

Mezclas asfálticas con polvo de neumático fuera de uso como parte de la economía circular

Asphalt Mixtures with Recycled Tire Rubber as Part of The Circular Economy

IGNACIO ZAPATA FERRERO¹
izapata@frlp.utn.edu.ar
ORCID 0000-0002-8779-4645

JULIÁN RIVERA¹
jrivera@frlp.utn.edu.ar
ORCID 0000-0001-7391-4469

GERARDO BOTASSO¹
gbotasso@frlp.utn.edu.ar
ORCID 0000-0002-8859-7256

¹Centro de Investigaciones Viales LEMaC, Universidad Tecnológica Nacional Regional La Plata – Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

Recibido: 17-10-2023

Aceptado: 07-03-2024

Publicado: 14-08-2024

RESUMEN

Los neumáticos desechados a diario generan un pasivo ambiental importante, siendo acumuladores de agua que atraen infecciones como el dengue y a su vez tienen altos tiempos de degradación que los convierte en un material potencialmente inflamable. Sin embargo, con el correcto tratamiento del caucho que contiene y su trituración en diversos tamaños, se consiguen múltiples aplicaciones como elementos de demarcación vial, pisos de anti-trauma y de seguridad, accesorios para ejercitar, relleno de césped artificial, entre otros. El de mayor proyección en el último tiempo, es la incorporación del caucho en polvo de neumático fuera de uso (NFU) como modificador de mezclas asfálticas aumentando las propiedades de carpetas de rodamiento convencional, obteniendo un material con un desempeño acorde a las exigencias de las altas demandas de tránsito. Con la incorporación del NFU se retira del medioambiente dicho desecho, dándole una segunda vida útil como modificador del asfalto y reduciendo la huella de carbono. Para satisfacer la demanda de NFU se debe proponer la implementación de un sistema de recolección de neumáticos que involucre municipalidades, agrupaciones sociales y otras entidades para proveer el material a las empresas productoras de polvo de NFU.

PALABRAS CLAVE: neumático fuera de uso, reología, mezclas asfálticas.

ABSTRACT

Tires discarded daily generate an important environmental liability, being water accumulators that attract infections such as dengue and at the same time have high degradation times that turn them into a potentially flammable material. However, with the correct treatment of the rubber it contains and its crushing into micrometric sizes, multiple applications are achieved such as road demarcation elements, anti-trauma and safety floors, exercise accessories, artificial grass filling, among others. The one with the greatest projection in recent times is the incorporation of rubber powder from Recycled Tire Rubber (RTR) as a modifier of asphalt mixtures, increasing the properties of conventional bearing surfaces, obtaining a material with a performance in accordance with the demands of the high traffic demands. With the incorporation of RTR, said waste is removed from the environment, giving it a second useful life as an asphalt modifier, and reducing the carbon footprint. To satisfy the demand for RTR, the implementation of a tire collection system that involves municipalities, social groups and other entities should be proposed to provide the material to the companies that produce RTR.

KEYWORDS: recycled tire rubber, rheology, asphalt mix.



Novedad u originalidad local en el conocimiento

La inclusión de polvo de Neumático Fuera de Uso (NFU) como modificador del asfalto dentro de las mezclas asfálticas, resulta una solución promisoriosa para la reutilización de un pasivo ambiental de grandes magnitudes. En forma aproximada, en Argentina se desechan más de 135.000 toneladas de neumático por año (Botasso, 2018) resultando de un desecho que debe ser tratado adecuadamente. Los NFU son considerados como residuos potencialmente peligrosos, ya que, si bien no contaminan en forma directa, la conservación de agua dentro de los mismos genera fuentes de infecciones peligrosas como dengue o chikungunya. Por otra parte, la gran capacidad calorífica que tiene este material lo convierte en un material de alta inflamabilidad.

La inclusión del NFU dentro de la matriz de la mezcla asfáltica tiene numerosas ventajas, como la mejora de la resistencia a la fisuración y al ahuellamiento, obteniendo un material de altas prestaciones a partir de un desecho con valor reducido.

Grado de relevancia

En la zona de La Plata, donde se emplaza el Centro de Investigaciones Viales LEMaC (de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata y Asociado a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires), se espera que los resultados obtenidos con la incorporación de NFU en altos porcentajes, resulte en un beneficio económico en la sociedad a nivel ambiental y político, fundamentado en el aumento de la vida útil del pavimento asfáltico, en contraste a un pavimento realizado con materiales tradicionales. La generación de un sistema de distintas etapas que gestione los neumáticos sin uso permite la ubicación de centros que se ocupen de la recolección de este residuo y se encargue de su traslado a los centros de mayor tamaño o plantas de trituración para la obtención del polvo en distintas granulometrías. Estas tendencias en gestión son aplicadas en países como España (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas) o Brasil (RECICLANIP). Por otra parte, el beneficio en

generar polvo de neumático de tamaños no solo para su utilización en mezclas asfálticas permite su utilización en un amplio rango de mercados.

Grado de pertinencia

Actualmente se dispone de tecnología de las distintas industrias involucradas en el proyecto, para poder resolver la problemática de disposición de los neumáticos que ya no son utilizados. Es fundamental que se genere un sistema que gestione la recolección de los neumáticos hasta las centrales de trituración. La recolección debe realizarse en etapas, desde centros localizados a nivel municipal, en los cuales se realice una reducción primaria de los neumáticos, para su posterior traslado a centros de mayor tamaño y finalmente decante en las plantas trituradoras. Los resultados que se obtienen en laboratorio indican que la cantidad de neumático fuera de uso que se le puede adicionar al asfalto es de altas proporciones y que es viable utilizarlo en distintas conformaciones de mezclas asfálticas. En porcentajes reducidos, del entorno del 10 % en peso del asfalto, llegando hasta un máximo de 15 %, son utilizables en mezclas conocidas como densas, las cuales se tiene una distribución variada de los tamaños de agregados pétreos a utilizar. En cuanto se requiera utilizar porcentajes más altos, del entorno del 20 al 25 % es factible utilizarlo en mezclas abiertas, las cuales son empleadas para carpeta de rodamiento de las vías pavimentadas. Dicha capa ofrece una buena resistencia al deslizamiento, las cuales son las más indicadas para obtener un correcto frenado de los vehículos que circulan y drenaje del agua de lluvias (Botasso et al., 2010).

Grado de demanda

El grado de demanda del proyecto, no solo debe ser un punto que atender de parte de las empresas de mezclas asfálticas, sino del conjunto de la sociedad. La construcción de rutas pavimentadas asfálticas con materiales reciclados es fundamental para el desarrollo de infraestructura sostenible. Este punto en cuestión tiene que ir acompañado de un marco regulatorio por parte del estado, que indique los porcentajes de NFU que se deben

incorporar en las mezclas asfálticas, las cantidades mínimas, así como también los requisitos mínimos que deben cumplir. Por otro lado, el punto necesario para satisfacer la demanda de NFU necesaria, es la recolección de los neumáticos. Actualmente en Argentina no existe un sistema de recolección unificado, que permita el traslado de los neumáticos desde los distintos puntos de disposición, hasta la planta de trituración, que reduzca el material hasta obtener el tamaño necesario para su uso. Por otra parte, las plantas de trituración de neumáticos deben garantizar la producción de este material, como materia prima de ingreso de la producción de las mezclas asfálticas. En la actualidad, en nuestro territorio, las plantas de trituración de neumáticos ofrecen una gama amplia de tamaños de molienda, que permiten el uso no solo para la utilización en mezclas asfálticas, sino también en una diversidad de productos como pisos anti-trauma, materiales de señalización, elementos de entrenamiento, y baldosas de caucho para juegos en plazas.

Desarrollo del producto

En la presente sección se realiza un análisis de los materiales empleados y se da un lineamiento del método previsto de estudio, el cual es ampliado en la sección de resultados y de discusión.

1. Materiales

1.1. Neumáticos Fuera de Uso (NFU)

El polvo de neumático fuera de uso se homogeneiza por un proceso de tamizado por medio de la criba N°25, para evitar tamaño de polvo superiores que se puedan haber filtrado en el proceso de trituración. En la Figura 1 se muestra el gráfico de tamaño de partículas de la muestra utilizada.

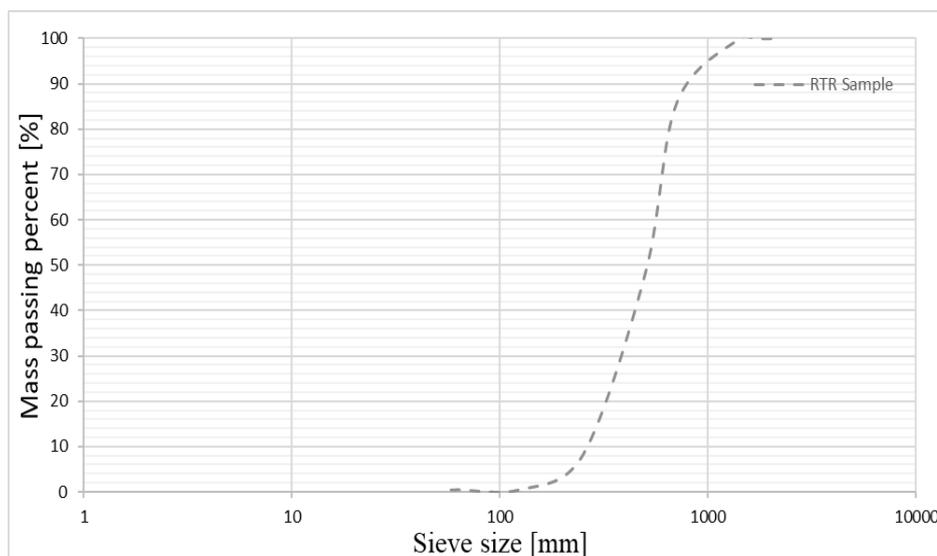


Figura 1. Tamaño de partículas del polvo de neumático fuera de uso (elaboración propia).
Figure 1. Particle size of Recycled Tire Rubber (own elaboration).

También se realiza la vista del material utilizado por medio la lupa como puede observarse en la Figura 2.

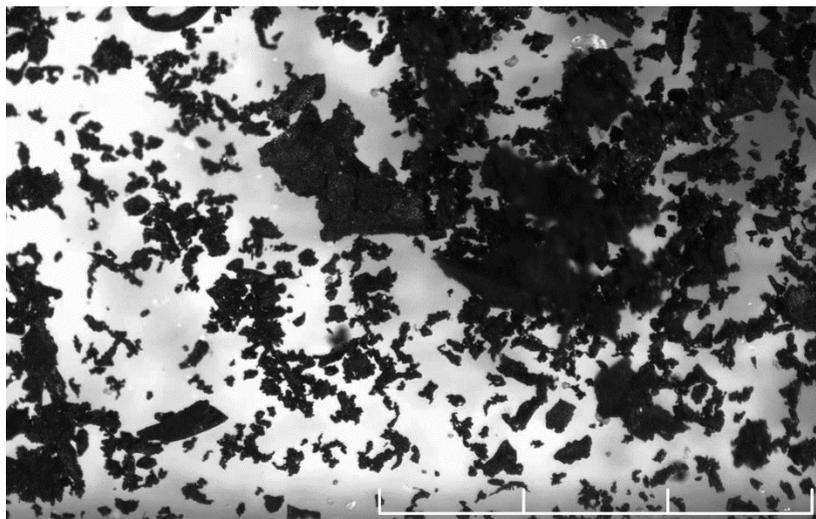


Figura 2. Distribución del Polvo de Neumático Fuera de uso observado con lupa Olympus SZ61 (elaboración propia).

Figure 2. Distribution of Recycled Tire Rubber observed with Olympus SZ61 magnifier (own elaboration).

1.2. Asfalto de uso vial

El asfalto utilizado, es un cemento asfáltico del tipo convencional, obtenido por medio de la destilación del petróleo, y es clasificado según la norma IRAM IAPG 6835 por viscosidad como CA-30. El asfalto empleado en dicho trabajo es uno de los asfaltos más utilizados en la industria vial en nuestro país, que ofrece un amplio rango de utilización ofreciendo un desempeño adecuado en cuanto a sus principales tipos de falla.

Métodos

Se realiza la incorporación del NFU en distintas proporciones por encima del peso de asfalto en porcentajes de 15 % y 18 %. En cuanto al proceso de adición, se realiza mediante un dispersor de altas revoluciones, del tipo rotor-estator el cual le ofrece un proceso de cizallamiento a las partículas de NFU. El asfalto convencional se calienta hasta una

temperatura de 160° en un baño de doble capa acondicionado por aceite y se incorpora gradualmente el NFU previamente pesado, en un proceso que no puede exceder los 15 minutos. Incorporado la totalidad del NFU, se continúa la dispersión durante un tiempo de 45 a 60 minutos para garantizar el proceso de humectación, en el cual las partículas de neumático se impregnan de asfalto, aumentando su volumen, variando la posición del dispersor para lograr la homogeneización del material (LEMaC, 2017).

El material obtenido se caracteriza por medio de ensayos básicos como punto de ablandamiento previo y luego de envejecer en la estufa de película delgada (RTOFT de sus siglas en inglés), viscosidad rotacional Brookfield a 130 °C y se obtiene el parámetro de módulo de corte complejo y el ángulo de fase por medio del reómetro de corte dinámico (DSR de sus siglas en inglés) (Kennedy et al, 1994; Osio, 2001; Speight, 2015) como puede apreciarse en la Figura 3.



Figura 3. Geometría de 8mm para la caracterización reológica de las muestras (elaboración propia).
Figure 3. 8mm geometry for the rheological characterization of the samples (own elaboration).

Para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente se utilizan agregados de origen granítico proveniente de canteras de la localidad de Olavarría. Las mezclas están conformadas por agregado grueso de denominación comercial “6-20”, agregado fino denominado “0-

6” y filler calcáreo de uso obligatorio en las mezclas asfálticas de Argentina. La composición porcentual del esqueleto granular y de la composición en la mezcla se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición porcentual del concreto asfáltico para las distintas mezclas
Table 1. Percent composition of asphalt concrete for the different mixtures

Tamiz	Matriz Agregado	CA30	15NFU	18NFU
Agregado “6-20”	49,00	46,70	46,50	46,50
Agregado “0-6”	50,00	47,65	47,45	47,45
Filler calcáreo	1,00	0,95	0,95	0,95
Asfalto	-	4,70	5,10	5,10

Elaboración propia.
Own elaboration.

Posteriormente se realiza el diseño Marshall de las tres mezclas utilizadas (una empleando asfalto convencional, y dos con asfalto modificado con NFU en 15 % y 18 %) para obtener el porcentaje óptimo de cemento asfáltico a utilizar (DNV, 2017).

El ensayo Marshall consiste en ensayar diametralmente probetas cilíndricas de 6 cm de

altura por 10 cm de diámetro, en el cual se obtiene la carga máxima (Estabilidad) que resiste y la deformación máxima resultante (fluencia). También se obtienen parámetros volumétricos como la densidad aparente y los vacíos de la mezcla, que resultan un valor de control al momento de la colocación y control de las obras. (DNV, 2001).

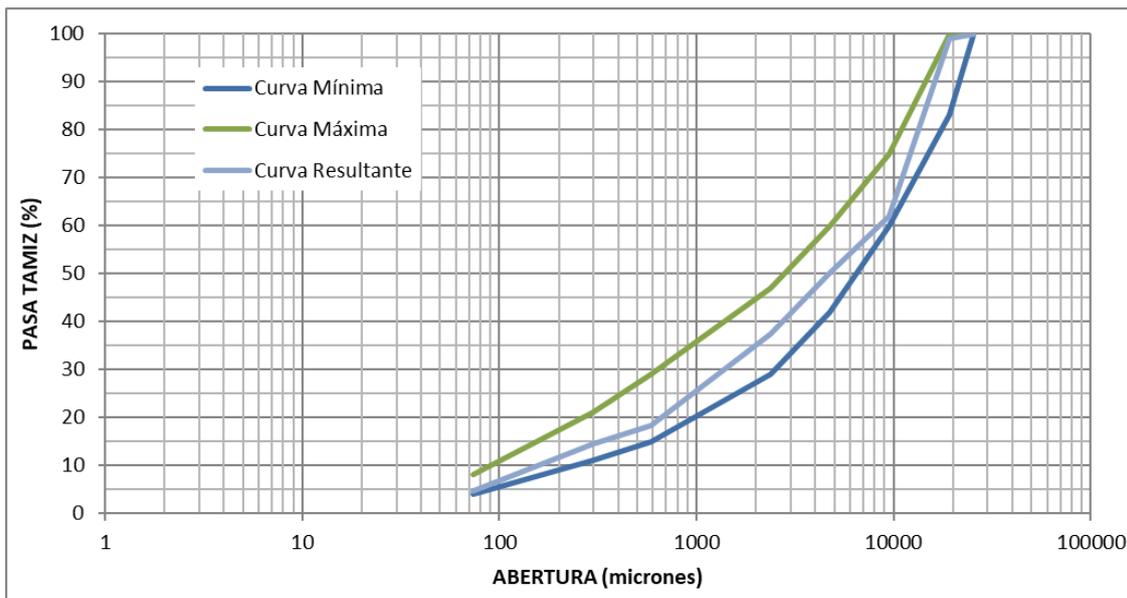


Figura 4. Distribución granulométrica de la matriz de agregado utilizada (elaboración propia).
 Figure 4. Granulometric distribution of the aggregate matrix used (own elaboration).

2. Análisis de resultados

2.1. Ensayos sobre el cemento asfáltico

En la Tabla 2 se pueden ver los resultados sobre el asfalto original y el modificado con 15 % y 18 % de NFU con respecto al peso de

asfalto. Los resultados de punto de ablandamiento marcan una notoria tendencia a elevar este parámetro con el gradual aumento del polvo de NFU. La misma directriz sigue la viscosidad rotacional, obteniendo un material con notoria disminución a la susceptibilidad térmica.

Tabla 2. Composición porcentual del concreto asfáltico para las distintas mezclas
 Table 2. Percent composition of asphalt concrete for the different mixtures

Ensayo	CA30	15NFU	18NFU
Punto de Ablandamiento (°C)	53	59	61
Recuperación elástica torsional (%)	-	47,8	56,1
Punto de Ablandamiento RTFO (°C)	58	64	67
Viscosidad Brookfield (135 °C, cP)	365	4111	16711

Elaboración propia.
 Own elaboration.

Por otra parte, en la Figura 5 se pueden apreciar los resultados del barrido de frecuencias obtenido con el DSR. Se puede apreciar la

disminución del parámetro del módulo de almacenamiento en función del porcentaje de NFU incorporado.

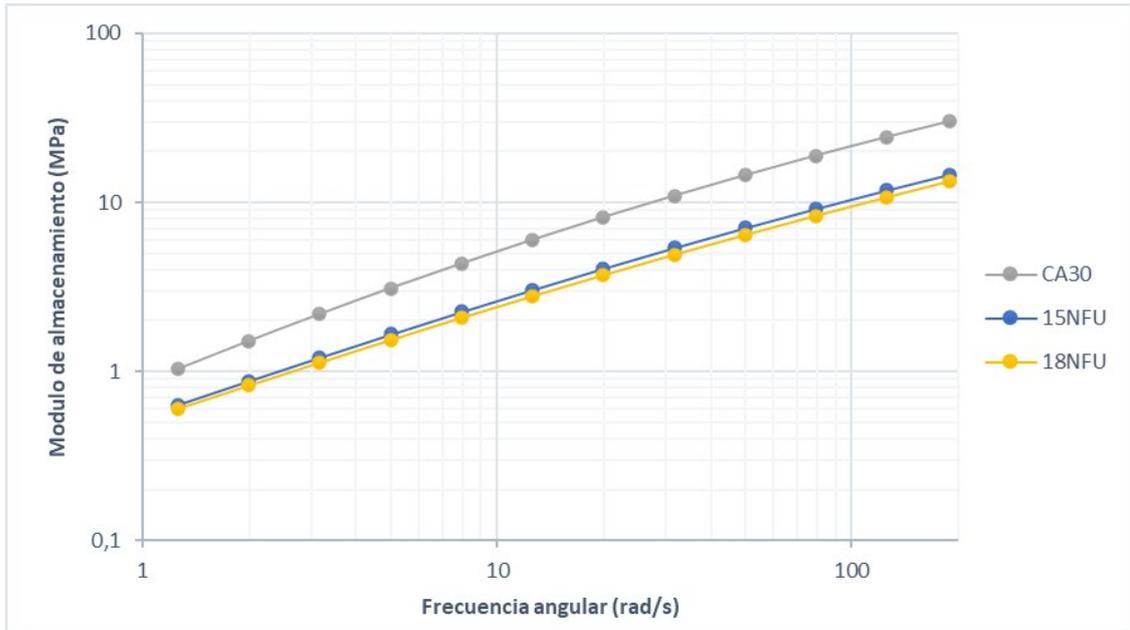


Figura 5. Barrido de frecuencia en el DSR para las muestras evaluadas (elaboración propia).
 Figure 5. Frequency sweep in the DSR for the evaluated samples (own elaboration).

2. 2. Ensayos sobre la mezcla asfáltica

Obtenido el porcentaje de cemento asfáltico óptimo, se procede a extraer los parámetros de Estabilidad, Fluencia, Densidad Marshall y

vacíos, para la caracterización de la mezcla asfáltica en caliente como se ve en las Figuras 6 a 9 para las dosificaciones con los asfaltos estudiados.

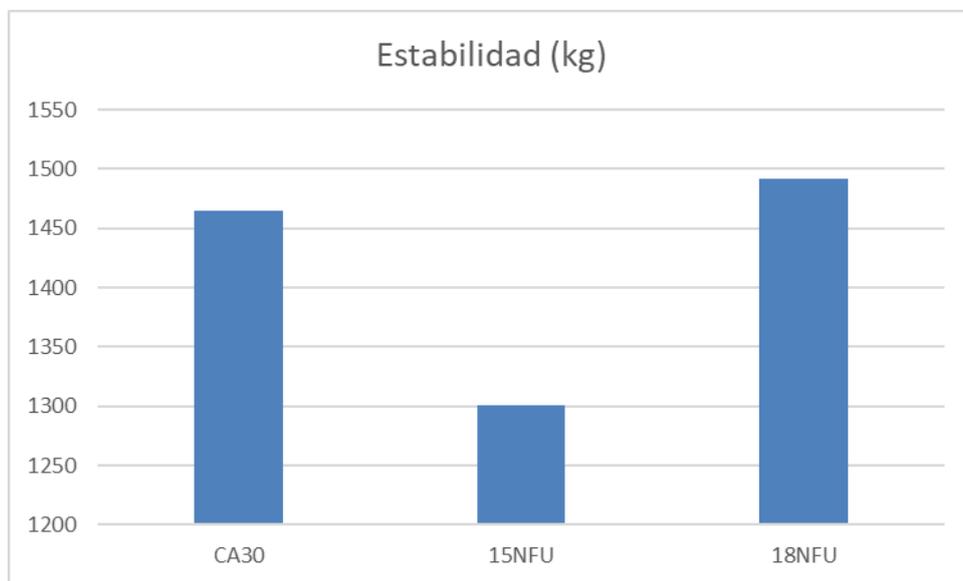


Figura 6. Estabilidad de las mezclas asfálticas evaluadas (elaboración propia).
 Figure 6. Stability of the evaluated asphalt mixtures (own elaboration).

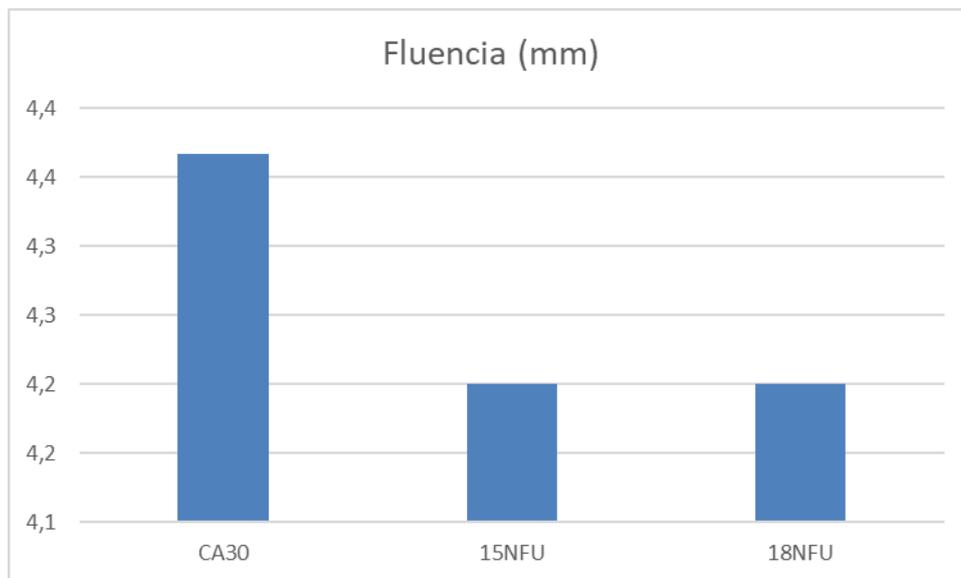


Figura 7. Fluencia de las mezclas asfálticas evaluadas (elaboración propia).
Figure 7. Creep of the evaluated asphalt mixtures (own elaboration).

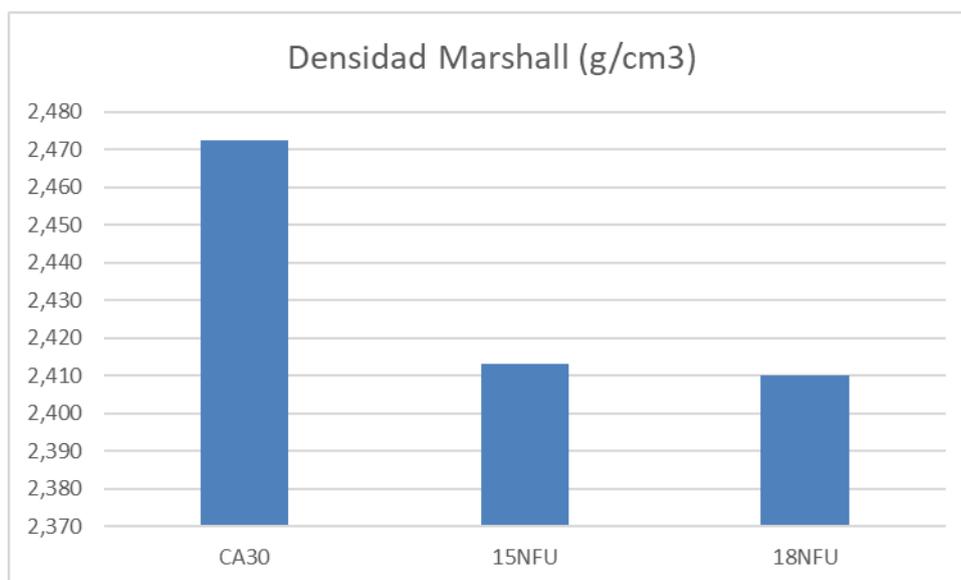


Figura 8. Densidad Marshall promedio de las mezclas asfálticas evaluadas (elaboración propia).
Figure 8. Average Marshall density of the evaluated asphalt mixtures (own elaboration).

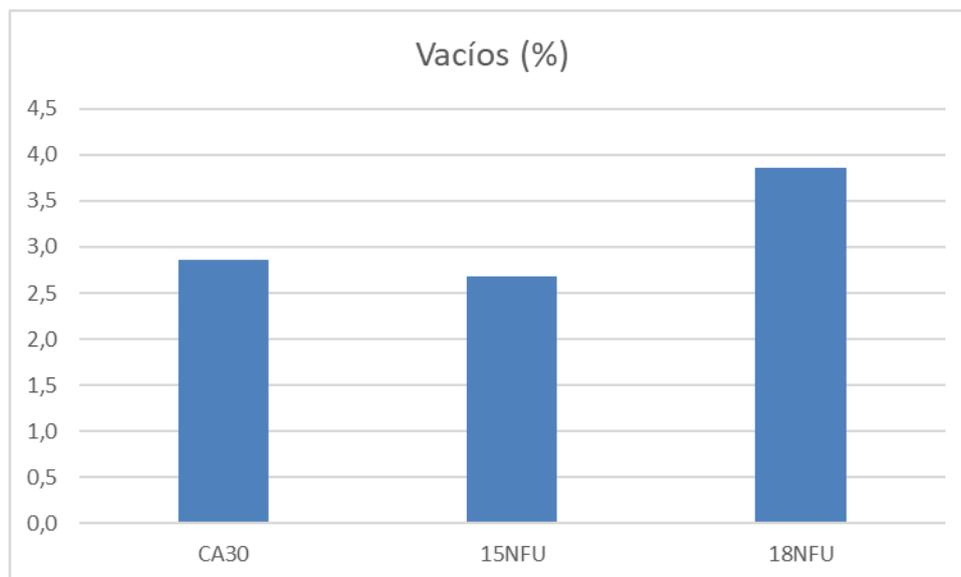


Figura 9. Vacíos de las mezclas asfálticas evaluadas (elaboración propia).

Figure 9. Voids of the evaluated asphalt mixtures (own elaboration).

Discusión

Se puede apreciar en los ensayos de los cementos asfálticos que los parámetros obtenidos tienen a aumentar para las muestras 15NFU y 18NFU con respecto a CA30. Este aumento se traduce en una ventaja a la hora de operar estos materiales en zonas cálidas, y de esta forma trabajar con un rango extendido de temperaturas. Por otra parte, el indicador del módulo de almacenamiento, obtenido del ensayo de barrido de frecuencia del DSR, muestra un material con una rigidez menor a medida que aumenta el NFU, proporcionando un material más flexible y que es capaz de soportar las cargas del tránsito de una forma eficaz.

Por el lado del concreto asfáltico elaborado, se puede apreciar que, al incorporar el residuo, se ve incrementado el porcentaje óptimo de asfalto, desplazándose de la inicial 4,7 % para el betún original a 5,1 % para los modificados con NFU. También se disminuye la densidad del material resultante debido al bajo peso específico que posee el caucho. Además, puede evidenciarse una similitud en los resultados del CA30 y 18NFU de estabilidad de las mezclas, el parámetro que indica la capacidad resistente del concreto asfáltico.

Por lo expuesto previamente, el Polvo de Neumático Fuera de Uso, es capaz de utilizarse como modificador del asfalto a emplear en concretos asfálticos para pavimento. El buen comportamiento registrado en los ensayos de caracterización tanto del asfalto como de la mezcla asfáltica indican que la incorporación del residuo es factible de realizarse en altas tasas (superiores al 15 % en peso del cemento asfáltico). Esto muestra una utilización más que importante del polvo de NFU para darle un segundo uso a un residuo potencialmente peligroso como se evidencio previamente. Si bien el polvo de NFU es la fracción más fina extraída de la molienda, el abanico de utilización cubre un gran rango desde triturado para canchas de fútbol, baldosas anti-trauma, y elementos de delimitación vial.

El paso trascendental es la aplicación de un sistema de recolección íntegro, que cubra la recolección de los neumáticos a nivel local municipal, que realice una trituración primaria para reducir el tamaño de los neumáticos y facilitar su traslado a centro provinciales o regionales, y posteriormente a una central de trituración que pueda obtener los distintos tamaños granulométricos de caucho para las variadas aplicaciones mencionadas previamente.

Referencias bibliográficas

- Botasso, G. (2018). *Dispersiones de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso. Su empleo en mezclas asfálticas densas y antiderrapantes*. Editorial Universidad Tecnológica Nacional.
- Botasso, G., González, R., Rivera, J. y Rebollo, O. (octubre de 2010). Utilización de cauchos en mezclas asfálticas [Ponencia]. *XII Congreso Ibero-Latinoamericano de Asfalto*, Quito, Ecuador.
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (2007). *Manual de empleo de caucho de NFU en Mezclas bituminosas*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.
- Centro de Investigaciones Viales (LEMaC, 2019). *Guía de metodologías y procedimientos para uso vial desarrollados en el LEMaC*. Editorial Universidad Tecnológica Nacional.
- Dirección Nacional de Vialidad de la República Argentina (2001). *Normas de ensayo de vialidad nacional*. Dirección Nacional de Vialidad, Argentina.
- Dirección Nacional de Vialidad de la República Argentina (2017). *Pliego de especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos en caliente y semicaliente del tipo densos*. Dirección Nacional de Vialidad.
- Kennedy, T. W., Huber, G. A., Harrigan, E. T., Cominsky, R. J., Hughes, C. S., Von Quintus, H., y Moulthrop, J. S. (1994). *Superior performing asphalt pavements (Superpave): The product of the SHRP asphalt research program*. Strategic Highway Research Program. <https://trid.trb.org/View/405688>
- Osio, H. D. (2001). *SHRP – SUPERPAVE: Ligan-tes asfálticos*. Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica.
- Speight, J. G. (2015). *Asphalt materials science and technology*. Elsevier.