

# Estudio de Fatiga en Mezclas Asfálticas con NFU Mediante el Ensayo de Viga Semi Circular

## Fatigue Study in Asphalt Mixtures with RTR Using the Semi Circular Beam Test

Presentación: 8-9/10/2024

### 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

Las mezclas asfálticas en caliente que componen la gran cantidad de rutas pavimentadas de la República Argentina, presentan una combinación de distintos materiales, tales como asfalto, ya sea convencional o modificado, en conjunto con agregados y filler. Las problemáticas más habituales en los pavimentos asfálticos son el ahuellamiento, la falla por fatiga y la susceptibilidad térmica, las cuales son esperables que se evidencien al final de su vida útil.

La patología de fatiga en los pavimentos flexibles es una problemática que no se alcanza por superar el estado último de material, sino por la sucesiva aplicación de cargas que progresivamente consumen la energía interna del material. Uno de los materiales para mejorar el desempeño a fatiga en las mezclas asfálticas es el polvo de neumático fuera de uso. En incorporaciones de hasta el entorno del 10 % en peso de NFU sobre el peso de asfalto mejora notablemente las propiedades de ahuellamiento en mezclas asfálticas densas.

En el presente trabajo se propone la evaluación de mezclas asfálticas con la incorporación de NFU en 15 y 18 % en comparación con el cemento asfáltico base. Se propone la evaluación de distintos índices de caracterización a fatiga por medio del ensayo de la Viga Semi Circular. A su vez se consideran distintos niveles de acondicionamiento para considerar el envejecimiento que actúa en la mezcla asfáltica en su fabricación, elaboración y vida en servicio.

Palabras clave: Fatiga, Viga Semi Circular, Neumático Fuera de Uso

### Abstract

The hot asphalt mixes that make up the large number of paved routes in the Argentine Republic, present a combination of different materials, such as asphalt, whether conventional or modified, together with aggregates and filler. The most common problems in asphalt pavements are rutting, fatigue failure and thermal susceptibility, which are expected to become evident at the end of their useful life.

Fatigue pathology in flexible pavements is a problem that is not achieved by overcoming the last state of the material, but by the successive application of loads that progressively consume the internal energy of the material. One of the materials to improve fatigue performance in asphalt mixtures is recycled tire rubber. Incorporations of up to around 10% by weight of RTR over the weight of asphalt significantly improve the rutting properties in dense asphalt mixtures.

In this work, the evaluation of asphalt mixtures is proposed with the incorporation of RTR in 15 and 18% compared to the base asphalt cement. The evaluation of different fatigue characterization indices is proposed through the Semi Circular Beam test. At the same time, different levels of conditioning are considered to consider the aging that acts on the asphalt mixture during its manufacturing, processing and life in service.

Keywords: Fatigue, Semi Circular Bend, End of Tire Rubber

## Introducción

Entre los principales factores que afectan la vida de los pavimentos frente a la patología de la fatiga, se presentan la cantidad de repeticiones de ejes que transitan por la vía, el espesor del pavimento, el material asfáltico utilizado, el tiempo en servicio, las condiciones de drenaje entre otros. Vale mencionar que al llegar al estado de fisuración en superficie los costos de restitución de la vida útil del pavimento suelen ser altos.

En línea con estos fundamentos el Polvo de Neumático Fuera de Uso (NFU) resulta un residuo acorde a utilizar en la industria de la pavimentación asfáltica. Para poder ser utilizado los neumáticos deben ser triturados hasta un tamaño milimétrico. Esta condición asegura que el NFU pueda ser incorporado adecuadamente al asfalto para conformar un material homogéneo que no se separe en sus fases.

En el presente trabajo se estudia la resistencia a fatiga de mezclas asfálticas densas modificadas con 15 y 18 % de NFU por encima del peso de asfalto en conjunto con el asfalto base. Para su evaluación se realizan probetas de 150 mm de diámetro en los cuales se aserra por la mitad y se le hace una entalladura en la parte media. Se evalúan tres condicionamientos para considerar las distintas etapas de la vida útil de la mezcla asfáltica.

## Desarrollo

### Diseño Marshall

Para la elaboración de las mezclas asfálticas se realiza el diseño Marshall para obtener el punto óptimo de asfalto de las mezclas. En primer lugar, se compone la curva granulométrica de los áridos combinando agregado grueso, agregado fino y cal hidráulica como filler. La granulometría resultante en conjunto con los límites estipulados por Vialidad Nacional (2017) se ven en la Figura 1. Los asfaltos modificados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Guía de Procedimientos LEMaC (2019).

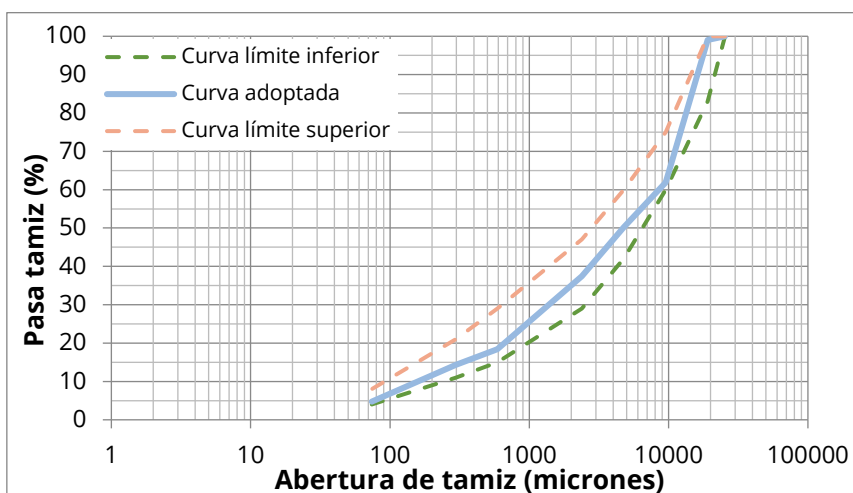


Figura 1. Curva granulométrica adoptada junto con sus husos granulométricos

Fuente: elaboración propia

Para la obtención del porcentaje óptimo de asfalto a incorporar en las mezclas asfálticas se utiliza la metodología Marshall según las Normas de Ensayo de Vialidad Nacional (2017). Mediante dicha metodología se determina el porcentaje de asfalto que mejor responde a las propiedades mecánicas y volumétricas de la mezcla asfáltica. La dosificación resultante para los asfaltos considerados se puede apreciar en la Tabla 2.

Porcentaje	Denominación		
	CA30	15NFU	18NFU
Asfalto	CA30	15NFU	18NFU
Porcentaje de asfalto	4,70	5,10	5,10
Piedra Partida 6-20	46,70	46,50	
Arena de trituración 0-6	47,65	47,45	
Cal	0,95	0,95	
Relación (Cv/Cs)	0,43	0,40	

Tabla 2. Dosificación Marshall obtenida  
Fuente: Elaboración propia

Los parámetros obtenidos se pueden ver en la Tabla 3, involucrando: la Densidad Marshall, la Densidad Absoluta Rice, los Vacíos de la mezcla, los Vacíos del Agregado Mineral (VAM), la Relación Betún Vacíos (RBV), la Estabilidad y la Fluencia. El diseño Marshall se lleva a cabo respetando la normativa de Vialidad Nacional (2017), con una energía de compactación de las probetas de 75 golpes por cara.

	Denominación			Exigencia P.E.T.V.N.
	CA30	15NFU	18NFU	
Porcentaje de asfalto (%)	4,7	5,1	5,1	-
Densidad Marshall (g/cm <sup>3</sup> )	2,472	2,413	2,410	-
Densidad Rice (g/cm <sup>3</sup> )	2,559	2,501	2,507	-
Vacíos (%)	3,4	3,5	3,9	3 - 5
Estabilidad (kN)	14,36	12,77	14,63	> 10
Fluencia (mm)	4,4	4,2	4,3	-
Relación Estabilidad-Fluencia (kN/mm)	3,3	3,0	3,4	2,5 - 4,5
Vacíos del Agregado Mineral (%)	15,0	15,8	16,2	> 14
Relación Betún Vacíos (%)	77,4	77,7	76,1	65 - 78

Tabla 3. Parámetros Marshall obtenidos para las mezclas adoptadas  
Fuente: Elaboración propia

Como temperatura de mezclado se adopta 140 °C para la mezcla con asfalto CA-30, mientras que para ambas mezclas con NFU se utilizan 160 °C. La producción de pastones de laboratorio se realiza mediante el empleo de un mezclador manual desarrollado en el LEMaC. Para la compactación de los especímenes se utiliza 135 °C para la mezcla con asfalto CA-30 y 155 °C para las mezclas con polvo de NFU.

## Envejecimiento de la mezcla asfáltica

En este estudio, para caracterizar la evolución que tiene el cemento asfáltico con polvo de NFU en su interacción con el resto de los materiales, se plantea el envejecimiento de la mezcla asfáltica según los lineamientos de la norma AASHTO R30 (AASHTO, 2002). La norma plantea dos instancias de envejecimiento. En primer lugar, el envejecimiento a corto plazo plantea la simulación del envejecimiento al cual se encuentra expuesta la mezcla durante su elaboración. Finalizada la elaboración de la mezcla se coloca dispersada en bandejas. La altura de mezcla asfáltica en bandeja no debe superar una altura de 50 mm. Finalmente se deja en estufa durante 4 horas a 135 °C. En segundo lugar, se plantea el envejecimiento a largo plazo. Este envejecimiento simula las condiciones que se encuentra el pavimento durante su vida útil, el cual contempla un periodo de 7 a 10 años aproximadamente. En este caso se moldean probetas que previamente deben ser envejecidas a corto plazo, para ser colocadas en estufa durante 5 días continuos a 85 °C. Ambos envejecimientos se aprecian en la Figura 2.



Figura 2. Envejecimiento de las mezclas a corto plazo (izq.) y largo plazo (der.)

Fuente: elaboración propia

## Ensayo de viga semi Circular

El ensayo de Viga Semi Circular se llevan a cabo en una prensa universal del EMIC DL 10000, la cual tiene una capacidad de carga de 50 kN. La velocidad de ensayo es de 50 mm/min y se lleva la probeta hasta la falla. La curva típica del ensayo se visualiza en la Figura 3.

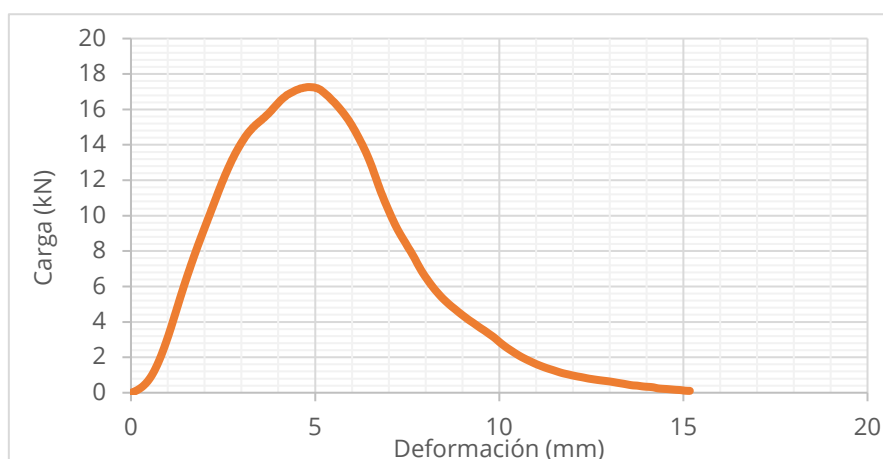


Figura 3. Resultados de los ensayos de TIE del grupo C1 CA30

Fuente: elaboración propia

## Análisis de resultados

Para la interpretación de los resultados de los ensayos de las probetas moldeadas a fin de ser analizadas con ensayos estáticos se utilizan diferentes índices que caracterizan la fisuración a fatiga. Los índices evidencian la energía interna que contiene el material, en conjunto con la tenacidad y la capacidad de tomar carga por la probeta luego de su carga máxima. En este caso, los índices evaluados para los ensayos de TIE son análogos para el estudio de la configuración SCB. De esta forma se evaluaron el *Cracking Test Index* y el *Toughness Index*.

En función de los resultados obtenidos de los ensayos de SCB, se aplican a las formulaciones previas, los datos obtenidos. Para los ensayos de SCB se muestran en la Figura los resultados obtenidos. En este caso las muestras 15NFU y 18NFU muestran resultados superiores con respecto a la CA30. Los grupos C1 y C4 son los que muestran las mayores distancias entre resultados de las muestras previamente mencionadas.

## Cracking Test Index (CTI)

El Cracking Test Index es propuesto por Zhou (2019) para evaluar la resistencia a la fisuración en mezclas asfálticas. Según sus estudios han mostrado sensibilidad a los cambios en las mezclas asfálticas en tal sentido. Por otra parte, también se han encontrado buenas correlaciones con evaluaciones en campo. Para su cálculo se utiliza la Ecuación 1. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 4.

$$CTI = \frac{G_f}{|m_{75}|} \left( \frac{u_{75}}{l} \right) \frac{t}{62} \quad 1$$

Donde:

CTI = *Cracking Test Index* (J/mm<sup>2</sup>)

$G_f$  = Energía de fractura (J/mm<sup>2</sup>)

$u_{75}$  = Deformación correspondiente al 75 % de la carga máxima post-pico

$m_{75}$  = Pendiente de la curva al 75 % de la carga máxima post-pico

$l$  = Área ligada (mm<sup>2</sup>)

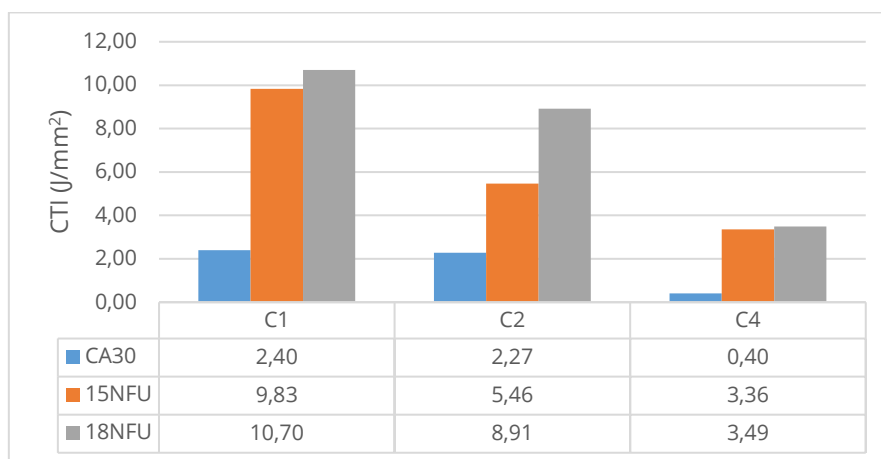


Figura 4. Resultados de CTI para los promedios de las probetas de SCB

Fuente: elaboración propia

## Toughness Index (TI)

El *Toughness Index* es un parámetro implementado por Perez-Jimenez (2013) para capturar el comportamiento de mezclas asfálticas en la fase de propagación de fisuras. Mediante dicho índice se analiza el comportamiento del material frente a las fisuras en la etapa posterior al pico de la curva carga deformación. Para cuantificar el parámetro se utiliza la Ecuación 2. La evaluación por medio de este índice se aprecia en la Figura 5.

$$TI = G_f^{Post-pico} (u_{50\%Pl} - u_{Pmax}) * 10^{-3} \quad 2$$

Donde:

TI = Toughness Index (J/m)

$G_f$  = Energía de Fractura post-pico (J/m<sup>2</sup>)

$u_{50\%Pl}$  = Deformación correspondiente al 50 % de la carga máxima post-pico

$u_{Pmax}$  = Deformación a la carga máxima

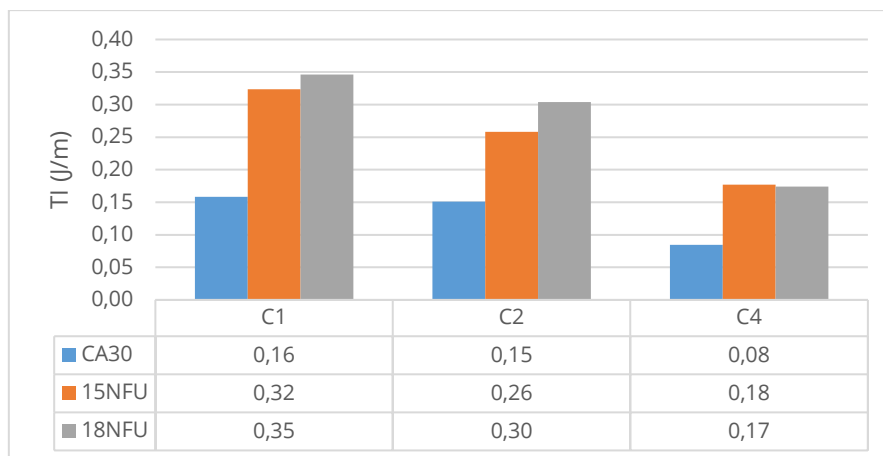


Figura 5. Resultados de TI para los promedios de las probetas de SCB  
Fuente: elaboración propia

Una vez obtenidos los parámetros para los ensayos de las probetas de Viga Semi Circular, se puede observar la eficiencia en distinto orden de las mezclas asfálticas modificadas con polvo de NFU. En líneas generales, el comportamiento de las muestras 15NFU y 18NFU evidencian un aumento de los parámetros en comparación de las muestras CA30.

Si bien el aumento es considerable en todos los casos, los resultados obtenidos mediante el CTI muestran una mayor sensibilidad en contraste con el TI, evidenciando un crecimiento mayor al doble con respecto a este índice. Para el grupo de las muestras envejecidas a corto plazo (C2) se evidencia una caída en los porcentajes de las muestras con 15NFU para el CTI. Sin embargo, las muestras con 18NFU para el parámetro antes mencionado, mantienen la brecha con respecto a las muestras CA30. En último lugar, el grupo envejecido a largo plazo (C3) evidencia una separación aún más grande para las muestras de 15NFU y 18NFU en relación con el TI. De esta forma, se pone en manifiesto los beneficios de la incorporación de NFU dentro de las mezclas en comparación con las muestras base.

## Conclusiones

Los ensayos estáticos sobre las probetas de Viga Semi Circular (SCB) se realizan a 20 °C con las mezclas CA30, 15NFU y 18NFU en conjunto con los distintos grupos de envejecimiento C1, C2 y C3. Para la elaboración de los especímenes, la prueba se complejiza al contar con una etapa de aserrado de las muestras en su diámetro, en conjunto con la entalladura que se realiza para guiar a la fisura. Se evalúan dos índices (Cracking Test Index y Toughness Index). Para los tres grupos de envejecimiento, el CTI muestra una mayor sensibilidad a la incorporación de NFU frente a los al TI.

## Referencias

- AASHTO R30. (2002). Mixture Conditioning of Hot Mix Asphalt (HMA). R30. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO TP124. (2018). Standard Method of Test for Determining the Fracture Potential of Asphalt Mixtures Using the Illinois Flexibility Index Test (I-FIT).
- LEMaC. (2019). Guía de Metodologías y Procedimientos para uso Vial desarrollados en el LEMaC. edUTecNe.
- Pérez-Jiménez, F., Botella, R., Martínez, A. H., & Miró, R. (2013). Analysis of the mechanical behaviour of bituminous mixtures at low temperatures. *Construction and building materials*, 46, 193-202. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.019>
- Vialidad Nacional. (2017). Pliego de especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos en caliente y semicaliente del tipo densos.
- Zhou, F. (2019). Development of an IDEAL cracking test for asphalt mix design, quality control and quality assurance. NCHRP-IDEA Program Project Final Report, (195).