

## COMPORTAMIENTO MECANICO Y DINAMICO DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADICION DE FIBRAS

### MECHANICAL AND DYNAMICAL BEHAVIOR OF AN ASPHALT MIXTURE WITH ADDITION OF FIBERS

Oscar Javier Reyes Ortiz<sup>1</sup>.

Juan Ricardo Troncoso Rivera<sup>2</sup>.

Facultad de Ingeniería Universidad Militar Nueva Granada  
Bogotá D.C Colombia.

Fredy Alberto Reyes Lizcano<sup>3</sup>

Facultad de Ingeniería Pontificia Universidad Javeriana  
Bogotá D.C Colombia.

#### RESUMEN

El artículo refiere el análisis experimental en el laboratorio, del efecto de la adición de fibras de polipropileno por vía seca (reemplazo de material granular por fibra) sobre las propiedades mecánicas y dinámicas de una mezcla.

Inicialmente se caracteriza el material granular y asfalto CA60/70, se realiza el diseño de la mezcla asfáltica de granulometría 0/10 (IDU RSV 2002) y asfalto de acuerdo con la metodología Marshall; se evalúa el efecto de fibras sobre las propiedades mecánicas mediante la evaluación de la estabilidad y fluencia, y dinámicamente por su valor de deformación permanente y modulo dinámico.

Los resultados muestran un efecto positivo de las fibras en la modificación de la mezcla asfáltica. El modulo dinámico aumenta en un 45% promedio en un porcentaje de adición de 0.60%; la deformación permanente disminuye en 27.6% para una adición de fibras de 0.60% y 48.8% para la adición de fibras de 0.75%, respectivamente. Este comportamiento refleja otra alternativa eficaz para mejorar la mezcla asfáltica, aumentando la resistencia a la disgregación por efecto abrasivo del tráfico y retardando el inicio y propagación del agrietamiento por ahuellamiento.

**Palabras claves:** mezcla asfáltica, fibra, deformación plástica, módulos dinámicos.

#### ABSTRACT

This article reports experimental observations on the effect of polypropylene fibers on the mechanical and dynamic properties of an asphalt mixture.

<sup>1</sup> Ingeniero Civil, MSc. Estudiante de Doctorado Universidad Politécnica de Cataluña. [oreyes@umng.edu.co](mailto:oreyes@umng.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero Civil, Joven Investigador Convenio UMNG-Colciencias [juan.troncoso@umng.edu.co](mailto:juan.troncoso@umng.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniero Civil, PhD. Grupo CECATA Universidad Javeriana. [fredy.reyes@javeriana.edu.co](mailto:fredy.reyes@javeriana.edu.co)

Initially, a characterization of the granular and asphalt materials is performed. The design of the asphalt mixture follows the methodology proposed by Marshall. The effects of the fibers on the mechanical and dynamic properties were evaluated by the evaluation of the stability and fluency, and by experimental determination of the permanent deformation value and the dynamic module, respectively.

The results show a positive effect of the fibers in the modification of the asphalt mixture. The dynamic module increases in 45 % on average with an addition of 0.60 %. The permanent deformation decreases in 27.6 % for the addition of fibers of 0.60 % and 48.8 % for the addition of fibers of 0.75 %, respectively. This behavior reflects another effective alternative to improve the asphalt mixture, increasing the resistance to disintegration abrasive effect of the traffic and retardation of cracking caused by rutting.

**Keywords:** Asphalt mixture, synthetic fiber, plastic deformation, dynamical modules.

## I. INTRODUCCIÓN

Durante años en todo el mundo la construcción de capas de rodadura en los pavimentos asfálticos se ha realizado mediante mezclas asfálticas usuales que sometidas a la creciente demanda de tránsito, a la acción de los agentes atmosféricos, a la variación de temperatura y el empleo de materiales de baja calidad, presentan fallas estructurales que inciden el comportamiento eficaz del pavimento. Debido a esto se deben buscar alternativas que proporcionen estructuras de pavimento adecuadas al crecimiento de los factores impuestos en este, con presupuestos cada vez más restringidos.

El uso de fibras como adición de mezclas asfálticas es una alternativa que promueve un progreso tecnológico, planteando otro uso con un comportamiento positivo para disminuir las deformaciones y daños de los pavimentos con el consecuente beneficio al obtener periodos de diseño muchos mayores de los pavimentos convencionales.

## II. MARCO CONCEPTUAL

### A. Fibras Sintéticas

Se designan como fibras sintéticas (Plásticos, DNP, 2002) aquellas que se obtienen por procesos químicos de poli reacción a partir de sustancias de bajo peso molecular por vía puramente sintética, es decir, in Vitro, Sin intervención de la Naturaleza. Estas fibras, junto con las llamadas fibras artificiales (o semisintéticas o regeneradas), que se obtienen por transformación química de productos naturales fibrosos, se engloban bajo la designación general de fibras químicas.

El proceso productivo (Análisis de la cadena productiva de petroquímica-plásticos y fibras sintéticas, DNP-DDE, 2002) para la obtención de fibras sintéticas parte de la polimerización de materias primas como la caprolactama, el polieterftalato, el polietileno y el polipropileno intermedios.

Las fibras sintéticas se pueden clasificar de acuerdo con el uso del material empleado y el proceso productivo; entre las fibras se distinguen:

- Las fibras poliamídicas que son obtenidas a partir de la caprolactama.
- Las fibras poliestéricas se obtienen a partir del polietileno tereftalato.
- Las fibras acrílicas se obtienen en mayor proporción de acrilonitrilo.
- Las fibras de polipropileno producidas por extrusión del granulo de polipropileno.

Las fibras de polietileno y de polipropileno son obtenidas por medio de un proceso de hilado en fusión de poliolefinas, por el proceso físico de extrusión del material en estado fundido a través de orificios. Los filamentos plásticos son sometidos a estiramiento consecutivo para aumentar su resistencia mecánica.

La fibra usada en la investigación es una fibra sintética de polipropileno que es utilizada principalmente como refuerzo secundario en concretos

### **B. Uso de las fibras**

Las fibras son utilizadas regularmente como refuerzo secundario en concretos, controlando la fisuración del material, mejorando la resistencia de impacto y controlando de manera acertada la retracción de los concretos; entre las virtudes que se conocen de las fibras en concretos se referencia la de Alfes (2000): “Los concretos reforzados con fibras van adquirido mayor importancia en los últimos años. Fibras con bajo módulo elástico como las fibras sintéticas, son una ventaja en concretos jóvenes cuando se trata de evitar el agrietamiento por contracción temprana”.

En mezclas asfálticas no se han desarrollado estudios en los cuales se evalué el comportamiento de estas fibras frente al comportamiento dinámico de la estructura del pavimento, es por esto que se plantea esta investigación para tener una referencia del comportamiento del agregado, fibras y asfalto.

### **III. METODOLOGÍA**

Se desarrolla la investigación caracterizando previamente el material pétreo, el asfalto y las fibras, se realiza el diseño Marshall para la determinación del porcentaje óptimo de asfalto, posteriormente se procede a modificar la mezcla asfáltica con adición de fibras en porcentaje de 0.15%, 0.30%, 0.45%, 0.60% y 0.75% en peso con respecto al agregado y se construyen las muestras para los ensayos de módulo dinámico, ahuellamiento y marshall; para cada porcentaje de adición y ensayo se construyo dos probetas, a diferente densificación (50 y 75 golpes), para determinar la incidencia de la densificación en la mezcla asfáltica modificada con fibras. En la Figura 1 se presenta el diagrama que describe la metodología empleada.

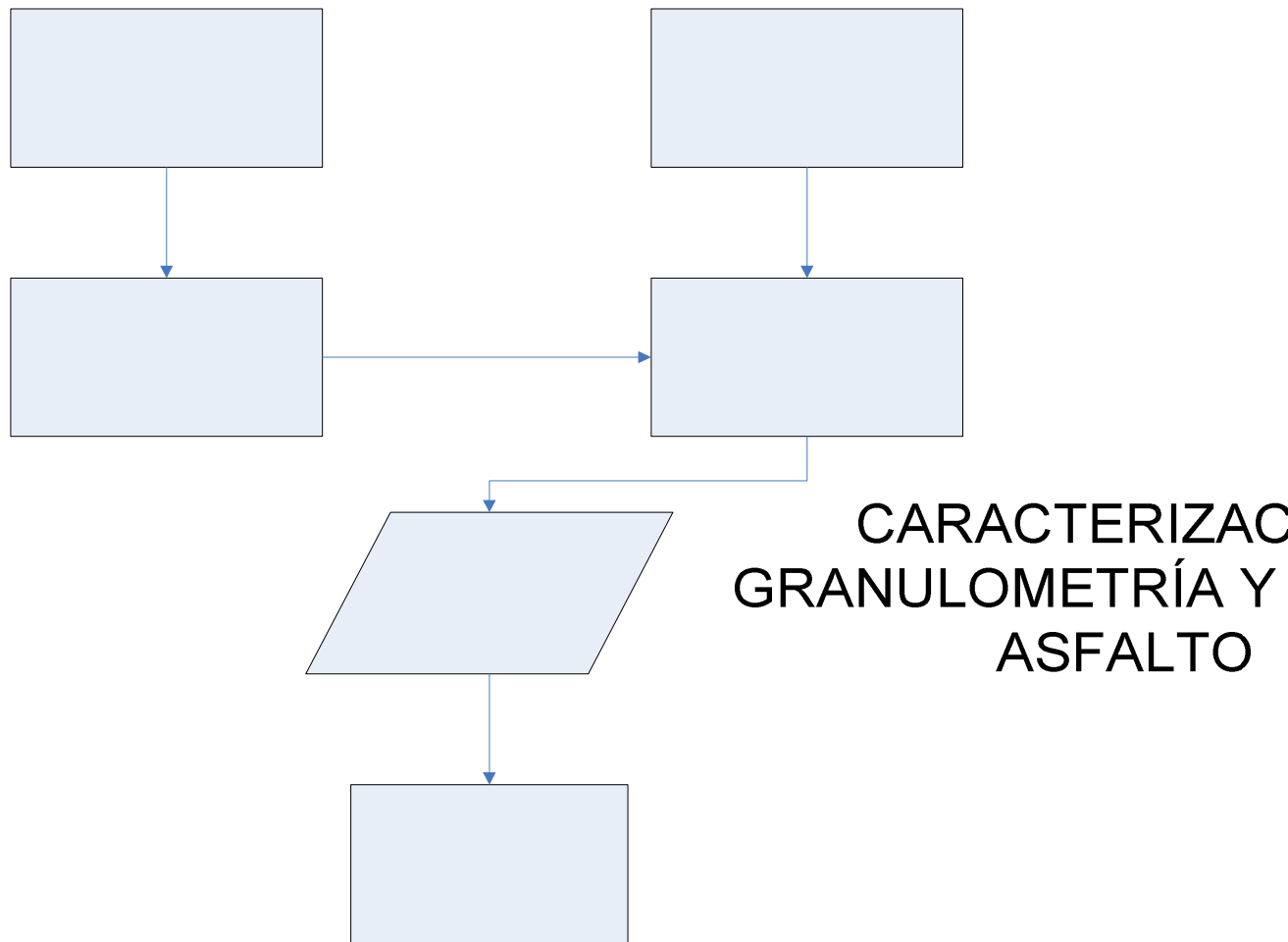


Figura 1. Diagrama de la metodología de la investigación.

**A. Caracterización de los materiales y determinación del porcentaje óptimo de asfalto**

La granulometría que se empleo en la investigación es la denominada 0/10, empleada en la construcción de pavimentos en la ciudad de Bogota, según el Reglamento técnico vial (IDU-UNIANDÉS, 2002). El tipo de asfalto que se utilizó fue el producido por la refinería de Barrancabermeja.

**B. Caracterización del granular**

El material granular se caracterizó por medio de los ensayos de laboratorio que se referencia en la tabla 1.

ENSAYO	NORMA	RESULTADO
Absorción agregado grueso	ASTM C 127	3.30%
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%

Tabla 1. Ensayos caracterización del material granular

### C. Caracterización del asfalto

El asfalto empleado en la investigación es el denominado de Barrancabermeja y posee las características que se relacionan en la tabla 2.

ENSAYO	NORMA	RESULTADO
Penetración	ASTM D 5-97	60/70
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

Tabla 2 Ensayos caracterización del asfalto

### D. Caracterización de las Fibras

Las fibras utilizadas son monofilamentos cortados que se utiliza como refuerzo secundario, en placas de concreto o morteros de recubrimiento (ALFA. Mayo, 2003), posee un índice de fluidez a 230°C de 18 g/10 min., la resistencia máxima a la tracción (50mm/min.) es 5250 psi (36 MPa), su punto de fusión e ignición es 162°C y 590°C respectivamente, se presenta a continuación en la Figura 2.



Figura 2. Fibras sintéticas

### E. Porcentaje óptimo de asfalto

El porcentaje óptimo de asfalto se determinó por medio del método Marshall (I.N.V. E-748), con quince probetas (Compacidad de 35, 50 y 75 golpes), tres probetas para cada porcentaje de asfalto (5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7%); se relacionan las características evaluadas en la tabla 3

ENSAYO	NORMA	RESULTADO	
Porcentaje de asfalto	ASTM D 1559	6.2 %	
Densidad	ASTM D 1559	2.3 gr/cm <sup>3</sup>	
Estabilidad	ASTM D 1559	3000 Lbf	1360 Kg
Fluencia (0.01 pulgadas)	ASTM D 1559	11	2.8 mm

Tabla 3 Diseño Marshall

#### **F. Elaboración de probetas Marshall (Comportamiento mecánico)**

Conociendo el porcentaje óptimo de asfalto se procedió a elaborar doce probetas para el ensayo Marshall, dos probetas (compacidad de 50 y 75 golpes) para cada porcentaje de adición de fibras (0.0%, 0.15%,0.30%,0.45%,0.60% y 0.75%); a partir de estas probetas se determinó la estabilidad, densidad y flujo para cada adición de fibras.

En el ensayo Marshall se evalúa la fluencia y estabilidad del material con respecto a su porcentaje de adición, de acuerdo a la norma I.N.V. E-748

#### **G. Elaboración de probetas de módulo dinámico (Comportamiento dinámico)**

Se elaboran doce probetas para el ensayo de módulo dinámico, las cuales tienen el mismo proceso de construcción de la muestras Marshall. Se elaboran dos probetas (compacidad de 50 y 75 golpes) para cada porcentaje de adición de fibras (0.0%, 0.15%,0.30%,0.45%,0.60% y 0.75%).

Los ensayos de módulo dinámico se realizan teniendo en cuenta la norma INV. E-754, con las siguientes condiciones:

Temperatura: 20°C, temperatura de trabajo de la mezcla

Frecuencia: 1.6 Hz, 2.5 Hz y 5 Hz

#### **H. Elaboración de probetas de ahuellamiento (Comportamiento dinámico)**

Para elaborar las probetas de ahuellamiento es necesario conocer la densidad para cada porcentaje de adición de fibras y el volumen del molde, para determinar el peso en kilogramos de la muestra, y poder discriminar este peso en material pétreo, fibras y asfalto. Se elaboran seis probetas a una compacidad de 75 golpes para cada porcentaje de adición de fibras (0.0%, 0.15%,0.30%,0.45%,0.60% y 0.75%).

El ensayo de ahuellamiento se realiza teniendo en cuenta la norma INV. E-756 a una temperatura constante de 60 °C, esfuerzo de 0.9 MPa y un total de 5000 pasadas en 120 minutos.

### **IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **A. Ensayo marshall**

Los resultados obtenidos para los ensayos Marshall con y sin adición de fibras, evaluando y analizando la densidad, estabilidad y fluencia de la mezcla asfáltica con respecto al porcentaje de adición de fibras; estos comportamientos se observan en las figuras de la 3 a la 7.

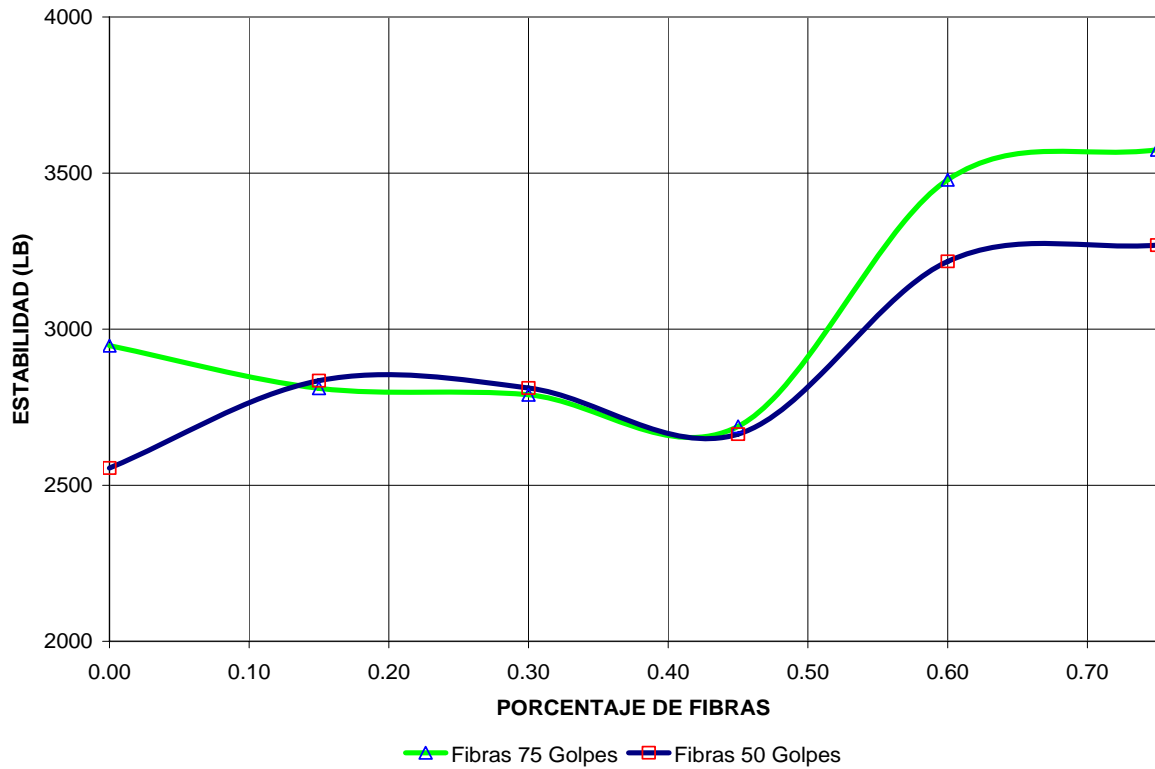


Figura 3. Variación de la estabilidad con respecto al porcentaje de Fibras

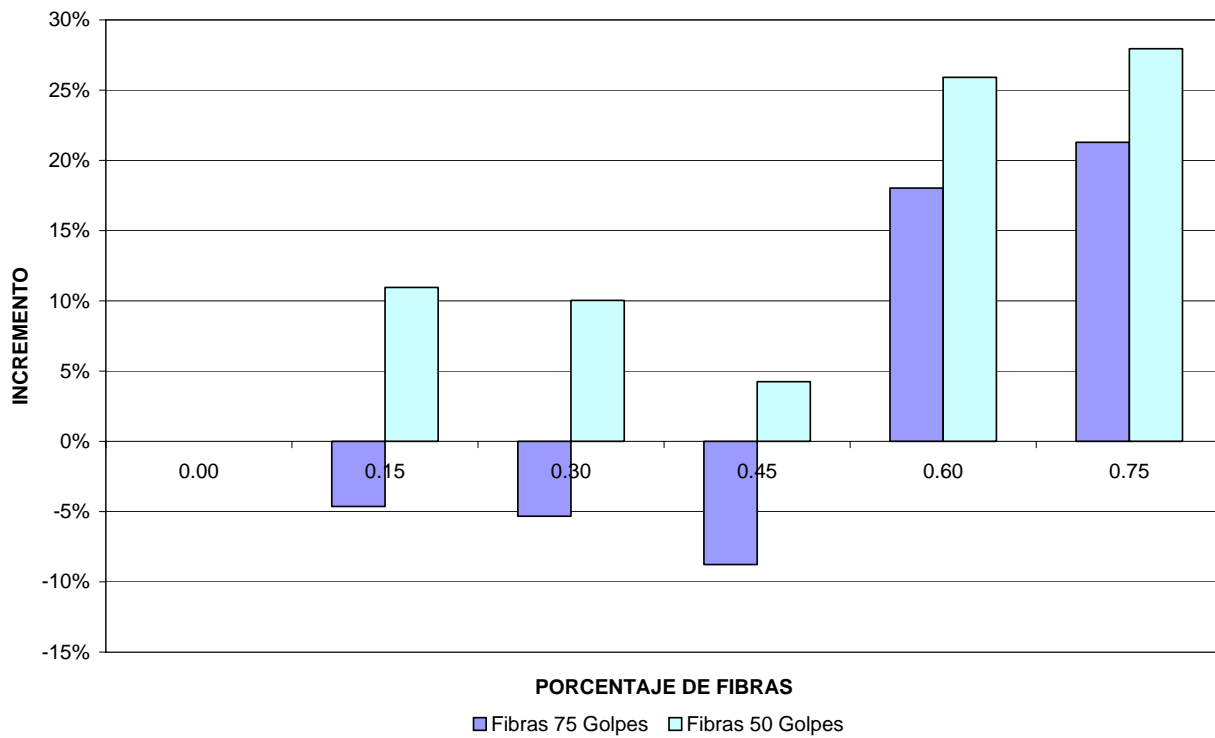


Figura 4. Incremento de la estabilidad con respecto a la adición de Fibras

En la Figura 4, se observa que para la adición de 0.60 y 0.75%, se presenta un incremento en la estabilidad de las probetas compactadas con 50 y 75 golpes, dicho incremento alcanzo su valor máximo 26% y 28% respectivamente. Existe de igual forma un descenso máximo 9% para el porcentaje de 0.45% compactado a un nivel de energía de 75 golpes.

Para el análisis correspondiente a la densidad de la mezcla asfáltica, se puede concluir que la adición de Fibras en cualquier porcentaje disminuye gradualmente esta característica, disminuyendo la cantidad de material a utilizar con un incremento proporcional de la estabilidad de la mezcla asfáltica.

Este comportamiento se puede observar en la figura 5.

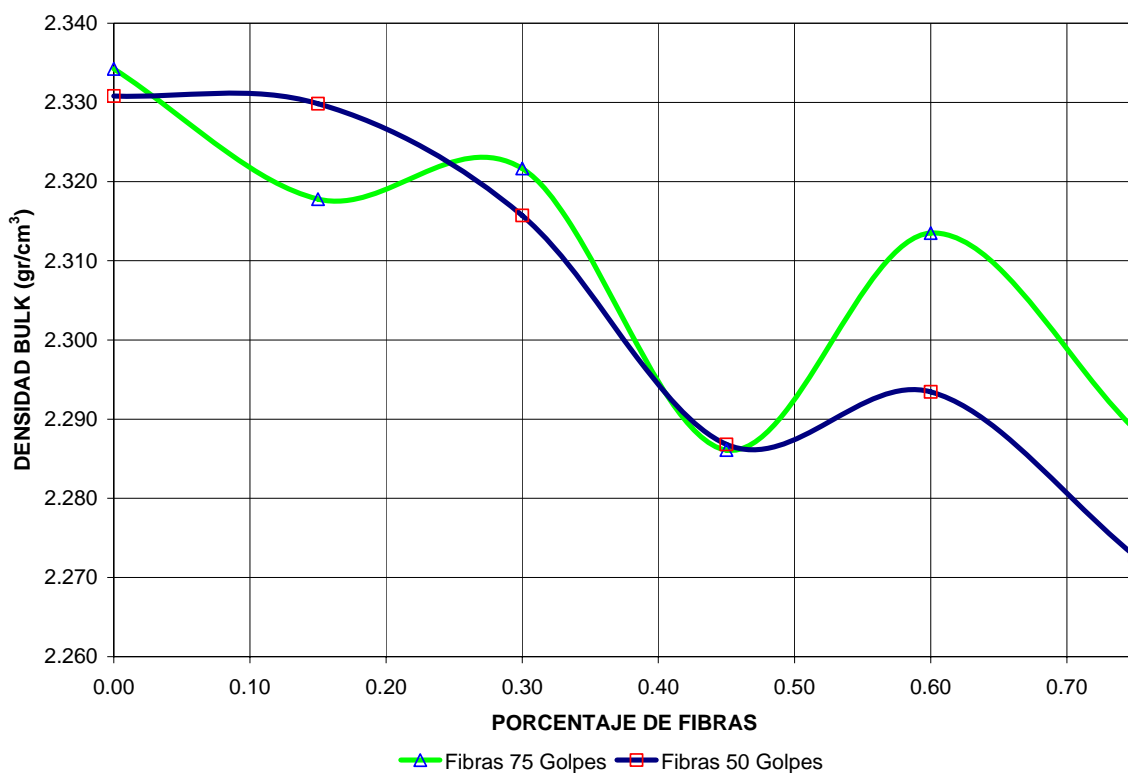


Figura 5. Variación de la densidad con respecto al porcentaje de Fibras

En la Figura 6, se observa que para la adición de 0.75%, se presenta un incremento negativo en la estabilidad de las probetas compactadas con 50 y 75 golpes, dicho incremento alcanzo su valor máximo 1.9% y 2.5% respectivamente, para un porcentaje de adición de Fibras de 0.75%.



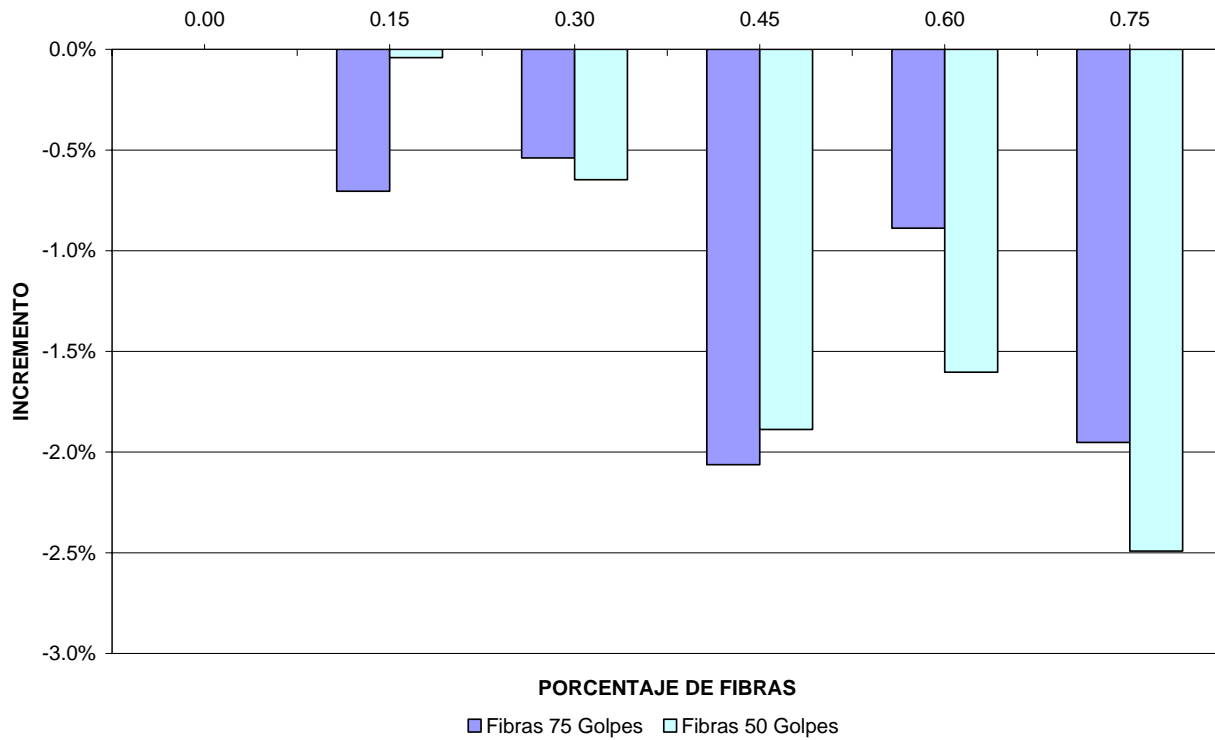


Figura 6. Incremento de la densidad con respecto a la adición de Fibras

Para el análisis correspondiente al flujo en la mezcla asfáltica, se puede concluir que la adición de Fibras en cualquier porcentaje, mantiene la deformación dentro del rango de valores admisibles, ayudando a mantener la estabilidad de la mezcla asfáltica. Este comportamiento se observa en la figura 7.

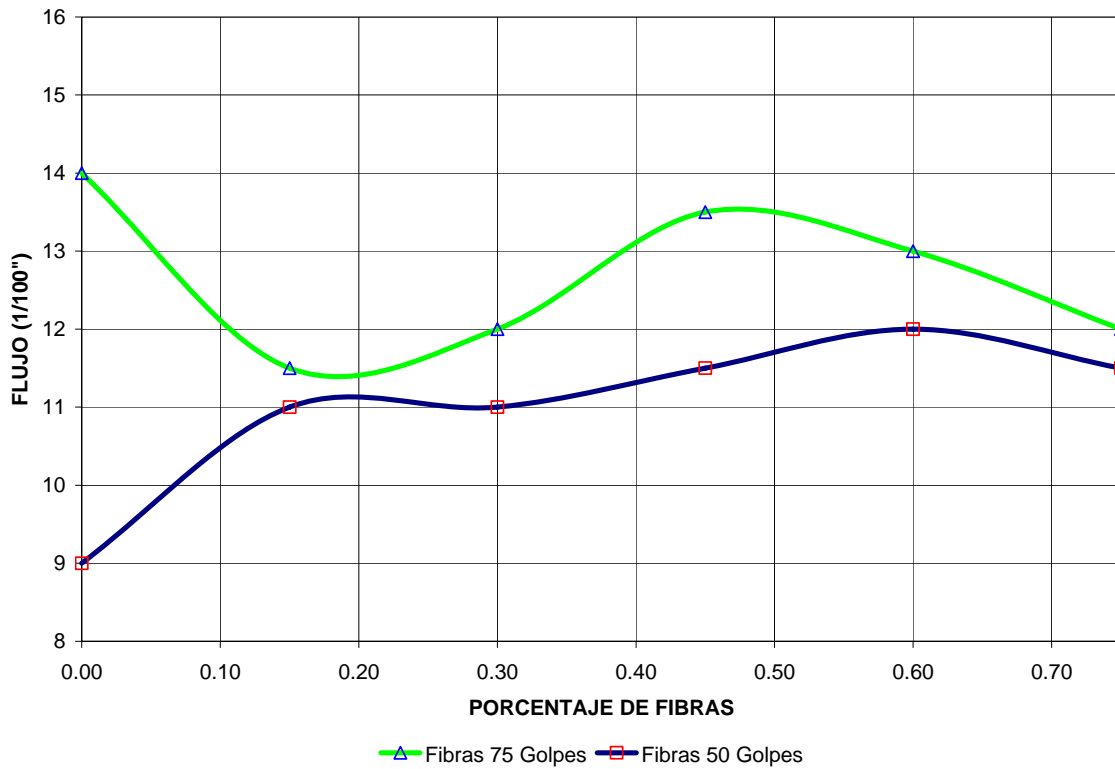


Figura 7. Variación del flujo con respecto al porcentaje de Fibras

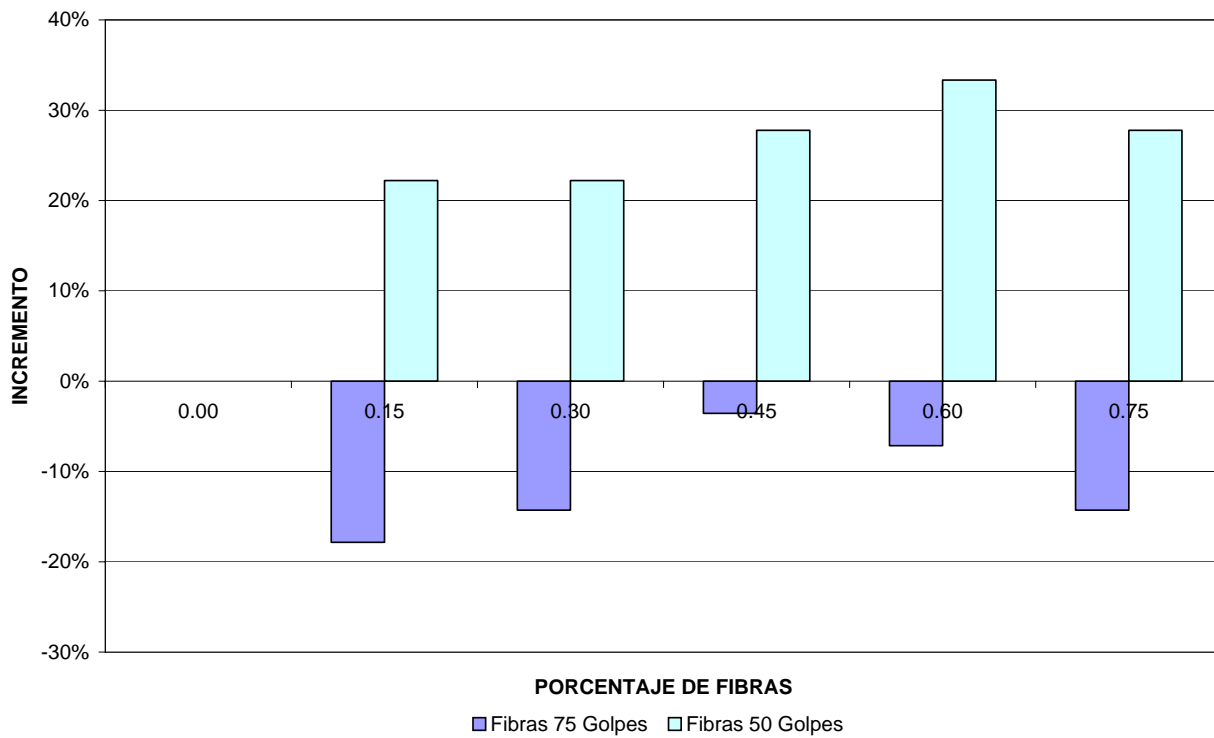


Figura 8. Incremento del flujo con respecto a la adición de Fibras

El comportamiento de la mezcla asfáltica, presenta un comportamiento positivo en sus propiedades mecánicas, específicamente en los porcentajes de adición de fibras sintéticas de 0.60% y 0.75%.

**B. Relación estabilidad flujo**

Se tomó como base la probeta con 0% de adición (1360 Kg. de estabilidad y 2.8 mm de flujo) para establecer los límites superior e inferior de la relación estabilidad flujo; esta relación se toma con el 0.9 del valor de la estabilidad y el 0.85 y 1.15 del valor del flujo.

En la siguiente tabla se relacionan los valores obtenidos de estabilidad flujo para cada probeta con adición de fibras.

% fibras	Energía	Estabilidad (kg)	Flujo (mm)	E/F (kg/mm)
0.15	50	1289	2.79	461
0.30	50	1278	2.79	457
0.45	50	1211	2.92	414
0.60	50	1462	3.05	480
0.75	50	1486	2.92	509
0.15	75	1277	2.92	437
0.30	75	1268	3.05	416
0.45	75	1222	3.43	356
0.60	75	1581	3.30	479
0.75	75	1625	3.05	533

Tabla N.4 Relación estabilidad flujo con adición de fibras

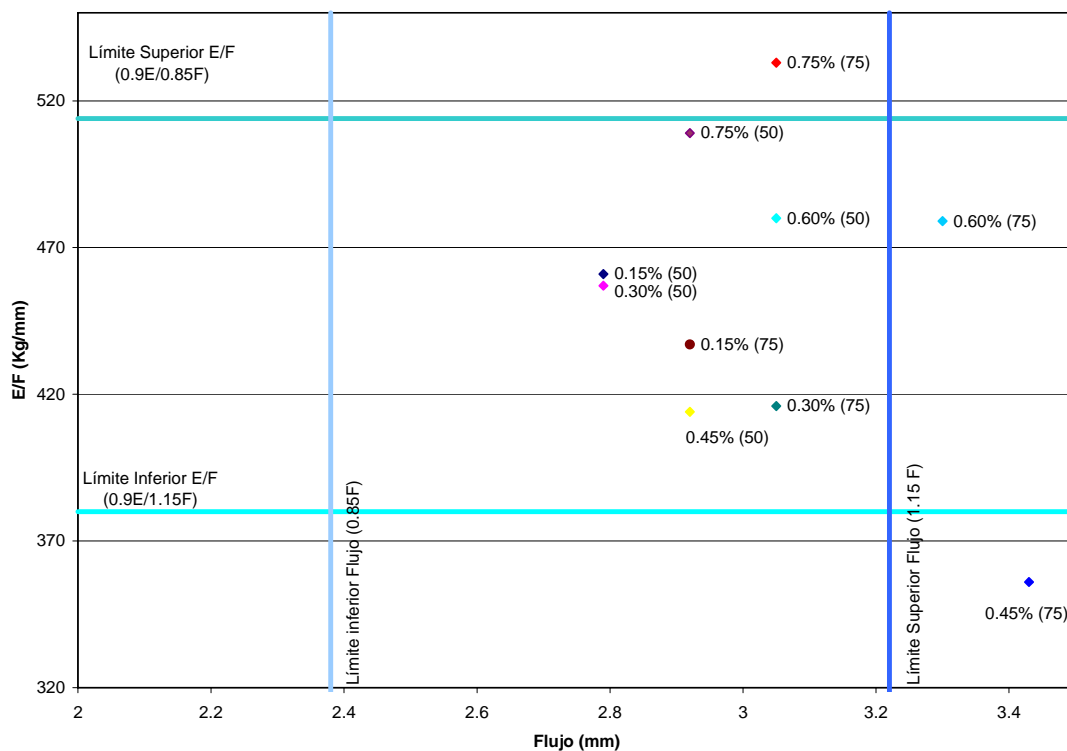


Figura 9. Variación de la relación Estabilidad Flujo

En la figura 9 se observa el comportamiento positivo de la adición de 0.60% de fibras al estar en el rango donde la mezcla asfáltica no va a ser tan dúctil como para que presente problemas de deformación, ni tan frágil para que se presente fisuración prematura por una alta rigidez en la mezcla; el flujo a 75 golpes para esta adición sobrepasa el limite superior, pero no excede el valor de 3.5 mm de fluencia máximo que propone en su normativa el IDU.

**C. Ensayo de deformación plástica**

Los resultados obtenidos de los ensayos de ahuellamiento, definen la deformación plástica admisible que la mezcla asfáltica puede presentar durante su ciclo de servicio. Los resultados del ensayo para cada porcentaje de fibras de muestra en la figura 10.

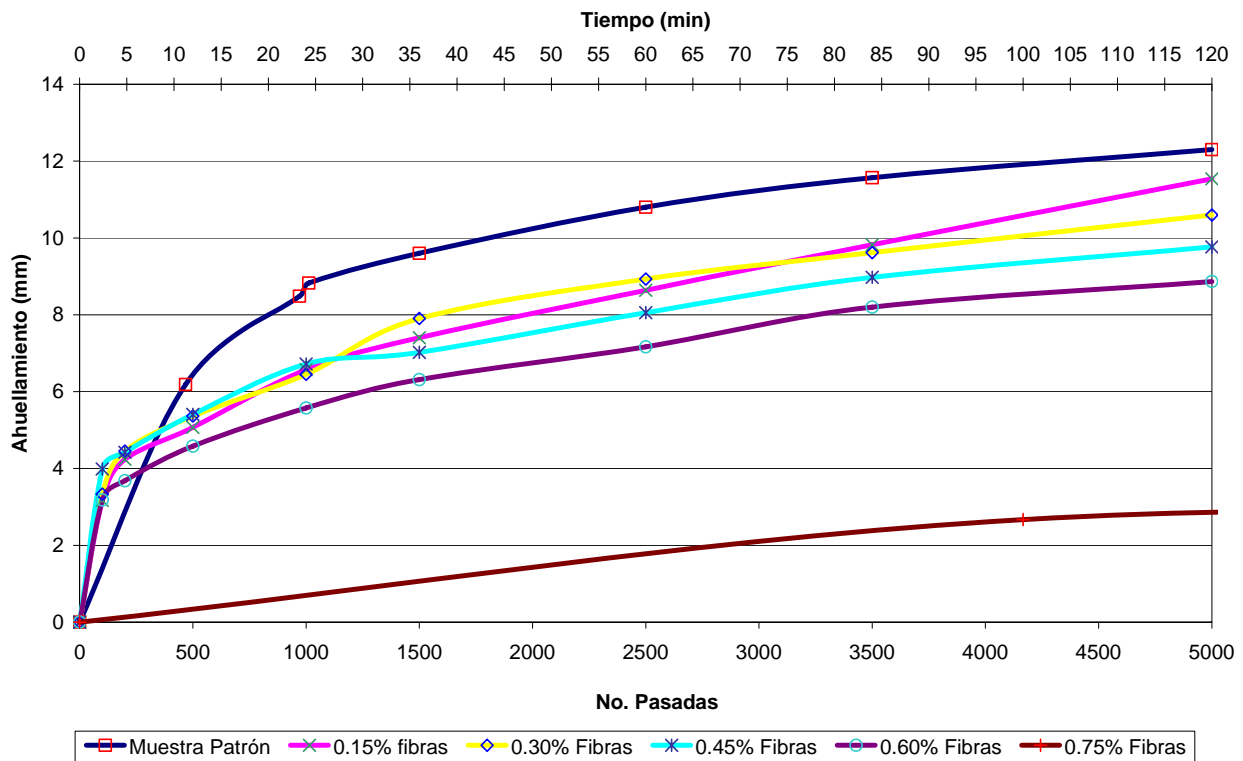


Figura 10. Variación del ahuellamiento con respecto al porcentaje de adición de Fibras.

La disminución del ahuellamiento en la mezcla asfáltica en cada porcentaje de adición de fibras es representativa con respecto a la mezcla convencional, como se muestra en la figura 11.

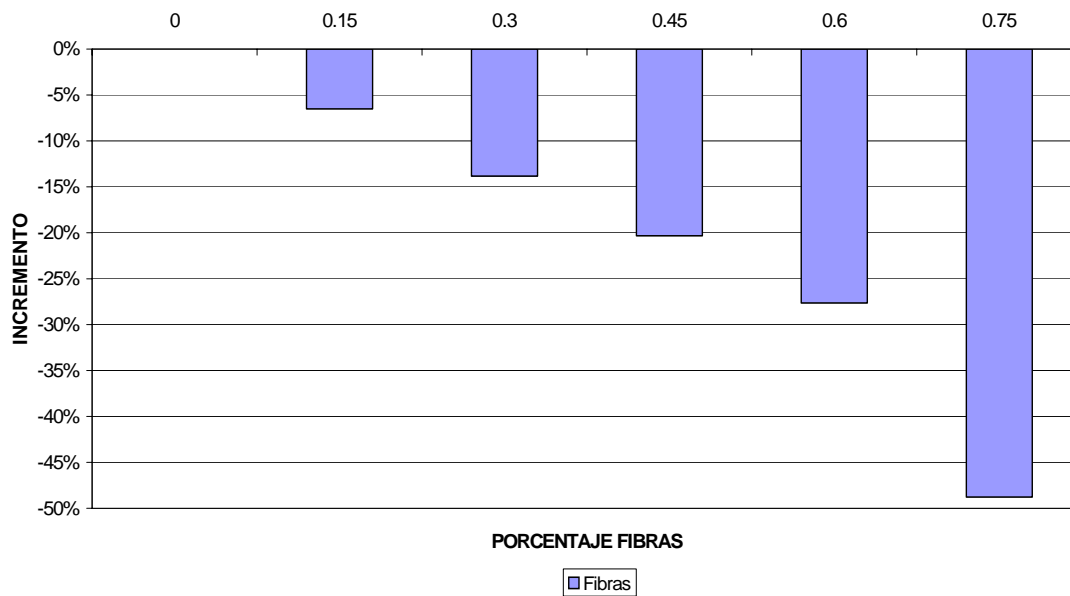


Figura 11. Disminución del ahuellamiento por adición de fibras

Con base en la figura 10 y 11, se determinó que para el porcentaje de 0.60% y 0.75% de adición de fibras, la deformación permanente debida al ahuellamiento a 5000 ciclos, disminuye hasta un 28% y 49% respectivamente.

La velocidad de deformación en el intervalo 105-120 min para los porcentajes de adición de 0.45%, 0.60% y 0.75% esta dentro del rango aproximado a 20  $\mu\text{m}/\text{min}$  para una mezcla que tenga una temperatura de servicio menor a 24°C, verificando que la adición de 0.60% y 0.75% de fibras es favorable en la mezcla asfáltica; estos valores se pueden observar en la siguiente tabla:

% fibra	TIEMPO (min)		Velocidad de deformación ( $\mu\text{m}/\text{min}$ )	valor para $t^{\circ}$ de trabajo < 24°C ( $\mu\text{m}/\text{min}$ )
	105	120		
0.75	6.10	6.30	13.33	$\leq 20$
0.60	8.62	8.90	18.67	$\leq 20$
0.45	9.50	9.78	18.67	$\leq 20$
0.30	10.20	10.60	26.67	$\leq 20$
0.15	10.82	11.58	50.67	$\leq 20$
0.00	12.00	12.30	20.00	$\leq 20$

Tabla N.5 Velocidad de deformación en intervalo 105-120 min

#### D. Ensayo de módulos dinámicos

El ensayo de módulos dinámicos evalúa el comportamiento de la mezcla asfáltica convencional y modificada con fibras a temperatura de 20°C y frecuencias de 1.6 Hz, 2.5 Hz y 5Hz.

En la figura 12 se presenta el comportamiento dinámico de la mezcla con adición de fibras, a un nivel de energía de compactación de 50 golpes.

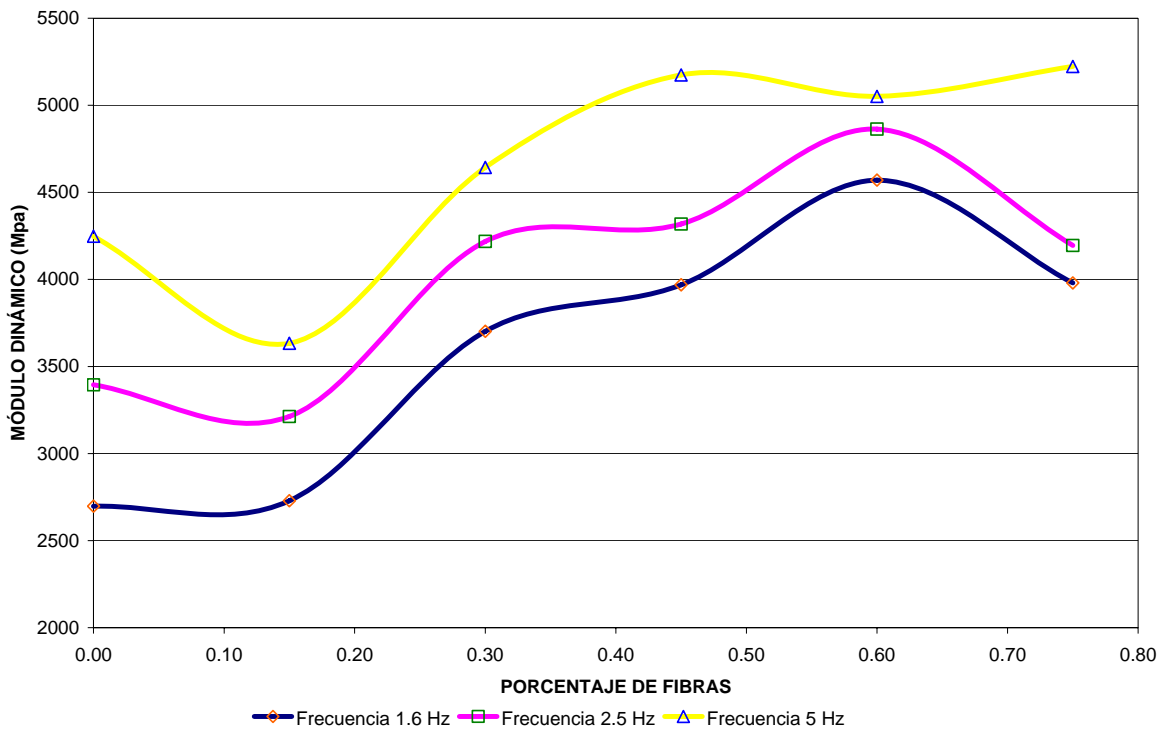


Figura 12. Comportamiento del módulo dinámico con adición de fibras, compactación de 50 golpes

Se observa un crecimiento para porcentajes superiores al 0.30% hasta un 0.60%, al aumentar el porcentaje de 0.60% el módulo cae, obteniendo un rango ideal de trabajo con fibras entre un 0.30% y 0.60%.

En la siguiente figura se observa el incremento del modulo dinámico con respecto al porcentaje de adición de fibras.

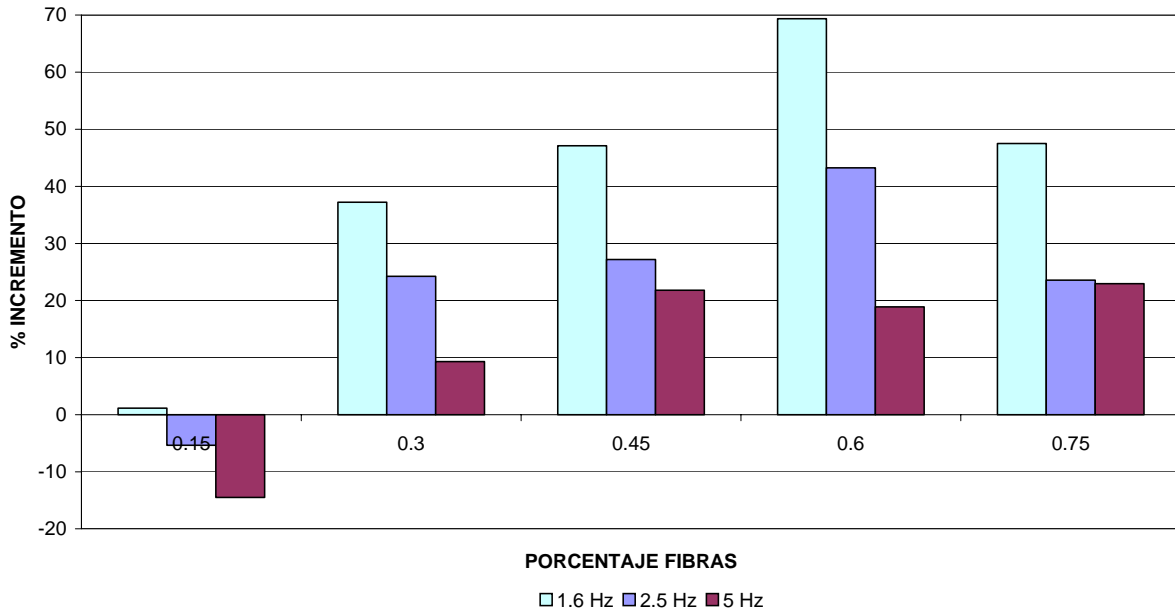


Figura 13. Incremento del módulo dinámico respecto a la adición de fibras, compactación 50 golpes.

Se evalúa el modulo dinámico para la mezcla asfáltica convencional y modificada con fibras a una compacidad de 75 golpes.

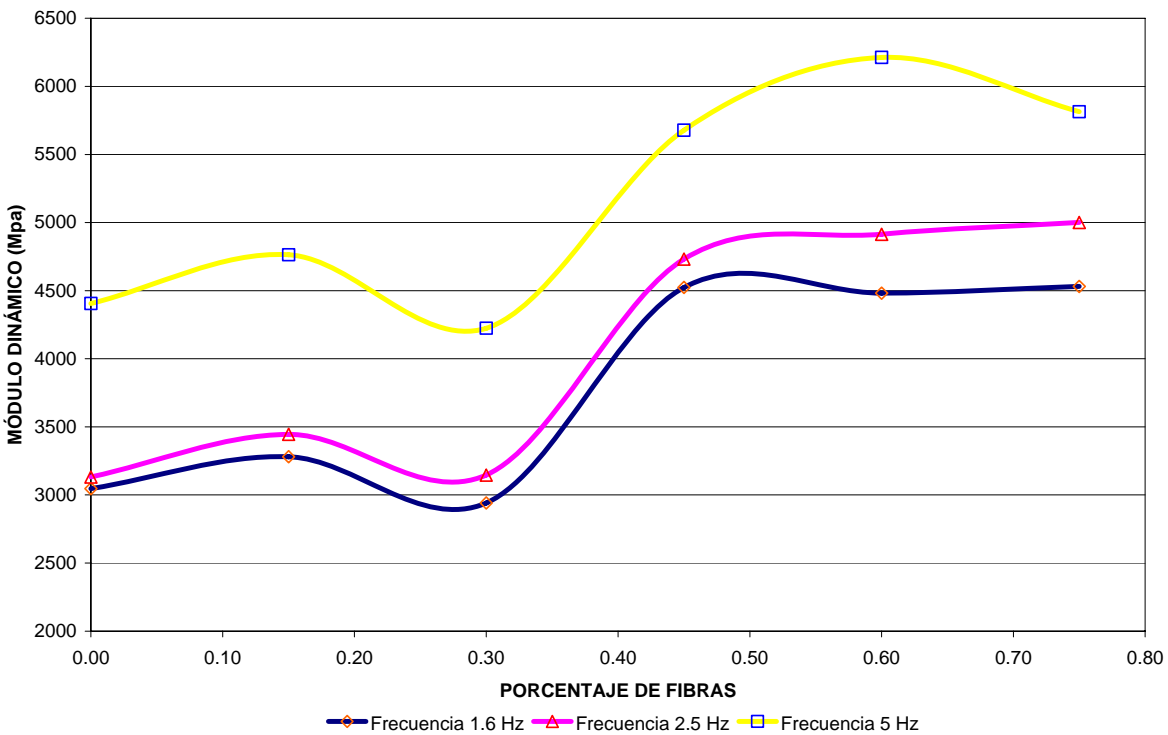


Figura 14. Comportamiento del módulo dinámico con adición de fibras, compactación de 75 golpes

El módulo dinámico mejora a partir del porcentaje de 0.45% de adición, y se mantiene relativamente estable hasta un porcentaje de adición de fibras de 0.75.

En la siguiente figura se observa el comportamiento en porcentajes de incremento del módulo dinámico con respecto a la adición de fibras, a una compactación de 75 golpes.

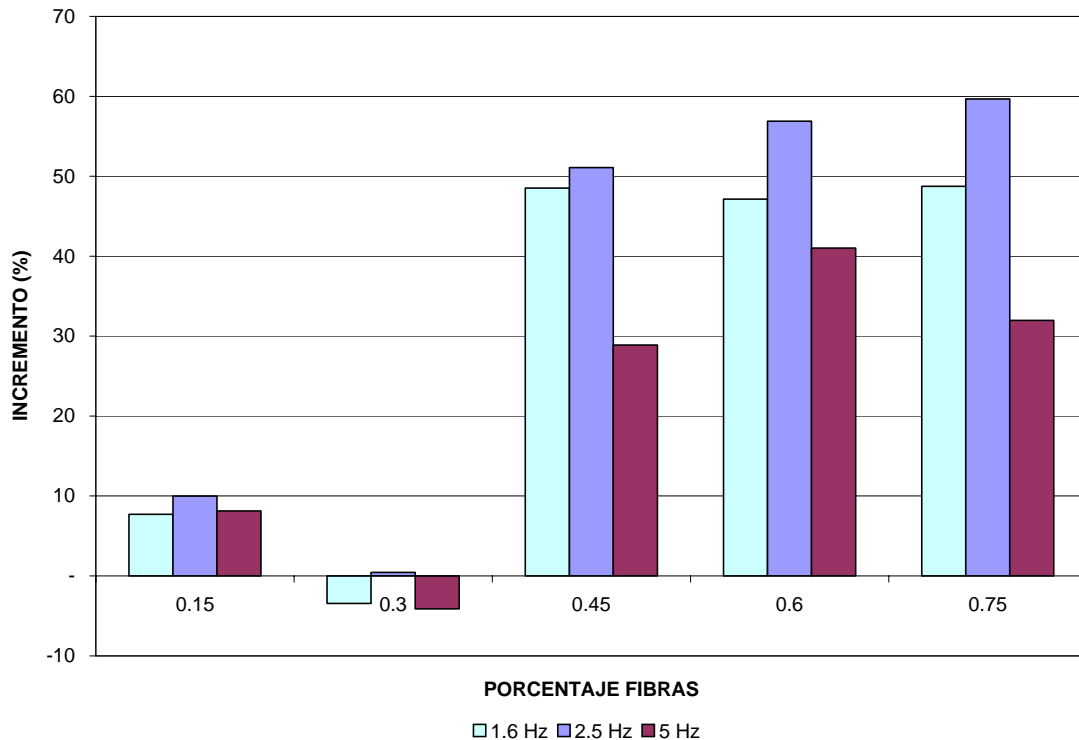


Figura 15. Incremento del módulo dinámico respecto a la adición de fibras, compactación 50 golpes.

## V. CONCLUSIONES

El comportamiento de la mezcla asfáltica, presenta mejoras en sus propiedades mecánicas y dinámicas con la adición de fibras, sobresaliendo el porcentaje de 0.60% de fibras, siendo este el porcentaje óptimo de adición a la mezcla asfáltica por vía seca.

La adición de fibras es favorable para la mezcla asfáltica al igual que en los concretos, se requiere verificar las condiciones y características de la fibra a adicionar en la mezcla y evaluar las condiciones de adición por vía húmeda (incorporándose al asfalto).

La velocidad de deformación para el porcentaje óptimo de adición de fibras cumple con el valor admisible recomendado para climas menores a 24°C. Se puede complementar realizando ensayos de fatiga.

Los porcentajes de 0.60 y 0.75% aumentan la estabilidad pero sólo el de 0.60% se mantiene dentro de una relación E/F (rigidez Marshall) admisible.



**REFERENCIAS**

- [1] Troncoso, Juan y Ospina Lady. "Efecto de las llantas usadas en las propiedades de una mezcla asfáltica". Universidad Militar Nueva Granada. 2004.
- [2] Reyes Ortiz, Oscar y otros "Use of plastic for porous asphalt mixture design" Road materials and pavement design International Journal. File N. 031205. 2004
- [3] Reyes Oscar y otros. "Efecto del desperdicio plástico en las propiedades dinámicas de una mezcla asfáltica. Universidad de los Andes. Tesis de Maestría. 1998.
- [4] Reyes, Fredy Alberto. "Diseño racional de pavimentos. Editorial CEJA. 2003.
- [5] Análisis de la cadena productiva de petroquímica-plásticos y fibras sintéticas, DNP-DDE, 2002 Plásticos, DNP-DDE, 2002
- [6] Christoph Alfes "Beton- Entwicklungen und Tendenzen" Beton VBT, 1/2000, pp 16-20.
- [7] Uniandes – IDU "Reglamento técnico vial para la ejecución de obras en el sector vial de Bogotá, D.C. 2002.