

Evaluación a fatiga de asfaltos modificados con caucho utilizando el reómetro de corte dinámico

Fatigue evaluation of rubber-modified asphalts using the dynamic shear rheometer

Presentación: 4 y 5 de octubre de 2022

Doctorando:

Ignacio Zapata Ferrero

LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA

Facultad Regional La Plata

Universidad Tecnológica Nacional

Argentina

izapata@frlp.utn.edu.ar

Director:

Gerardo Botasso

Codirector:

Julián Rivera

Resumen

La resistencia a fatiga es una de las problemáticas más frecuente y compleja de predecir en los pavimentos asfálticos. Por su carácter viscoelástico, el asfalto es el material que presenta mayor aporte a la resistencia a fatiga dentro de la mezcla asfáltica. A lo largo de los años, el estudio a fatiga de los asfaltos, tanto convencionales como modificados, se ha perfeccionado notoriamente, al impulsar técnicas de vanguardia que permiten realizar una correcta caracterización de esta patología.

En el presente trabajo se evalúa el comportamiento de asfaltos modificados con altas tasas de caucho proveniente de neumáticos fuera de uso (NFU) (15 % y 25 %) con el reómetro de corte dinámico (DSR, de su sigla en inglés) mediante el ensayo de barrido de amplitud lineal (LAS, de su sigla en inglés). Este ensayo consiste en evaluar la muestra a crecientes amplitudes oscilatorias, de forma tal de acumular el daño en la muestra, en el rango en el que se presenta la fatiga en el asfalto. Los resultados son evaluados mediante la teoría simplificada del daño continuo viscoelástico, la cual pone de manifiesto la resistencia a fatiga del asfalto, independizándola del tipo e intensidad de carga aplicada.

Palabras clave: fatiga, asfalto, reología.

Abstract

Fatigue resistance is one of the most frequent and complex problems to predict in asphalt pavements. Due to its viscoelastic nature, asphalt is the material that presents the greatest contribution to fatigue within the asphalt mixture. Over the years, the fatigue study of asphalt, both conventional and modified, has been considerably improved, promoting new techniques that allow a correct characterization of this pathology.

In the present work, the behavior of modified asphalts with high rates of rubber from used tires (15% and 25%) was evaluated with the dynamic shear rheometer (DSR) by means of the sweep test of linear amplitude (LAS, linear amplitude sweep test). This test consists of evaluating the sample at increasing oscillatory amplitudes, in such a way as to accumulate the damage in the sample, in the range in which fatigue occurs in the asphalt. The results are evaluated using the simplified theory of continuous viscoelastic damage, which reveals the fatigue strength of asphalt, making it independent of the type and intensity of the applied load.

Keywords: fatigue, asphalt, rheology

Introducción

La fatiga en los pavimentos flexibles es una de las principales causas de la reducción de su vida útil en servicio. La fisuración iniciada en la parte inferior de la mezcla asfáltica, es generada por llegarse a un límite del valor de la deformación específica a tracción de la capa asfáltica (Kröger et al., 2019; Saboo, 2020). El daño que genera la fatiga es producido por una combinación del diseño estructural del paquete utilizado, la selección de materiales intervinientes y el paso del tránsito vehicular. A su vez, tiene un gran impacto, el espesor del pavimento que entra en juego, así como las propiedades volumétricas de la mezcla utilizada. Dentro de la mezcla asfáltica, el asfalto tiene un rol significativo en la falla por fatiga (Wang et al., 2015; Zhang et al., 2020). Estudios realizados por medio de la mecánica de fractura y la microsimulación indican que la fisuración por fatiga se propaga inicialmente por el ligante asfáltico y pasa luego a la matriz de la mezcla.

Desarrollo

Las metodologías propuestas por el *Strategic Highway Research Program* (SHRP) fueron útiles en los años 1990 para la clasificación de asfaltos, pero actualmente los avances en los estudios muestran que varios criterios no reflejan la realidad de los materiales. En particular, el daño a fatiga que sufren los pavimentos asfálticos está fuertemente influenciado por la naturaleza del betún asfáltico que lo componga; dicho fallo se produce fuera de la zona viscoelástica lineal. Debido a esto, los métodos tradicionales propuestos por SUPERPAVE, como $G^*sen\delta$ no evalúan completamente este problema, ya que el análisis realizado está ausente de variaciones de esfuerzos de deformación, que se traducen a solo un estado de carga evaluado en el reómetro (Hintz et al., 2011; Hintz & Bahia, 2013; Yue et al., 2021).

En función de estas limitaciones, el ensayo de barrido de tiempo en el DSR (Figura 1) resulta una forma más precisa de cuantificar la fatiga en el ligante asfáltico. Esta metodología contempla la evaluación del módulo complejo de la muestra a una frecuencia, amplitud y temperatura definida. El criterio de falla del material de acuerdo a este ensayo se propone como criterio general cuando el módulo complejo decae al 50 % del módulo inicial, que es representado por la Ecuación 1.

$$N_f = A(\gamma_{max})^B \quad (1)$$

Donde N_f es el número de ciclos a la falla, γ_{max} la deformación específica de corte, A y B los parámetros de ajuste del modelo que dependen del material.



Figura 1: Reómetro con geometría de 8 mm junto con la muestra a evaluar.

Sin embargo, a pesar de ser una propuesta superadora a la metodología de falla a fatiga en asfaltos propuesta por SUPERPAVE, el ensayo de barrido de tiempo en el DSR implica grandes tiempos de ensayo de material a evaluar, en función de la deformación aplicada a la muestra. Por esta razón, surge el ensayo de LAS, el cual caracteriza al material con deformaciones progresivamente mayores. Este procedimiento intenta imprimir el suficiente daño a la muestra ensayada, consistente con el daño a fatiga que se genera en los pavimentos asfálticos.

Materiales y métodos

El asfalto base y los asfaltos modificados con NFU se someten a la estufa de película delgada (RTFOT, de su sigla en inglés) para simular las condiciones de envejecimiento a corto plazo que se producen en el asfalto. Los asfaltos se caracterizan mediante los ensayos de viscosidad rotacional, recuperación elástica torsional y punto de ablandamiento previo, y posterior a envejecer las muestras.

La metodología contempla dos etapas dentro del propio ensayo. La primera consiste en caracterizar la muestra mediante un barrido de frecuencias en el rango de 0,2 a 30 Hz a una deformación específica de corte de 0,1 %. Esta etapa se utiliza para caracterizar al material sin daño. La segunda parte radica en someter a la muestra a un estado de deformaciones crecientes. Esta etapa se lleva a cabo a una frecuencia de 10 Hz y a un incremento constante de deformaciones específicas de 0,1 % a 30 %. En cada ciclo de carga se registra el esfuerzo pico asociada a la deformación impuesta, junto con el ángulo de fase resultante. El procedimiento estandarizado propone el aumento de deformaciones en un tiempo de 310 segundos, encontrándose en la bibliografía alternativas para este tiempo de carga. La temperatura de ensayo en la cual se evalúan las muestras es de 20 °C y 25 °C.

Con los datos recopilados de los ensayos, se procede a trazar las curvas C-S ejemplificadas en la Ecuación 2.

$$C = C_0 - C_1(S)^{C_2} \quad (2)$$

Donde $C_0=1$, C_1 y C_2 son los coeficientes de ajuste del modelo y S la intensidad de daño de la muestra. Mediante la teoría simplificada de daño continuo viscoelástico (S-VECD) se pueden confeccionar dichas curvas para cada uno de los asfaltos estudiados y para cada temperatura de ensayo. Posteriormente, se evalúan las curvas de vida a fatiga a las temperaturas consideradas que responden a la Ecuación 1.

Resultados

En la Tabla 1 se puede observar la caracterización de los asfaltos considerados en el estudio.

Ensayo	CA-30	15%NFU	25%NFU
P.A. virgen (°C)	53	59	68
RET (%)	-	47,8	68,9
P.A. RTFOT (°C)	58	64	71
Visc. Brookfield 135° (cP)	-	4111	16771
Visc. Brookfield 170° (cP)	-	575	2617

Tabla 1: Caracterización de los asfaltos utilizados.

Luego de envejecer los asfaltos por medio de la estufa RTFOT, se procede a realizar el ensayo LAS en el DSR. Mediante el análisis realizado previamente se calculan los parámetros del modelo según la S-VECD para evaluar el coeficiente α de integridad del material y los coeficientes C_1 y C_2 de la curva de daño. Se pueden apreciar en la Tabla 2 los ensayos a 20 °C y 25 °C.

Temperatura	Muestra	α	C1	C2
20 °C	CA-30	1,488	0,059	0,513
	15%NFU	1,596	0,077	0,422
	25%NFU	1,700	0,076	0,409
25 °C	CA-30	1,301	0,049	0,532
	15%NFU	1,459	0,057	0,463
	25%NFU	1,625	0,060	0,434

Tabla 2: Caracterización de los asfaltos utilizados.

Con los parámetros de ajuste encontrados se grafican las curvas C-S de integridad del material en función del daño acumulado. En las Figuras 2 y 3 se ven las curvas para 20 °C y 25 °C respectivamente. Para las dos temperaturas se puede apreciar en las gráficas que los asfaltos modificados con NFU mantienen una mayor

integridad del material para intensidades de daño superiores a 50. De igual forma se evidencia un rendimiento superior cuando crece el porcentaje de incorporación de NFU, aunque en forma menos pronunciada. Se puede evidenciar también que los asfaltos con NFU poseen un 60 % de vida del material en función del valor límite de intensidad de daño para el asfalto sin modificar, para las evaluaciones a 20 °C.

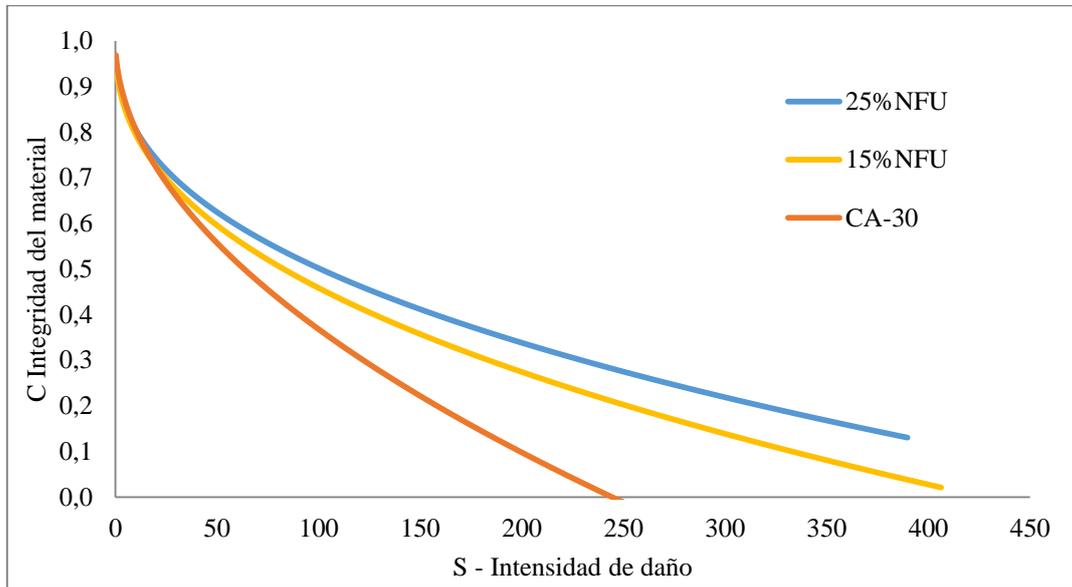


Figura 2: Curva C-S a 20 °C para los asfaltos evaluados

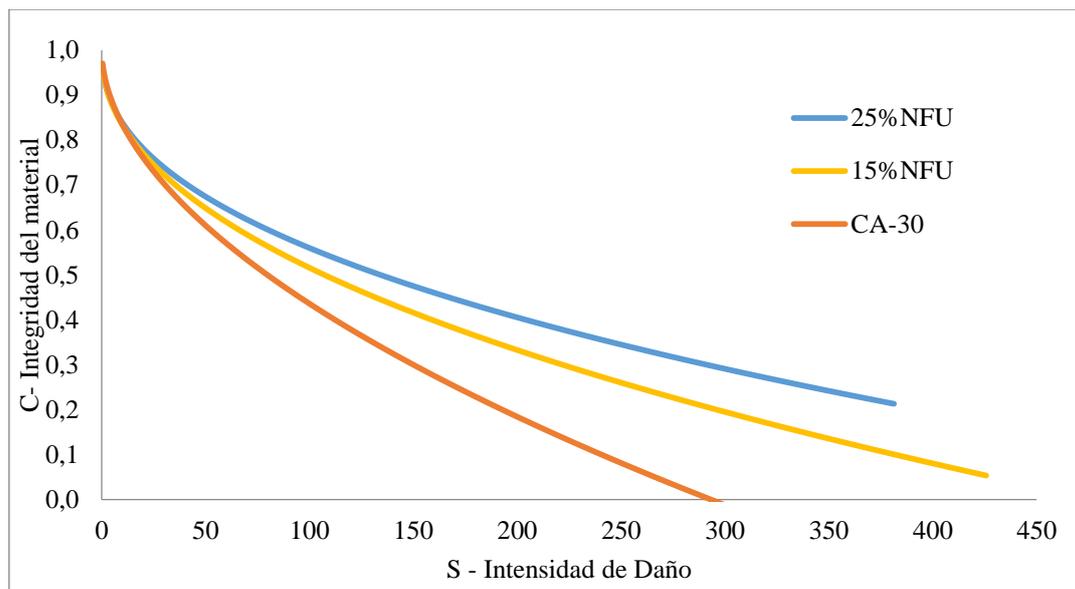


Figura 3: Curva C-S a 25 °C para los asfaltos evaluados.

Curvas de vida útil a fatiga

A partir de las gráficas desarrolladas de C-S, se arman los modelos para estimar la vida a fatiga en función de la deformación específica máxima del material. De esta forma se evalúan las curvas con la reducción del 35 % de la integridad inicial para desarrollar el modelo visto en la Ecuación 1. Como se puede apreciar en las Figuras 4 y 5, en principio, para 20 °C y 25 °C hay un considerable beneficio de la incorporación de NFU.

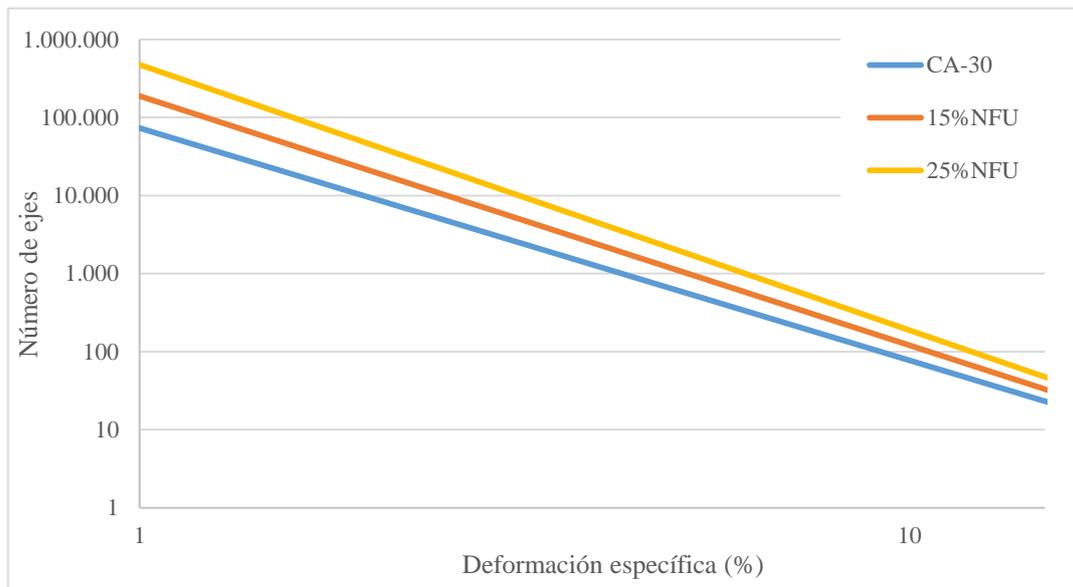


Figura 4: Vida a fatiga a 20 °C para los asfaltos evaluados

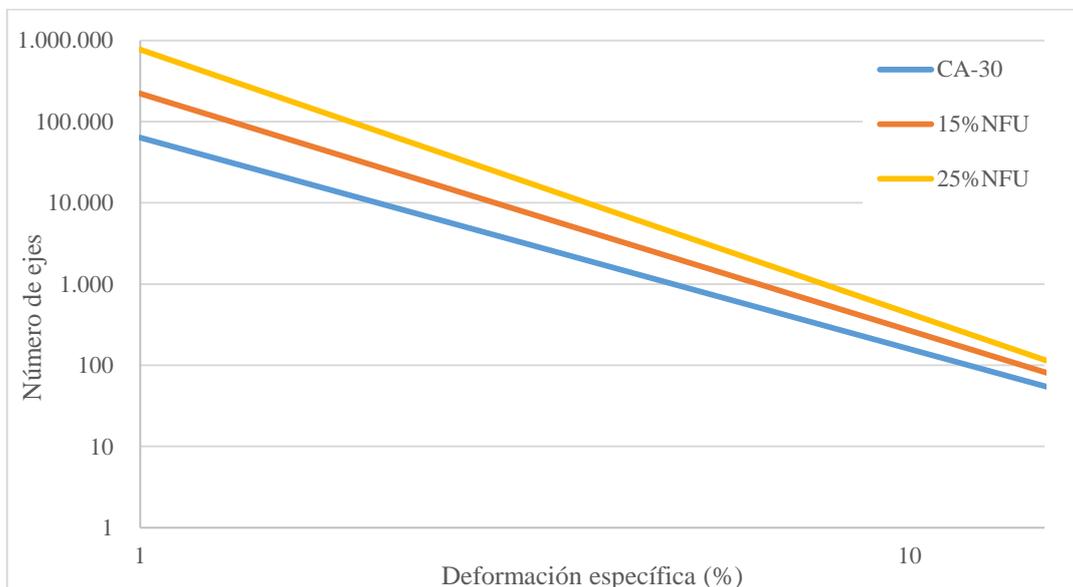


Figura 5: Vida a fatiga a 25 °C para los asfaltos evaluados.

Conclusiones

En el presente trabajo se realiza la caracterización de tres asfaltos (uno convencional y dos modificados, con contenidos crecientes de neumático fuera de uso) envejecidos en el horno de película delgada rotativa, mediante el ensayo de fatiga en el reómetro de corte dinámico, conocido como barrido de amplitud lineal, a 20 °C y 25 °C. Dicho ensayo permite imprimir un daño considerable a las muestras al aplicar deformaciones de hasta el 30 % y llevarla efectivamente a la fatiga. La metodología de ensayo es consistente con la teoría simplificada del daño continuo viscoelástico y permite modelar las curvas C-S (Daño Acumulado versus Integridad de Material) y las curvas de vida a fatiga para estimar el número de ejes que es capaz de resistir el material (Nf).

Por otra parte, a 20 °C y 25 °C se puede ver un marcado beneficio en la incorporación del neumático fuera de uso como un residuo modificador del asfalto, tanto en las curvas de acumulación de daño C-S como en los modelos desarrollados de vida a fatiga en función de la deformación específica. Si bien a medida que aumenta la incorporación de neumático fuera de uso se aumentan los parámetros obtenidos, la mayor evidencia entre los porcentajes de este se puede apreciar en los resultados de vida a fatiga.

Referencias

- Kröger, I., Pfeiff, C., Especiales, B. A., & Nicolich, (2019). Ensayos ágiles en DSR para estimar desempeño de mezclas asfálticas. CILA 2019.
- Hintz, C., Velasquez, R., Johnson, C., & Bahia, H. (2011). Modification and validation of linear amplitude sweep test for binder fatigue specification. *Transportation Research Record*, 2207(1), 99-106.
- Hintz, C., & Bahia, H. (2013). Simplification of linear amplitude sweep test and specification parameter. *Transportation Research Record*, 2370(1), 10-16.
- Saboo, N. (2020). New damage parameter for fatigue analysis of asphalt binders in linear amplitude sweep test. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(6), 04020126.
- Yue, M., Yue, J., Wang, R., & Xiong, Y. (2021). Evaluating the fatigue characteristics and healing potential of asphalt binder modified with Sasobit® and polymers using linear amplitude sweep test. *Construction and Building Materials*, 289, 123054.
- Wang, C., Castorena, C., Zhang, J., & Richard Kim, Y. (2015). Unified failure criterion for asphalt binder under cyclic fatigue loading. *Road Materials and Pavement Design*, 16(sup2), 125-148.
- Zhang, F., Wang, L., Li, C., & Xing, Y. (2020). Predict the phase angle master curve and study the viscoelastic properties of warm mix crumb rubber-modified asphalt mixture. *Materials*, 13(21), 5051.