

Ingeniería

ENERO/DICIEMBRE 2004 - VOLUMEN 14 - N°1 y 2



**INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
EN INGENIERÍA**

25 aniversario

AHUELLAMIENTO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS POR LA ADICIÓN DE RESIDUOS DE PLÁSTICO COMO REEMPLAZO DE MATERIAL

*Fredy Reyes Lizcano
Óscar Javier Reyes Ortiz*

Resumen

Se determinó el efecto en el ahuellamiento de una mezcla asfáltica cerrada, al introducirle residuos de llantas usadas como reemplazo de material. El estudio inició con la caracterización de los materiales granulares, el asfalto y el residuos de llanta, seguido por la determinación del porcentaje óptimo de asfalto mediante el ensayo Marshall y concluyendo con la ejecución de ensayos Marshall y ahuellamiento, con la adición de llanta usada, como reemplazo de material granular.

El residuo de llanta fue introducido en tres formas geométricas diferentes: la primera, como polvo; la segunda, como fibras de longitud de 1,5 cm y la última, como una combinación equivalente de las dos anteriores. Entre los resultados obtenidos se resalta que la deformación descendió hasta un 13 % para el empleo de polvo de llanta y un 23 % para fibras de llanta.

Palabras clave: Ensayo Marshall, ahuellamiento, llanta usada, mezcla asfáltica cerrada.

Abstract

Was to determine the effect in the rutting of asphalt mixture, by inserting wasted tires as a substitution of granular material. The study started with a description of the properties of granular material, asphalt and wasted tires, followed by the result of the ideal percentage obtained in the Marshall test. It concluded with the Marshall Tests performance and the rutting adding wasted tires as a substitute of granular material.

Waste tires were introduced in three different geometrical shapes; one of them, powder, the second one fibers of 1,5 cm long and the last one, a combination of powder and fibers. The results obtained showed that deformation decreased by 13 % when using wasted tires powder and by 23 % when using tire fibers.

Keywords: Marshall test, rutting, used tire, asphalt mixture close.

Recibido 11-XI-04 • **Aceptado** 18-XI-04

1. INTRODUCCIÓN

El ahuellamiento es una falla estructural, característica de los pavimentos flexibles (Figura 1), que corresponde a una deformación permanente en la estructura y la cual es generada, especialmente, por un exceso en el tráfico, cargas elevadas por eje, malos procesos constructivos y altas temperaturas de servicio.

Las deformaciones que se presentan en una estructura de pavimento están compuestas por las

deformaciones elásticas y las plásticas (Thenoux, 2002). Las primeras se recuperan luego de que la carga impuesta en la carpeta es retirada, mientras que las segundas se acumulan, generando deformación permanente (Figura 2).

Las llantas están compuestas especialmente por fibras de acero y polímeros del tipo caucho natural (NR), caucho polisopreno (IR), caucho butadieno de estireno (SBR) o caucho polibutadieno (BR). Estos polímeros tienen propiedades térmicas, mecánicas y químicas, que al ser sometidos a



Figura 1. Fenómeno del ahuellamiento. Vía Calle 80, Bogotá, Colombia.

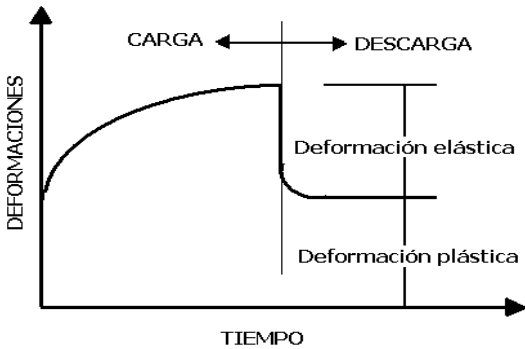


Figura 2. Comportamiento de materiales viscoelásticos.

las cargas excesivas, inclemencias del clima y agentes químicos, no presentan alteraciones significativas en sus propiedades mecánicas, lo cual hace que sea una alternativa como reemplazo de material granular en la construcción de estructuras de pavimento. Múltiples compañías han patentado productos industrializados a base de polímeros para mejorar las propiedades mecánicas y dinámicas de mezclas asfálticas; sin embargo, debido a sus costos elevados, son poco empleados en países en vía de desarrollo como el nuestro. Actualmente, diferentes centros de investigación adelantan averiguaciones conducentes a reemplazar materiales granulares por residuos plásticos, basándose en los principios de los polímeros industrializados. Prueba de ello son estudios como: “Fatigue behavior of a pavement foundation with recycle aggregate and waste HPDE strips” (Sobhan, Únale, 2003); “Evaluación de las propiedades asfalto-caucho para utilización en pavimentación asfáltica” (Ola, 2000) y “Use of plastic for porous asphalt mixture design” (Reyes, 2004), entre otros.

Por otra parte, es importante resaltar que estos productos de residuo plástico, debido a sus grandes periodos de degradación (de 100 años a 1000 años) (Unión Temporal Fichtner-Cydep, 2000), generan contaminación ambiental en las cuencas hidrográficas y en terrenos de disposición de basuras.

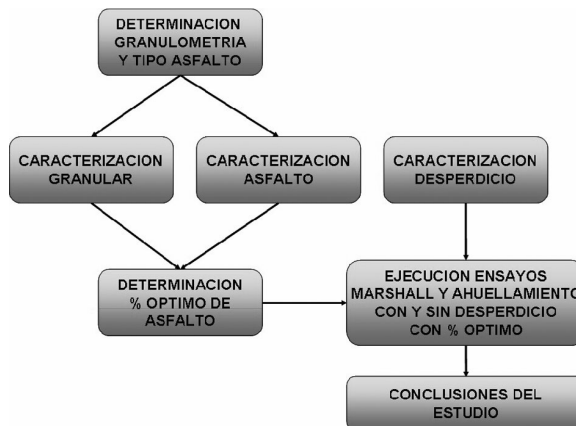


Figura 3. Diagrama de la metodología de la investigación.

El propósito principal de esta investigación se centró en el efecto que tiene adicionar en una mezcla asfáltica cerrada, con granulometría 0/10 y asfalto con penetración 60/70, residuo de llanta usada en forma de polvo, fibra y combinación de éstas en el fenómeno del ahuellamiento y, a su vez, contribuir en un proceso de descontaminación

ambiental al emplear estos materiales en la construcción de las vías.

2. METODOLOGÍA

En la Figura 3 se presenta el diagrama que describe la metodología empleada para el desarrollo de

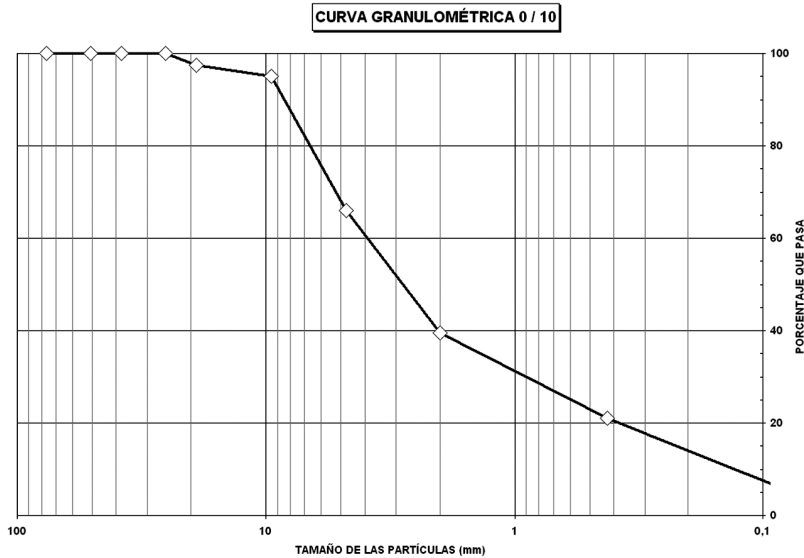


Figura 4. Curva granulométrica 0/10.

Cuadro 1. Ensayos de caracterización del material granular

ENSAYO	NORMA	RESULTADO
Absorción agregado grueso	ASTM C 127	3,34 %
Peso específico aparente	ASTM C 127	2,39
Absorción agregado fino	ASTM C128	1,77 %
Peso específico aparente	ASTM C 128	2,50
Desgaste agregados	ASTM C 535	25,6 %

Fuente: (los autores)

Cuadro 2. Ensayos de caracterización del asfalto

ENSAYO	NORMA	RESULTADO
Penetración	ASTM D 5-97	67/70
Ductilidad	ASTM D113-99	125 cm
Viscosidad	ASTM D2170-95	1500
Ablandamiento	ASTM D36-95	45 °C
Punto de llama e ignición	ASTM D3143-98	215 °C y 232 °C

Fuente: (los autores)

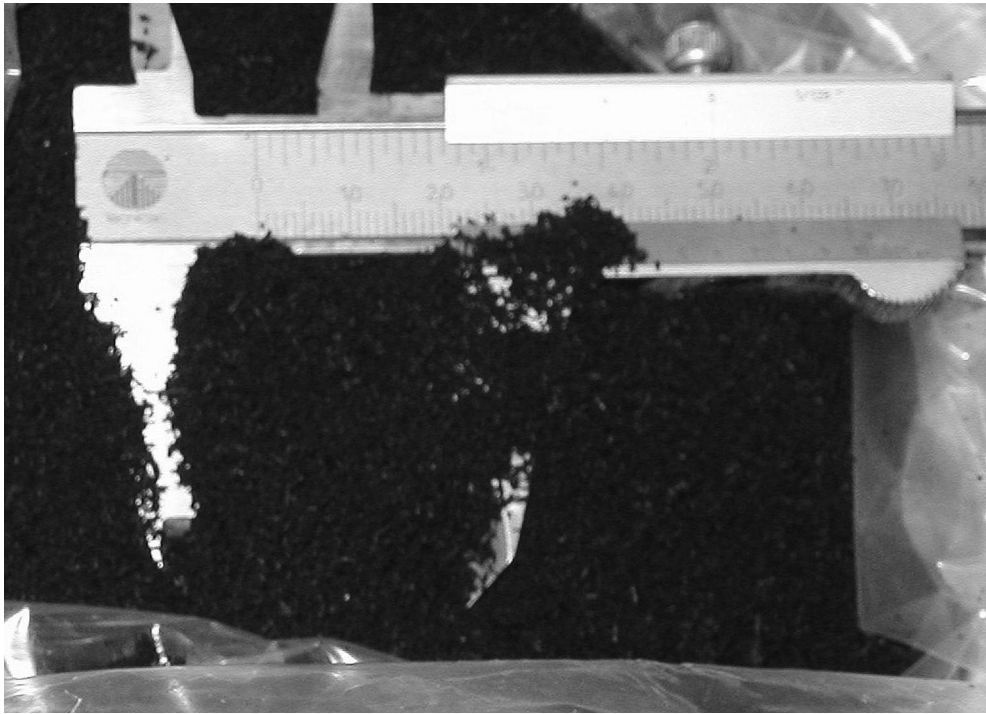


Figura 5. Llanta en polvo.



Figura 6. Llanta en fibras.

este proyecto, que posteriormente se describirá en detalle.

2.1 Determinación de la granulometría y del tipo de asfalto

La granulometría que se empleó en la investigación corresponde a la denominada 0/10 (Figura 4) y es la empleada en la construcción de pavimentos en la ciudad de Bogotá, según el Reglamento Técnico Vial (I.D.U.-Uniandes, 2002). El tipo de asfalto utilizado fue el producido por la Refinería de Barrancabermeja.

2.2 Caracterización del granular

El material granular se caracterizó al realizar los ensayos de laboratorio que aparecen en el Cuadro 1.

2.3 Caracterización del asfalto

El asfalto empleado en la investigación es el denominado de Barrancabermeja y posee las características mostradas en el Cuadro 2.

2.4 Caracterización del residuo plástico

Para la investigación se empleó material de las llantas usadas que desecha el Parque Automotor de la ciudad de Bogotá, las cuales están compuestas por elastómeros, con densidad de $0,87 \text{ kg/cm}^3$. El residuo se utilizó de tres formas geométricas diferentes. El primero como material molido y cuyo tamaño pasa el tamiz N. 40. El segundo, en forma de tiras de 1 mm de espesor por 15 mm aproximadamente de longitud y el último, una combinación de 50 % del primero y 50 % del segundo. En las Figuras 5 y 6 se puede observar la forma del material.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se construyeron quince especímenes de ensayo Marshall para determinar el porcentaje óptimo de asfalto, encontrándose que este corresponde a 6,5 %. Con el porcentaje óptimo de asfalto (6,5 %), se construyeron los especímenes de ensayo Marshall con nivel de energía a 50 y 75 golpes por cara y briquetas de ahuellamiento,

a las cuales se les adicionó residuo de llanta entre 0,15 % y 0,75 %, con respecto al peso del granular, con intervalos de 0,15 % y en las llantas usadas en forma de polvo, fibra y combinación de estas. Los resultados obtenidos para los ensayos Marshall con y sin adición de residuo, se observan en las Figuras de la 7 a la 11.

En la Figura 8 se observa que, para la adición de 0,15 %, 0,3 % y 0,6 %, se presenta un incremento en la estabilidad de las briquetas compactadas con 50 golpes y sin importar la forma del residuo. Dicho incremento alcanzó su valor máximo (17 %) para la adición del 0,15 %. Existe, de igual forma, un descenso máximo (16 %) para los porcentajes de 0,45 % y de 0,75 % para la adición con fibras.

En la Figura 9 se observa que, para la adición de fibras y nivel de energía de 75 golpes, los incrementos se presentan para la adición de residuo entre 0,15 % y 0,6 %, siendo el valor máximo (14 %) para la adición del 0,15 %. Es importante resaltar que al adicionar el residuo en forma de polvo, se genera un descenso en la estabilidad para los valores entre 0,15 % y 0,45 %.

De la Figura 10, se puede concluir que al adicionar residuo en la mezcla asfáltica, se reduce la densidad, sin importar el porcentaje y la forma de este.

De la Figura 11, se concluye que al adicionar residuo a la mezcla, sin importar el porcentaje y su forma, la deformación se encuentra dentro del rango permisible.

Los resultados obtenidos de los ensayos de ahuellamiento, se observan en la Figura 12 para el empleo de residuo de llanta en forma de polvo; en la Figura 13, para el uso de fibras y en la Figura 14, para la combinación de las dos.

Con base en la Figura 15, se determinó que para el porcentaje de 0,45 % y en la forma de polvo y fibra de llanta, la deformación debida al ahuellamiento a 2 500 ciclos, disminuye hasta un 23 %. Para el porcentaje de 0,6 % y residuo en forma de polvo, existe una disminución del orden del 13 %.

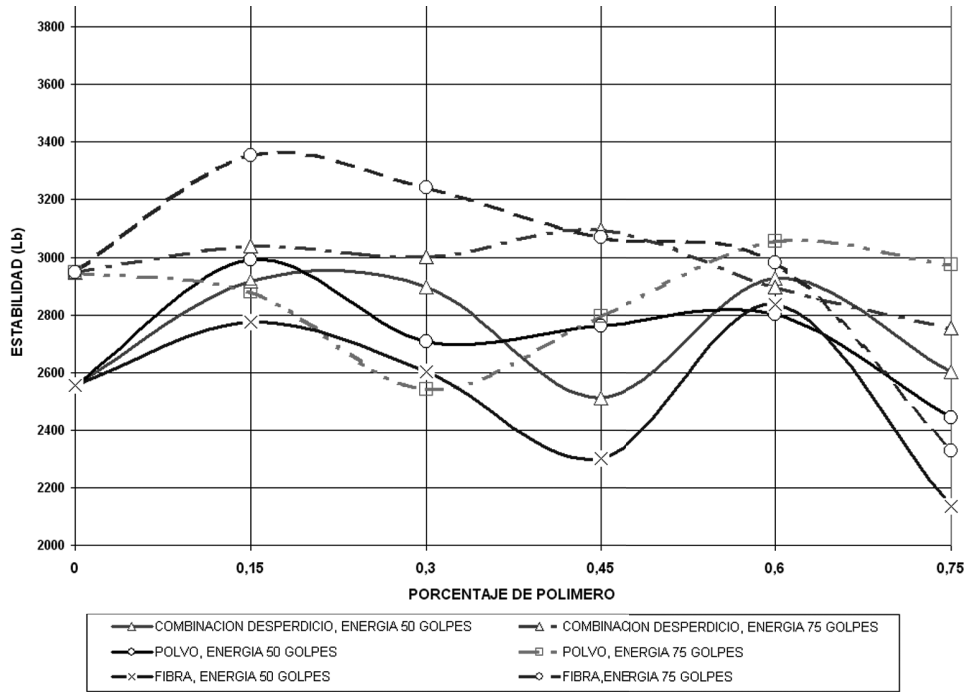


Figura 7. Variación de la estabilidad con respecto al porcentaje de residuos.

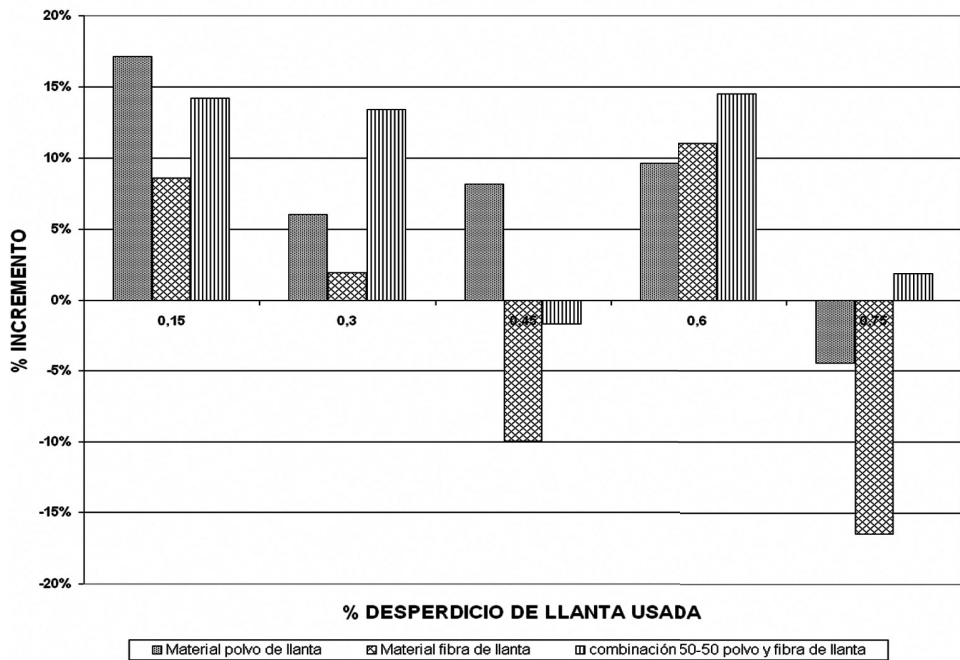


Figura 8. Incremento de la estabilidad con respecto a la adición de desperdicio de llanta usada para un nivel de energía de compactación de 50 golpes por cara.

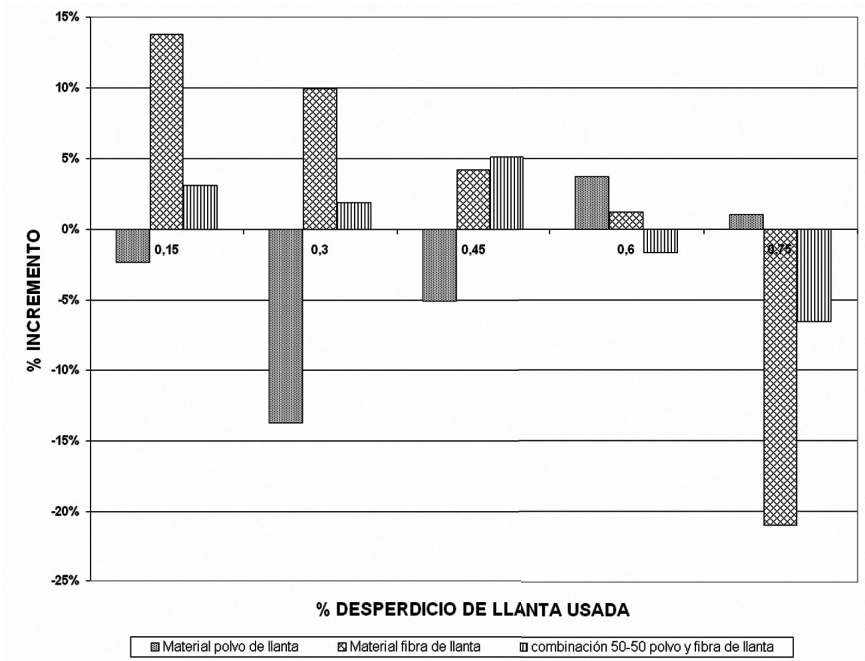


Figura 9. Incremento de la estabilidad con respecto a la adición de desperdicio de llanta usada para un nivel de energía de compactación de 75 golpes por cara.

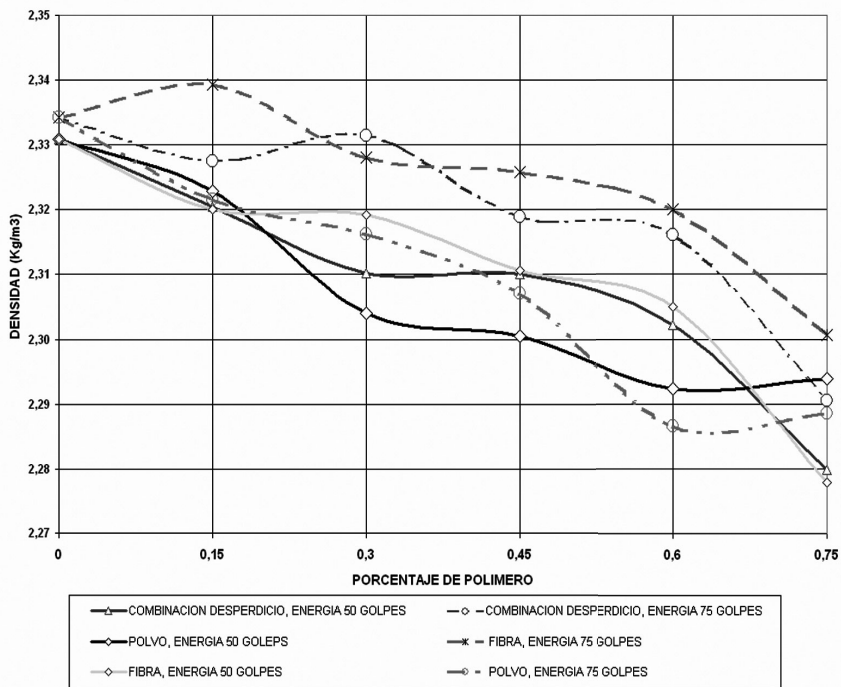


Figura 10. Variación de la densidad con respecto al porcentaje de desperdicio.

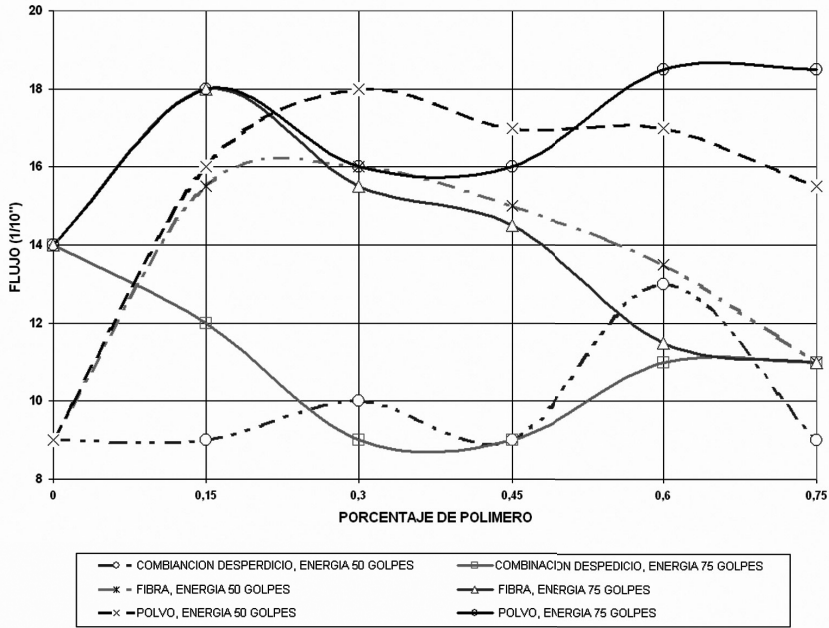


Figura 11. Variación del flujo con respecto al porcentaje de residuos de plásticos.

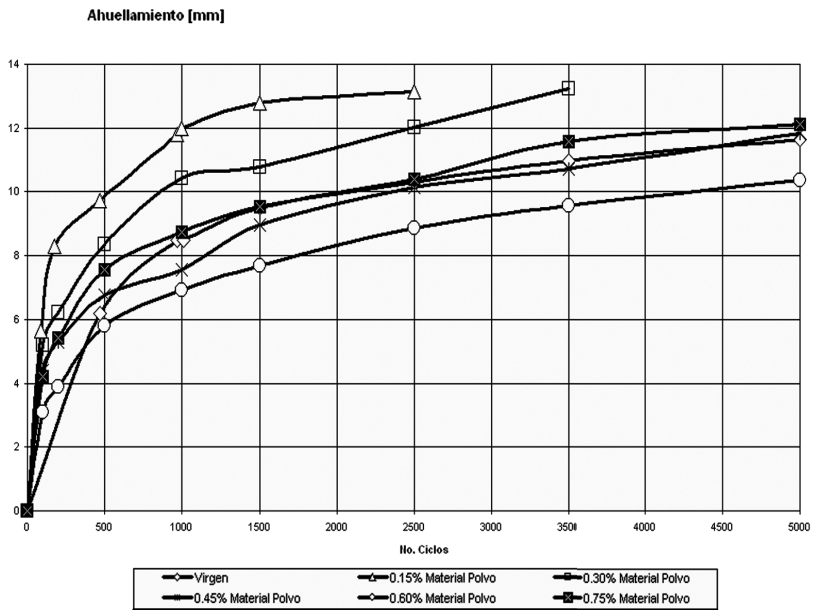


Figura 12. Variación del ahuellamiento con respecto al porcentaje de llanta usada en forma de polvo.

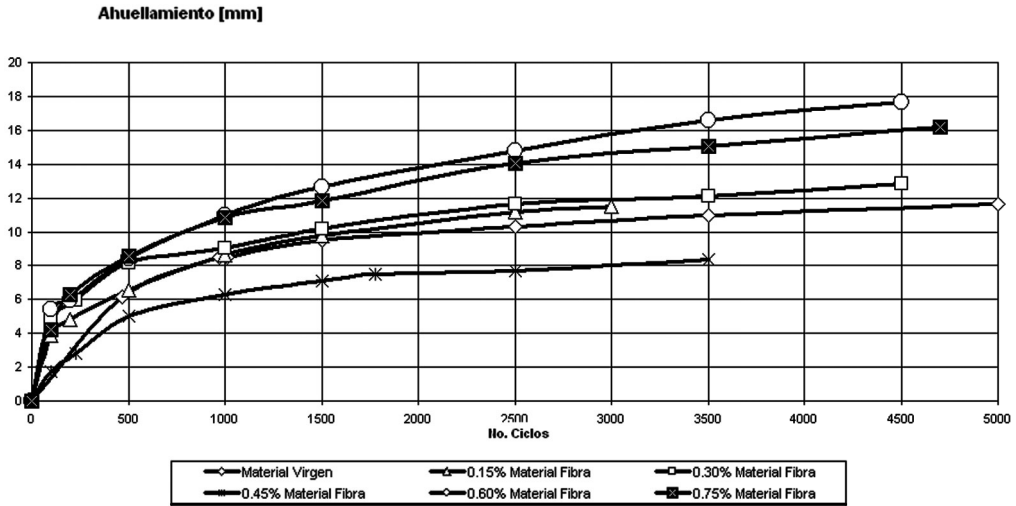


Figura 13. Variación del ahuellamiento con respecto al porcentaje de llanta usada en forma de tiras.

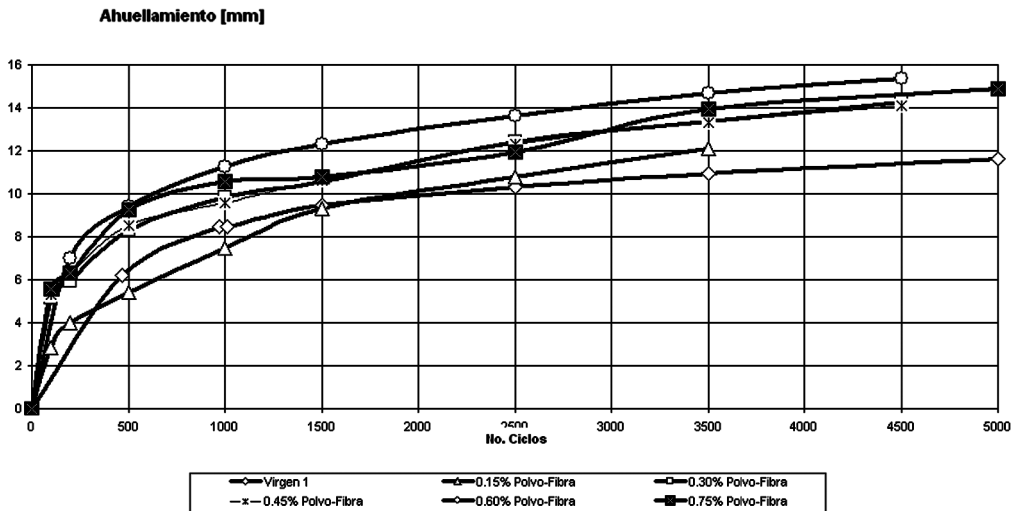


Figura 14. Variación del ahuellamiento con respecto al porcentaje de llanta usada con combinación de polvo y fibra.

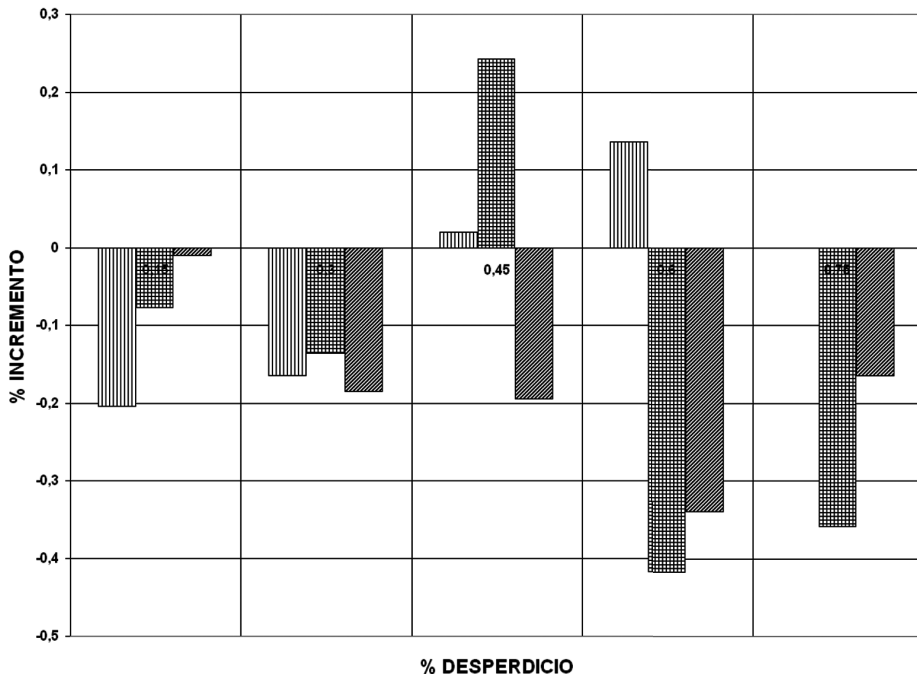


Figura 15. Efecto del residuo en el ahuellamiento.

4. CONCLUSIONES

El comportamiento de la mezcla asfáltica cerrada, según lo observado en el análisis de los ensayos de laboratorio, presenta un menor ahuellamiento cuando se adiciona residuo de llanta usada en las formas de polvo y fibra, alcanzando hasta un descenso en deformación del orden del 23 %. Por otra parte, analizada la resistencia (estabilidad) para los niveles de energía de 50 golpes por cara, se incrementa al adicionar residuos en todas las formas para los porcentajes de 0,15 %, 0,3 % y 0,6 %. Para el nivel de energía de 75 golpes, los incrementos se obtuvieron para las adiciones de fibra a porcentajes de 0,15 %; 0,3 % y 0,45 %. Se resalta que para la adición de polvo, existe un descenso de la estabilidad para los porcentajes de 0,15 %, 0,3 % y 0,45 %.

Por último, se determinó que al mezclar el material de residuo en las proporciones 50 %

de polvo y 50 % en fibra, los resultados en los ensayos de ahuellamiento no fueron favorables, encontrándose incrementos en la deformación hasta de un 33 %.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Militar Nueva Granada, especialmente al proyecto ING-2004-003, y a los estudiantes que colaboraron en la ejecución de los ensayos, así como al proyecto 1543 de la Universidad Javeriana.

BIBLIOGRAFÍA

Ola, S., Fernández, J & Leomar, J. (2000). Evaluación de las propiedades asfalto-caucho para utilización en pavimentación

asfáltica. En: *IV Congreso de Ingeniería de Transporte*. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Estatal de Maringá. DEC/UEM. Brasil. Valencia – CIT.

Reyes, F. (2003). *Diseño racional de pavimentos*. Bogotá, Editorial CEJA.

Reyes, O. y Reyes, F. (2004). Use of plastic for porous asphalt mixture design. *Road Materials and Pavement Design International Journal*. Volume X, File N. 031205, 3-13.

Reyes, O. y Reyes, F. (1998). *Efecto del desperdicio plástico en las propiedades dinámicas de una mezcla asfáltica*. Bogotá: Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil.

Sobhan, K. & Mashnad, M. (2003). Fatigue behavior of a pavement foundation with recycle aggregate and waste HPDE strips. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. ASCE. 7(129), 630-638.

State of California Department of Transportation. (2003). *Asphalt rubber usage guide. Office of flexible pavement materials. Division of engineering services, materials engineering and testing services – MS 5. USA*.

Thenoux, G., González, A. & Jamet, A. (2002). Análisis de casos de ahuellamiento en mezclas asfálticas chilenas. En: *6° Congreso Internacional Provia*. Termas de Chillán, Chile.

Troncoso, J. & Ospina, L. (2004). *Efecto de las llantas usadas en las propiedades de*

una mezcla asfáltica. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, Departamento de Ingeniería Civil.

UNIANDÉS – IDU. (2002). *Reglamento técnico vial para la ejecución de obras en el sector vial de Bogotá D. C.* Bogotá: Editorial LEGIS.

UNIÓN TEMPORAL FICHTNER-CYDEP. (2000). *Segundo informe del plan maestro para el manejo integral de residuos sólidos en Santafé de Bogotá, D. C. Plan de manejo ambiental para los residuos sólidos de Bogotá*. Colombia: Departamento Administrativo del Medio Ambiente.

SOBRE LOS AUTORES

Fredy Reyes Lizcano.

Ingeniero Civil, Ph. D. Docente Investigador. Grupo CECATA. Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia
Dirección: Colombia. Calle 40 # 5-50 Ed. José Gabriel Maldonado.
Teléfono: 3208320, extensión 5270
Facsímil: 3208320, extensión 5255
Correo electrónico: fredy.reyes@javeriana.edu.co

Óscar Javier Reyes Ortiz.

Ingeniero Civil, M. Sc. Jefe Área Geotecnia. Grupo Investigación Geotecnia. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia
Dirección: Colombia. Carrera 11 No. 101-80.
Teléfono: 2757300, extensión 285.
Facsímil: 6370557.
Correo electrónico: oreyes@santander.umng.edu.co

