

Título: “Estudio de mezclas asfálticas con adición de caucho reciclado proveniente de neumáticos fuera de uso”

Benavides Burgos, Karina de J.; Bustos, Marcelo G.; Richarte Guidet, Nicolás; Corrales Zúñiga, Pablo A.
Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña, Facultad de Ingeniería, UNSJ
mbustos@eicam.unsj.edu.ar

Resumen

Los neumáticos fuera de uso representan un problema ambiental que se ha ido acentuado en los últimos años. Estos materiales resultan altamente contaminantes si son abandonados en depósitos al aire libre, por lo cual es muy conveniente que sean reciclados para su uso en distintas aplicaciones. En el marco de una legislación ambiental provincial, en San Juan se promueve esta actividad de reciclado, a través de la trituración y molido fino de dichos neumáticos en desuso.

La Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña de la UNSJ llevó adelante un proyecto de investigación, donde se utilizó caucho reciclado producido por empresas provinciales, como elemento constituyente de mezclas asfálticas, para evaluar la conveniencia de su uso dentro de estos materiales. Se aplicó la metodología Marshall para la dosificación de mezclas asfálticas modificadas con caucho por vía seca, llevando a cabo un diseño experimental para analizar la incidencia de diferentes variables tales como el tamaño del grano de caucho y el porcentaje de incorporación en peso de caucho dentro de la mezcla, entre otras.

Los resultados obtenidos mostraron que la incorporación de caucho finamente triturado, en determinadas proporciones y tamaños, permitía obtener incrementos en la estabilidad Marshall de la mezcla. No obstante, estos beneficios se registraron dentro de un rango acotado, fuera del cual la mayor adición de caucho podía resultar desfavorable y disminuir la capacidad resistente de la mezcla asfáltica.

Palabras clave: Caucho reciclado, asfalto, pavimentos, gestión ambiental.

INTRODUCCIÓN

En Argentina, anualmente se desechan más de 130 mil toneladas de neumáticos [1], de las cuales el 6.1% (8 mil toneladas) proviene de la región de Cuyo [2]. A nivel nacional, apenas se recicla el 8% de estos neumáticos en desuso, en marcado contraste con el 80-90% que se recicla en Norteamérica. Esta disparidad ha motivado a entidades gubernamentales a promover proyectos de ley para fomentar el reciclado de neumáticos.

En la provincia de San Juan, la Ley N°1434-L establece normativas ambientales para implementar un Sistema Integral de Gestión de Neumáticos de Desecho, involucrando responsabilidades tanto para entidades gubernamentales como para generadores públicos y privados [3].

Una aplicación destacada del caucho granulado reciclado es su uso en capas asfálticas para la construcción de carreteras, reduciendo así la necesidad de extraer áridos de canteras. Este material puede integrarse como parte del ligante, o incluso como árido en la mezcla. Se estima que entre 1000 y 7000

neumáticos pueden ser utilizados por kilómetro de carretera de dos carriles, lo que posiciona al reciclaje para pavimentos asfálticos como una solución efectiva para los neumáticos en desuso [4].

Actualmente, existen tres técnicas para fabricar mezclas asfálticas con caucho: vía húmeda, vía seca y vía semihúmeda. Aunque la vía húmeda ha demostrado resultados satisfactorios, su alto impacto ambiental debido a las altas temperaturas requeridas durante la producción hace que la vía seca sea preferible [5]. En este proceso, el polvo de caucho se incorpora directamente como un componente más de la mezcla, junto con el asfalto, a temperaturas más bajas, permitiendo reemplazar áridos naturales por caucho reciclado [6].

A nivel internacional, se han obtenido buenos resultados con esta metodología en diversas vías, aunque se destaca que la compactación puede ser más difícil debido al tamaño y densidad de las partículas de caucho, así como la proporción utilizada [7].

OBJETIVOS

El objetivo de esta investigación fue realizar un análisis comparativo entre mezclas asfálticas convencionales y aquellas fabricadas con caucho reciclado de neumáticos fuera de uso, con concentraciones de caucho entre 0.5% y 2%. Se evaluaron propiedades de estabilidad y flujo mediante pruebas de laboratorio sobre muestras compactadas, siguiendo la metodología Marshall.

MATERIALES Y MÉTODOS

El procedimiento experimental consistió en la caracterización del cemento asfáltico AC-30 y del material granular, suministrados por una empresa local; para determinar el porcentaje óptimo de asfalto en la mezcla de referencia mediante la metodología Marshall. Luego, se caracterizó el polvo de caucho según el Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas del CEDEX [8].

Basándose en el porcentaje óptimo de asfalto de la muestra de referencia, se incorporaron porcentajes de caucho en masa por vía seca, tratando el caucho como un componente más del árido fino [7]. Se seleccionaron proporciones de caucho del 0.5%, 1% y 2% siguiendo recomendaciones bibliográficas.

Se definieron previamente las variables críticas (ver Tabla 1) para asegurar una integración efectiva de los materiales. El cálculo de los porcentajes óptimos de caucho siguió la metodología Marshall, preparándose así para la comparación de las mezclas fabricadas con base en los parámetros de estabilidad y flujo.

Tabla 1: Variables a considerar para la dosificación de caucho

Variable	Valor
Temperatura de mezclado	165°C
Tiempo de digestión/ maduración	120 minutos
Temperatura de digestión/maduración	155°C
Temperatura de compactación	145°C

El tiempo de digestión o maduración se define como el tiempo en el cual se produce la interacción entre el caucho y el cemento asfáltico, en el que el caucho absorbe las fracciones más ligeras del cemento, aumentando de esta manera su viscosidad [8].

Para esta investigación, se utilizó una Mezcla Asfáltica Convencional Densa, CAC D-19, con tamaño máximo del agregado de 19 mm (3/4"), según las

especificaciones de la Comisión Permanente del Asfalto en Argentina [9].

Se fabricaron probetas de mezclas asfálticas convencionales según la metodología Marshall (VN-09-86) a una temperatura de compactación de 135°C, con 75 golpes por capa. Se empleó cemento asfáltico AC-30 y se evaluaron porcentajes de asfalto de 4%, 5% y 6%. Se prepararon 3 muestras para cada porcentaje y se determinó que el porcentaje óptimo para la mezcla convencional es del 4.7%.

Para las probetas con adición de caucho, se partió del porcentaje óptimo de asfalto obtenido para la mezcla convencional, utilizando dotaciones de 4.7%, 5.2% y 5.7%. Se empleó caucho con un tamaño de grano inferior a 1 mm, según el huso granulométrico P-2 del Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas [8].

Para la elaboración de las probetas, se dosificaron los materiales según sus porcentajes de participación respecto al peso total de la muestra. Los áridos se calentaron inicialmente en horno a la temperatura de mezclado (ver Tabla 1). Una vez alcanzada esta temperatura, se incorporó el caucho y se mezcló homogéneamente. Luego, se añadió el asfalto previamente calentado a la mezcla de áridos con caucho y se mezcló hasta envolver completamente los agregados con el asfalto.

La mezcla se colocó en moldes y se cubrió con papel aluminio, luego se puso en el horno a la temperatura de digestión por el tiempo especificado en la Tabla 1. Una vez completado este tiempo, se retiraron las muestras individuales del horno y se retiró el papel aluminio.

Posteriormente, se compactó la mezcla modificada en moldes tipo Marshall a la temperatura de compactación indicada en la Tabla 1, con 75 golpes por cada lado de la probeta.

Una vez obtenidas las probetas, se procedió con el pesaje y los ensayos de estabilidad y flujo. Con base en las lecturas de laboratorio, se elaboró una tabla resumen que incluye el cálculo de pesos unitarios, vacíos de la mezcla, vacíos de los agregados, vacíos llenos de asfalto y peso específico teórico, para obtener los resultados corregidos de estabilidad y flujo.

Este procedimiento se realizó tanto para la muestra convencional como para las muestras modificadas. Los datos obtenidos se presentan en la Tabla 2 para su análisis.

Tabla 2. Resumen con resultados de estabilidad y flujo para muestra convencional y modificada

Muestra	% de Asfalto	% Caucho	Estabilidad	Flujo
Patrón	4.7%	0%	11.08 kN	3.3mm
	4.7%		14.32 kN	3.4mm
Muestra 1	5.2%	0.5%	9.59 kN	3.8mm
	5.7%		9.84 kN	4.6mm
	4.7%	1.0%	9.62 kN	3.8mm
Muestra 2	5.2%		10.76 kN	4.1mm
	5.7%		9.64 kN	4.0mm
	4.7%	2%	5.39 kN	5.3mm
Muestra 2	5.2%		8.43 kN	3.7mm

RESULTADOS

En cuanto al parámetro de estabilidad de la Tabla 2, que muestra el porcentaje de asfalto con la carga máxima resistida por la probeta, la mezcla patrón tuvo una carga máxima de 11.08 kN. Las muestras con adición de 0.5% de caucho resistieron 14.32 kN, las de 1% resistieron 10.76 kN con un 5.2% de asfalto. Sin embargo, las muestras con 2% de adición no cumplieron los parámetros mínimos establecidos.

Esto indica que la adición de caucho al 0.5% mejora el comportamiento de la mezcla sin aumentar el porcentaje óptimo de asfalto. En la presa Marshall, la deformación de la mezcla de referencia fue de 3.3 mm, mientras que las muestras modificadas presentaron deformaciones mayores, excepto la de 0.5% de caucho, que solo varió en 0.1 mm respecto a la mezcla patrón.

Altas dotaciones afectan las propiedades mecánicas de la mezcla y aumentan el tamaño de las probetas. Aunque el polvo de caucho se considera un árido, sus propiedades particulares afectan drásticamente el comportamiento de las mezclas asfálticas. En las dotaciones del 2%, incluso con mayor contenido de asfalto, las partículas de caucho no se integran adecuadamente, generando una respuesta desfavorable ante cargas.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Al realizar el análisis Marshall a muestras CAC D-19 modificadas con caucho por vía seca, se obtuvieron los siguientes resultados:

- ✓ Las muestras con 0.5% de caucho y 4.7% de asfalto mostraron un mejor comportamiento

que las convencionales, con un aumento del 30% en la estabilidad Marshall.

- ✓ La respuesta a la deformación no mostró un aumento considerable, con una diferencia de solo 0.1 mm entre la mezcla modificada y la convencional.
- ✓ El uso de caucho en bajas proporciones como aditivo reduce desechos en rellenos sanitarios, aprovechándolo en proyectos viales.
- ✓ Es necesario realizar ensayos adicionales, como resistencia a la fatiga, ahuellamiento y rueda de Hamburgo, para analizar el comportamiento dinámico de las mezclas asfálticas y obtener resultados más precisos.
- ✓ También se debe evaluar cómo el proceso de adición de caucho afecta la mezcla, considerando la densidad y las propiedades de los materiales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Revista Lima. (9 de agosto de 2017). Argentina desecha anualmente 130 mil toneladas de neumáticos y el INTI trabaja en la solución. Obtenido de Revista Lima: <https://revistalima.com.ar/2017/08/09/argentina-desecha-anualmente-130-mil-toneladas-de-neumatico>
- [2] Los Andes. (1 de noviembre de 2017). Cada año desechan 8 mil toneladas de neumáticos en Cuyo. Obtenido de Los Andes: <https://www.losandes.com.ar/article/en-cuyo-se-desechan-al-ano-8-000-toneladas-de-neumaticos>
- [3] Cámara de diputados de la provincia de San Juan. (9 de junio de 2016). Ley N° 1434-L. Obtenido de Cámara de diputados de la provincia de San Juan: <https://diputadossanjuan.gob.ar/leyes-sancionadas/item/6567-ley-n-1434-l>
- [4] Castro, G. (diciembre de 2007). Reutilización, reciclado y disposición final de neumáticos. Obtenido de Departamento de Ingeniería Mecánica FIUBA: https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Reutilizacion_Reciclado_y_Disposicion_final
- [5] Ramírez Palma, N. I. (diciembre de 2006). Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- [6] Federación Española de Recuperación y el Reciclaje. (18 de septiembre de 2013). Experiencia española del caucho NFU en las mezclas asfálticas. Obtenido de Federación Española de Recuperación y el Reciclaje
- [7] Moreno, F., Rubio, M. d., Del Sol, M., Tauste, R., García, G., Saiz, L., & Pérez, R. (2022). Manual de recomendaciones para el diseño y puesta en obra de mezclas bituminosas con polvo de caucho por vía seca. Madrid: Signus.
- [8] Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. (2007). Manual de empleo de caucho de NFU en Mezclas Bituminosas. España: Ministerio de Medio Ambiente.
- [9] Comisión Permanente del Asfalto. (2015). Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Mezclas Asfálticas en calientes gruesas. Buenos Aires: Comisión Permanente del Asfalto.