}^n \pi \sigma_i \varepsilon_i \sin \theta_i}{\pi \sigma_n \varepsilon_n \sin \theta_n} \quad \text{Ecuación 2}$$

donde,

DER = Ratio de energía disipada.

w = Energía disipada

σ = Esfuerzo aplicada

ε = Deformación aplicada

θ = Ángulo de desfase.

El objetivo de esta investigación fue determinar el comportamiento a la fisuración por fatiga de diferentes asfaltos convencionales y modificados a partir de ensayos en el DSR a esfuerzo controlado, planteando el fallo por fatiga a partir del análisis de la evolución de la deformación de las muestras, de la energía disipada y el ratio de energía disipada.

ESTUDIO EXPERIMENTAL

Para el estudio del comportamiento a fatiga con el uso del DSR a tensión controlada, se utilizaron los betunes convencionales B-13/22, B-40/50, B-60/70, B-80/100, B-150/200 y el betún modificado con polímero BM-3c [11]. Las muestras fabricadas de betún para los ensayos fueron de 2 mm de alto por 8 mm de diámetro. Las condiciones de ensayo establecidas consistieron en fijar la muestra entre dos platos paralelos, posteriormente aplicar un torque senosoidal de carga controlada a una frecuencia de 1,59 Hz y a una temperatura de 20C (Figura 4). En la investigación, la tensión aplicada oscilo entre 1000 y 9000 Pa. Las variables medidas fueron la variación de la deformación con los ciclos de carga, el módulo complejo, la energía disipada y el ratio de energía disipada. La deformación medida en cada ciclo de carga por el equipo utilizado en la investigación, corresponde a la relación entre el radio de la muestra por el ángulo generado por el torque aplicado, todo lo anterior dividido por la altura de la muestra, tal como se observa en la Figura 5 y ecuaciones 3 y 4.

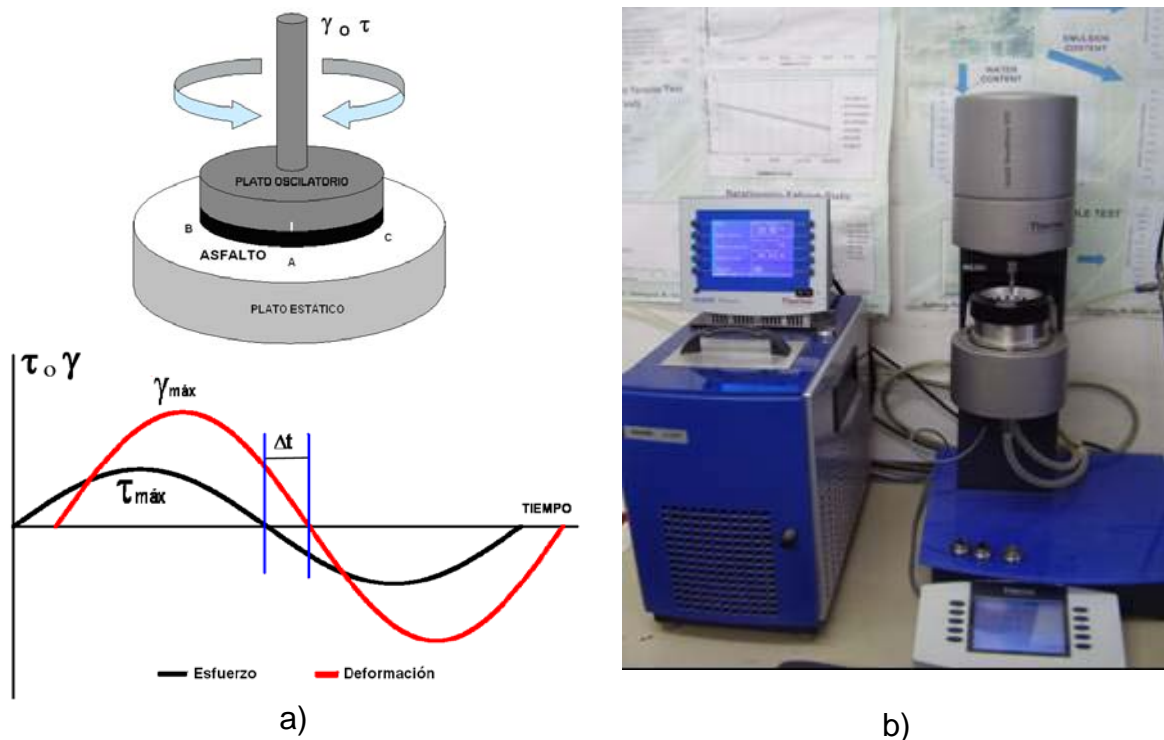


Figura 4 a) Muestra del procedimiento del ensayo DSR b) Equipo DSR utilizado.

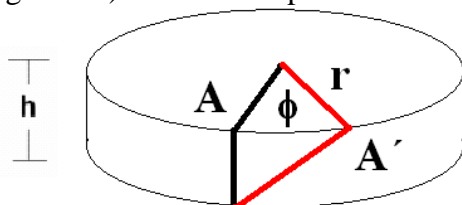


Figura 5 Deformación de la muestra con los ciclos de carga.

$$\tau = G^* \gamma \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\gamma = \frac{r\phi}{h} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde,

τ = Torque aplicado a la muestra

G^* = Módulo complejo calculado

γ = Deformación de la muestra

r = Radio de la muestra

ϕ = Ángulo generado por el torque

h = Altura de la muestra

Las curvas características de evolución de la deformación obtenidas del ensayo, son las que se observa en la Figura 6. El ensayo finalizaba cuando la variación de la deformación de la muestra, experimenta un brusco y rápido incremento en pocos ciclos, indicando que la probeta ha fallado.

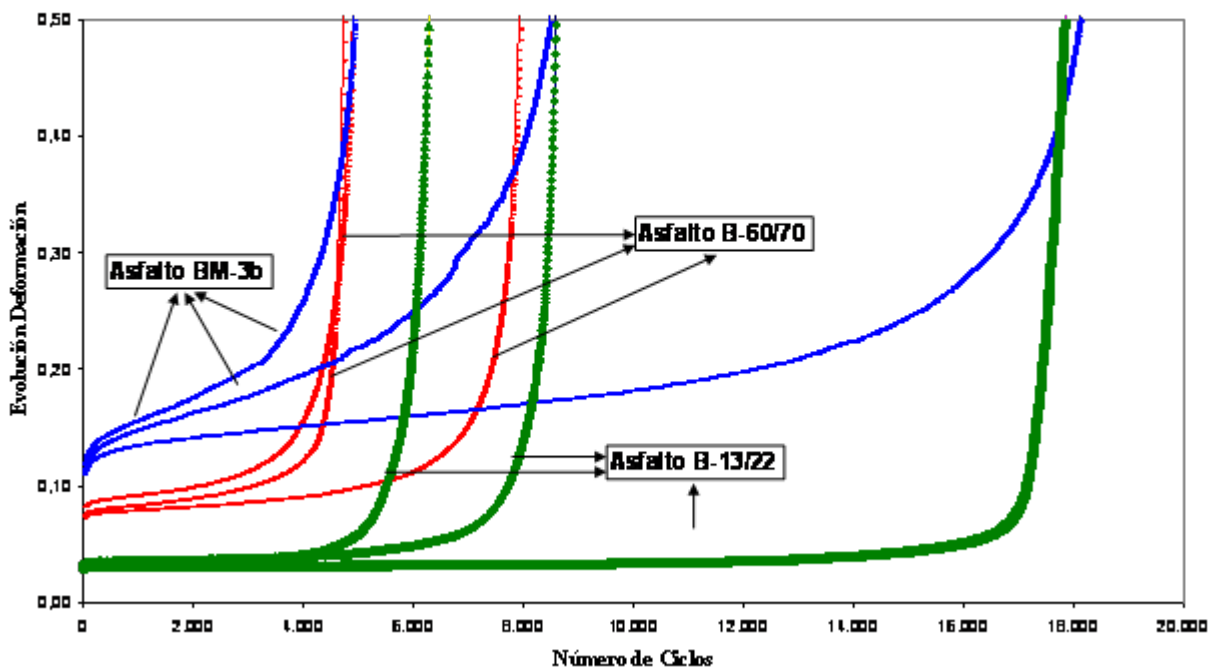


Figura 6 Evolución de la deformación con los ciclos de carga.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

En las Figuras 7, 8, 9 y 10, se observa la variación de la deformación de tres betunes de diferente penetración y un betún modificado con los ciclos de carga. Se aprecia que la deformación va aumentando poco a poco, hasta alcanzar un rango de deformación a partir de la cual, esta aumenta de forma súbita y se produce el fallo. El rango de deformaciones donde se produce este fallo aumenta con la penetración del betún (Figura 11) y para el betún modificado es más alto.

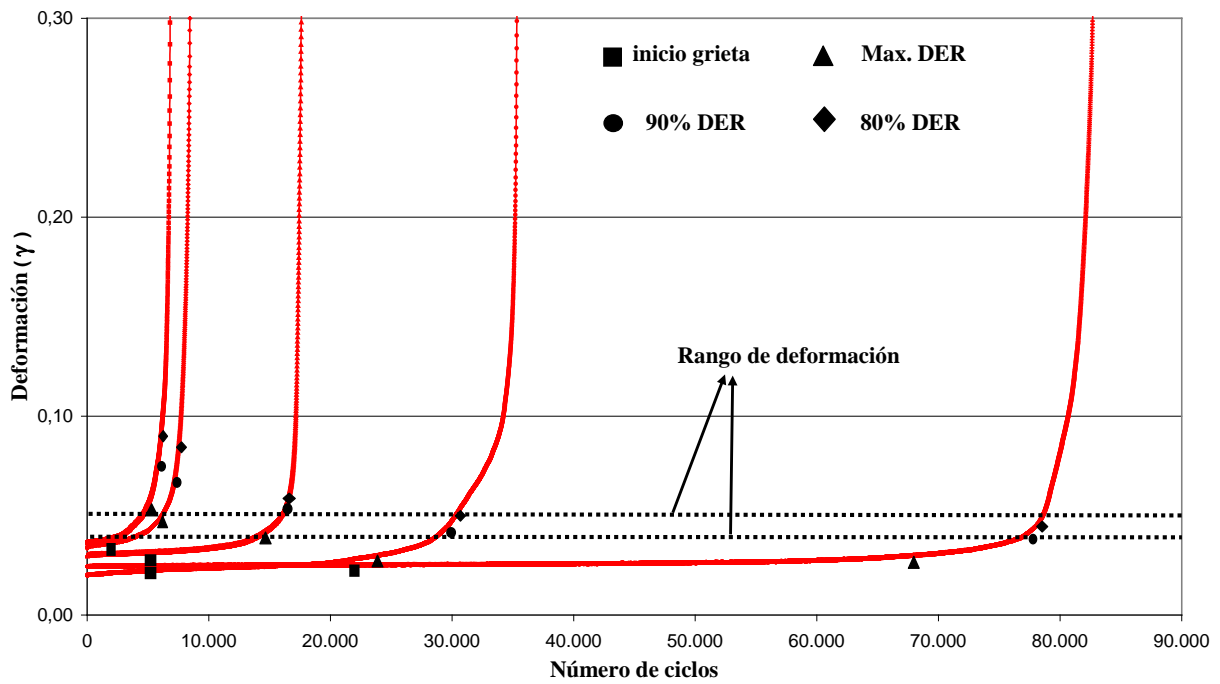


Figura 7 Evolución de la deformación con los ciclos de carga. Betún B-13/22

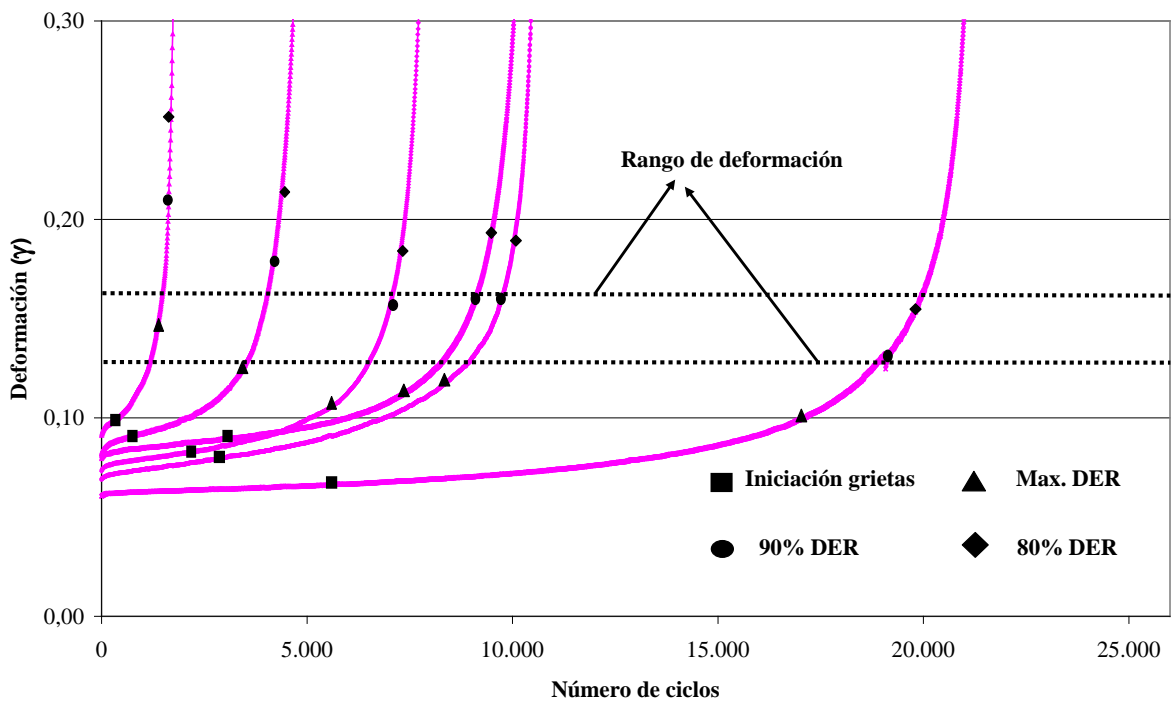


Figura 8 Evolución de la deformación con los ciclos de carga. Betún B-60/70

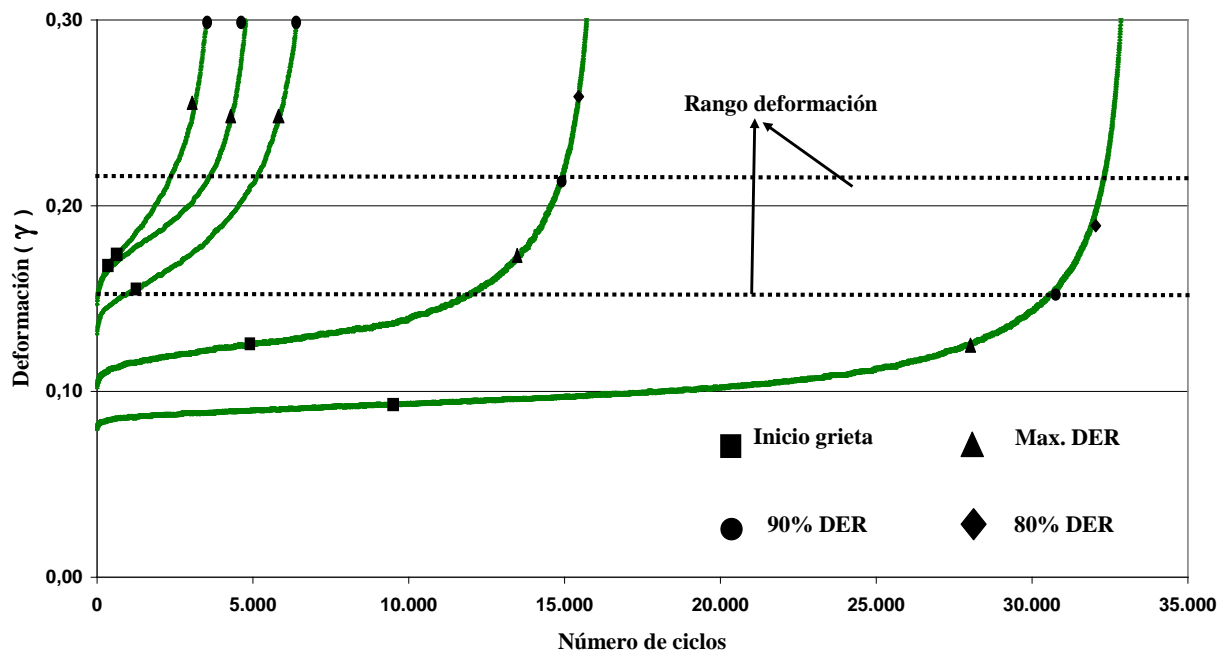


Figura 9 Evolución de la deformación con los ciclos de carga. Betún B-150/200.

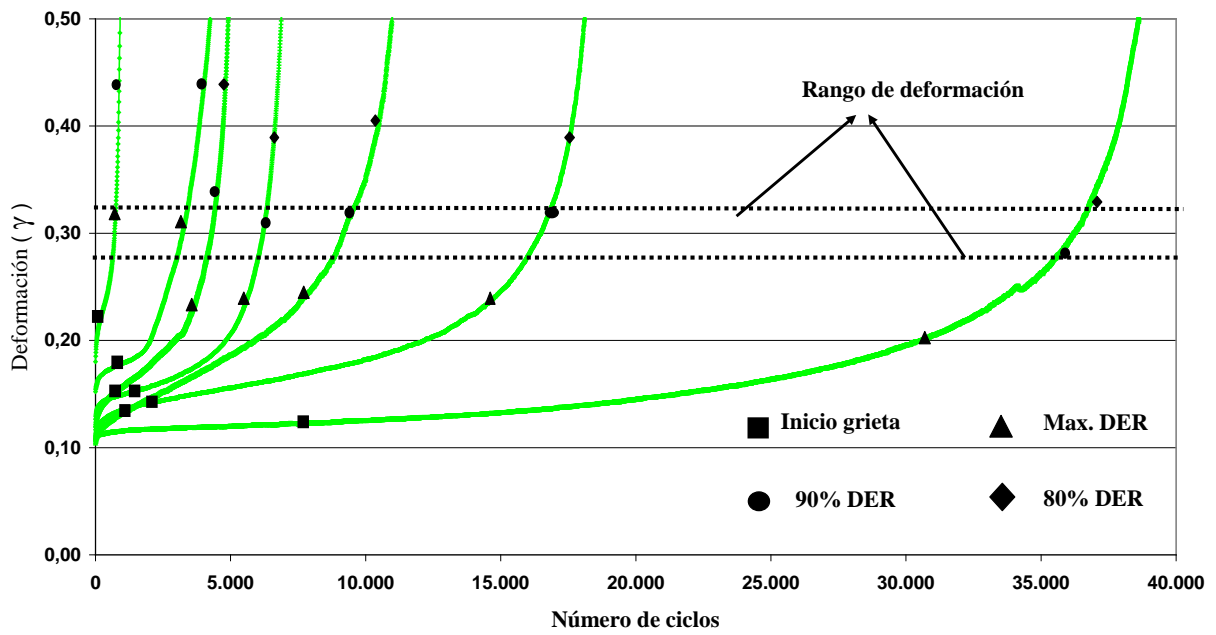


Figura 10 Evolución de la deformación con los ciclos de carga. Betún Modificado BM-3c.

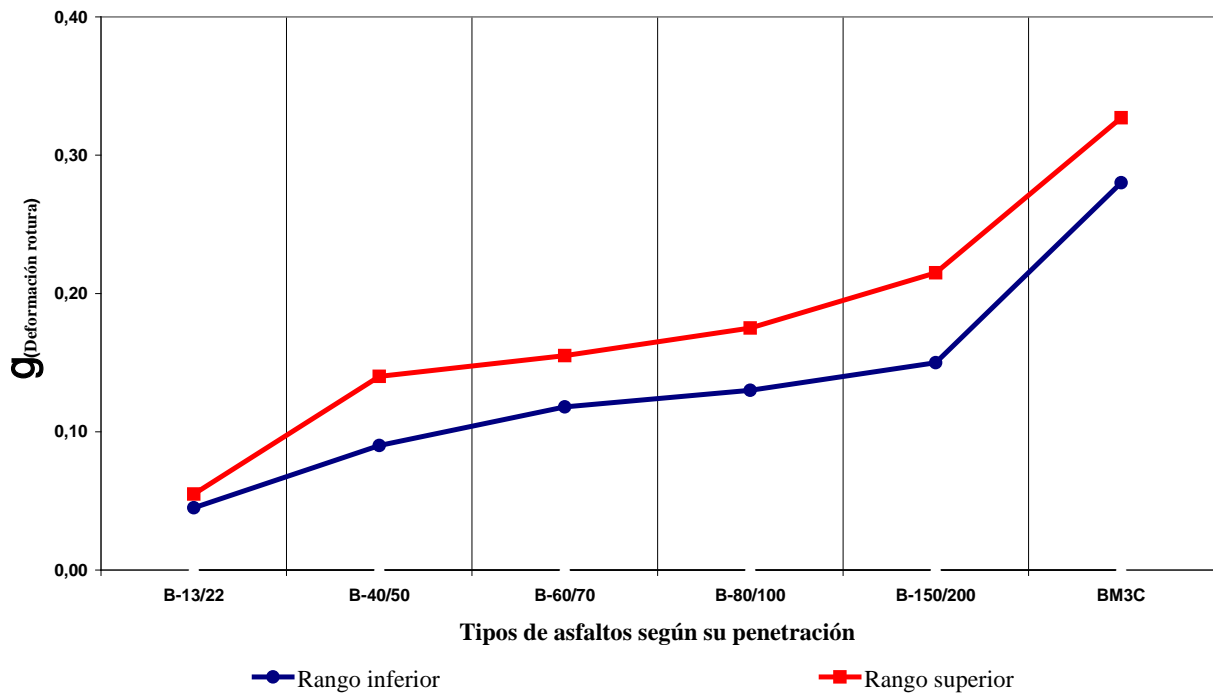


Figura 11. Rango de deformaciones de rotura de los betunes estudiados.

Nuevo criterio de fallo en función de las curvas DER y evolución de la deformación

Por otra parte, en la Figura 12, se ha representado la evolución del ratio de energía disipada con los ciclos de carga para estos mismos betunes. A partir de estas curvas, se ha determinado el número de ciclo de fallo de los asfaltos estudiados para los diferentes criterios de fallo empleados:

- cuando el DER se separa de la línea tangente (inicio grietas)
- para el valor máximo de DER
- para el 90 y 80% de DER en la curva posterior al valor máximo.
-

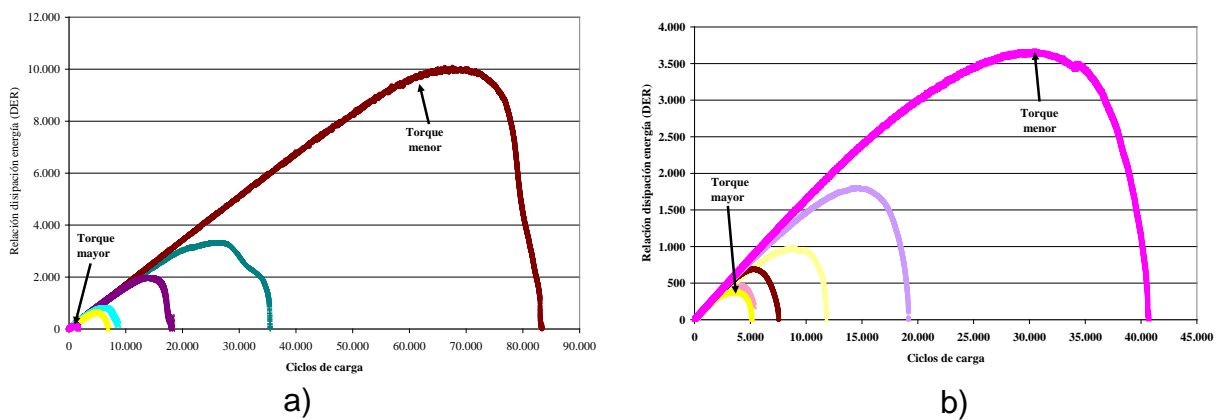


Figura 12. Evolución del ratio de energía disipada con los ciclos de carga para los asfaltos estudiados. a) Betún B-13/22 b) Betún BM-3c

Estos valores de ciclos de carga, han sido colocados en las curvas de evolución de la deformación con los ciclos de carga (Figuras 7, 8, 9 y 10). Se observa que en todos los casos, el considerar que el betún falla cuando el DER se separa de la línea tangente, es un criterio excesivamente conservador, ya que su nivel de deformación esta muy alejado del de rotura. El criterio del 80% y 90% del DER, se ajusta más cuando se ensayan betunes blandos y modificados, con un elevado número de ciclos. Sin embargo, cuando el fallo se produce con bajos ciclos de carga, la deformación de rotura coincide más con el criterio del valor máximo de DER. A la vista de estos resultados y dado que el ensayo de fatiga tiene mas sentido cuando se caracterizan los materiales para un elevado número de ciclos, se considera mas adecuado el criterio del 90% del DER como parámetro para definir el ciclo de carga de fallo.

Con este nuevo criterio de fallo, se han determinado las leyes de fatiga para cada tipo de betún (Figura 13), observándose que existe una relación entre la ubicación de las leyes de fatiga y la deformación en que se produce el fallo por fatiga de estos betunes, cuando mayor es la deformación, la ley de fatiga se ubica más arriba. Por otra parte, los betunes con mayor módulo presentan unas leyes de fatiga con menor pendiente

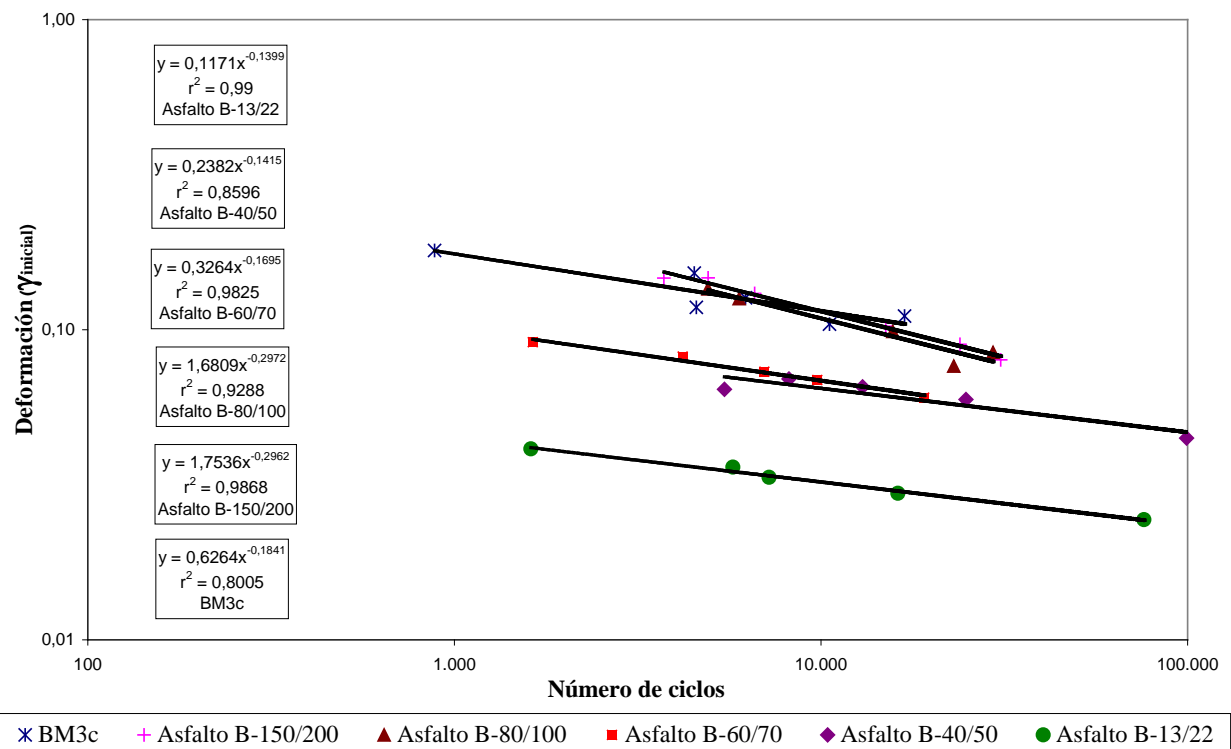


Figura 13. Leyes de fatiga para los betunes estudiados.

CONCLUSIONES

Del estudio realizado, los autores pueden concluir que:

- El criterio planteado del fallo a fatiga utilizando el DSR cuando se inician las grietas es muy conservador, ya que según del análisis de las curvas de evolución de la deformación con los ciclos de carga, el betún tiene una deformación muy inferior a la de su fallo por rotura.
- El criterio utilizado del fallo por fatiga en betunes cuando la curva DER obtiene su valor máximo es valido cuando el betún se le aplican pocos ciclos de carga o tensiones

elevados, sin embargo, la fatiga sucede a grandes ciclos de carga y tensiones menores a su resistencia máxima.

- Del análisis de las curvas de evolución de la deformación con los ciclos de carga y DER, así como de la deformación de rotura, se plantea un nuevo criterio de fallo por fatiga en betunes, que ocurre cuando el valor máximo de DER se reduce un 10%.

REFERENCIAS

- 1 B. Karen, N. Kitwe, N. Kitae y H. Bahia. *Measuring and defining fatigue behaviour of asphalt binders*. Washington, D.C., Transportation Research Record. Journal of the transportation research board, N. 1810, TRB. 2002. pp. 33-43.
- 2 M. Mihai, T. Clyne, J. McGraw, L. Xinjun y R. Velásquez. *Higt-temeprature rheological properties of asphalt binders*. Transportation Research Record. Journal of the transportation research board, N. 1901, TRB. 2005. pp. 52-59.
- 3 H. Di Benedetto, C. De la Roche y L. Francken. *Fatigue of bituminous mixtures: Different approaches and RILEM interlaboratory test*. Mechanical test for bituminous materials. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield. 1997. pp 15-26.
4. T. Kennedy, T. Weng y S. Mansour. *Effect of reclaimed asphalt pavement on binder properties using the superpave system*. Research report 1250-1. Center for transportation research. The university of Texas at Austin. September 1998. pp 51-59.
5. D. Anderson, L. Nir M. Yam, M Mihai, J. Planche, D. Martin y G. Gauthier. *Evaluation of fatigue criteria for asphalt bidners*. Tansportation research record. Journal of the transportation research board, N. 1766, TRB. Washington, D.C., 2001, pp 48-56.
- 6 D. Cho y H. Bahia. *Effects of aggregate surface and water on rheology of asphalt films*. Tansportation research record. Journal of the transportation research board, TRB. Washington, D.C., 2007, pp 10-17.
- 7 S. Shen y S. Carpentier. *Application of the dissipated energy concept on fatigue endurance limit testing*. Tansportation research record. Journal of the transportation research board, N. 1929, TRB. Washington, D.C., 2005, pp 165-173.
- 8 F. Perez-Jimenez, O. Reyes-Ortiz, R. Miro y A. Martinez. *Between the fatigue bahavior of bitumines and bituminous mixtures*. 4 th Euroasphalt & Eurobitume congress, Copenhaghe. 2008. pp 1-8.
- 9 H. Soenen, C. De la Roche y R. Redelius. *Predict mix fatigue test from binder fatigue properties, measured with a DSR*. 3 th Euroasphalt & Eurobitume congress, Vienna. 2004. pp 1924-1934.
- 10 R. Delgadillo y H. Bahia. *Rational fatigue limits for asphalt binders derived from pavement analysis*. Asphalt paving thechnology: Journal of the association of asphalt paving technologists. Vol 74, 2005. pp 1-42.
- 11 G. Schramm. *A practical approach to rheology and rheometry*. Thermo electron GmbH. 2004. pp 259.