

## **Influencia de la temperatura y nivel de energía de compactación en las propiedades dinámicas de una mezcla asfáltica**

*Óscar Javier Reyes Ortiz<sup>a,\*</sup>, Javier Fernando Camacho Tauta, Fredy Reyes Lizcano<sup>b</sup>*

(Recibido el 3 de octubre de 2005. Aceptado el 8 de noviembre de 2005)

- a Grupo Investigación Geotecnia. Centro de Investigaciones Facultad de Ingeniería. Universidad Militar Nueva Granada. Carrera 11 N.º 101-80. Bogotá D. C.
- b Grupo Investigación CECATA. Facultad de Ingeniería. Pontificia Universidad Javeriana. Carrera 7 N.º 40-62 Bogotá D. C.

### **Resumen**

La temperatura de las mezclas asfálticas varía significativamente desde su producción en la planta hasta la conformación de la estructura de pavimento, especialmente en el proceso de compactación. Estas diferencias de temperatura de la mezcla de un punto a otro, generan segregación, microfisuras, superficies onduladas, desgarramientos y especialmente cambios en las propiedades mecánicas y dinámicas de la mezcla.

En este estudio de laboratorio se determinó el efecto en el módulo dinámico, densidad, estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica con granulometría 0/10 y asfalto con penetración 60/70, al variar la temperatura de compactación. Se establece que al compactar muestras entre 100 y 150 °C existe descenso del orden de 30% en el módulo dinámico, 5% en la densidad y 50% en la estabilidad.

----- *Palabras clave:* módulo dinámico, temperatura de compactación, mezcla asfáltica, ensayo Marshall.

## **The temperature of compacting and energy influence in dynamics properties of an asphalt mixture**

### **Abstract**

The temperature of asphalt mixtures varies significantly from the plant production to in-situ formation of the pavement structure, especially during the compacting process. Temperature differences from point to point generate segregation, mi-

---

\* Autor de correspondencia. Teléfono: +57+1+275 73 00, extensión 285, fax: +57+1+214 72 80, Correo electrónico: oreyes@umng.edu.co (O. J. Reyes Ortiz).

crofissures, and, especially, changes in the mechanical and dynamic properties of the mixture.

In this laboratory study the effect of the temperature during the compacting process on the dynamic module, density, stability and flow of an asphalt mixture with gradation 0/10 and asphalt with penetration 60/70 was determined. When the compacting process was conducted at 100 and 150 °C reductions of: around 30%, 5% and 50% were obtained for dynamic module, density and stability, respectively.

----- *Key words:* dynamic module, temperature of compacting, mix asphalt, Marshall test.

## Introducción

Las mezclas asfálticas en caliente son las más empleadas en muchas partes del mundo, debido a su flexibilidad, duración, uniformidad, resistencia a la fatiga y economía entre otras características, generando por ende investigaciones y desarrollos para mejorar sus propiedades mecánicas y dinámicas. Muchas de los adelantos se han enfocado en el proceso constructivo de la conformación de las carpetas de rodadura, prueba de ello es la utilización de equipos costosos que mantienen la temperatura constante en el proceso de extendido y compactación. De otra parte, el acelerado desarrollo automotriz y el intercambio de bienes y servicios han conducido a construir vías que soportan mayor número de ejes equivalentes y cargas con el empleo de materiales modificados y estricto control de obra.

Una de las variables principales en el diseño de las estructuras de pavimento son las propiedades mecánicas y dinámicas de las mezclas, resaltándose el módulo dinámico, el ahuellamiento y la ley de fatiga; por lo cual el objetivo principal de esta investigación, se fundamentó en determinar el efecto en el módulo dinámico, estabilidad, densidad y flujo al cambiar la temperatura de compactación entre 100 y 150 °C, en intervalos de 10 °C. Para la determinación de los módulos dinámicos se empleo del NAT (Nottingham Asphalt Tester) a 10, 20 y 30 °C y a una frecuencia de 5 Hz.

## Antecedentes

El estudio de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas calientes se han estudiado ampliamente y todas conducentes a obtener combinaciones de materiales más económicos y resistentes. En el pasado se han realizado grandes esfuerzos para establecer índices o factores que relacionen empíricamente la temperatura del asfalto con su penetración, densidad, estabilidad, viscosidad y punto de ablandamiento [1].

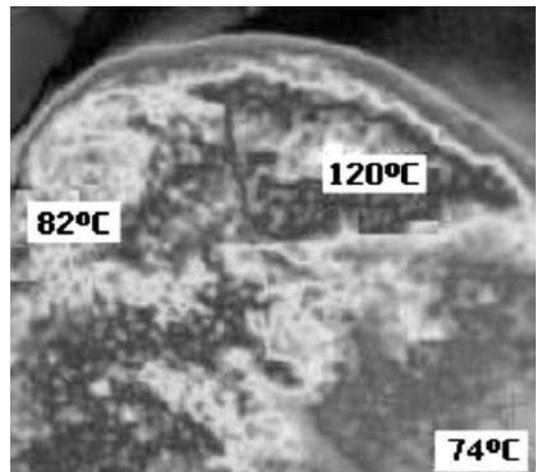
Investigaciones recientes realizadas en Estados Unidos [2] y Francia [3] han podido demostrar

que un cambio en la temperatura de compactación de una mezcla asfáltica genera problemas de segregación, resistencia y fatiga. Steve Read, en 1996, detectó este problema en la construcción de varias vías en Estados Unidos, las cuales estudió en detalle con la ayuda de cámaras termográficas, determinando que se presentaban diferenciales de temperatura en el habitáculo de las volquetas, en las pavimentadoras y en el proceso de extendido y compactado, figuras 1 y 2.

En el año 1998, al sur de Blaine, Washington, se realizó un seguimiento con cámara termográfica a la construcción de una vía, donde el material asfáltico se acarreó por 89 km, se colocó en una



**Figura 1** Mezcla asfáltica en el habitáculo de la volqueta [2]



**Figura 2** Temperatura de la mezcla asfáltica en el habitáculo de la volqueta [2]

pavimentadora y se compactó. Analizadas las fotos termográficas (figuras 3 y 4), se extrajeron núcleos en las zonas de temperatura de compactación ideal y en las zonas de bajas temperaturas, obteniéndose resultados donde la relación de vacíos y deformaciones se incrementaba a bajas temperaturas.

De otra parte, el Ministerio de Obras Públicas de El Salvador, en la investigación titulada “Efecto de la temperatura de compactación en la resistencia al flujo plástico”, pudo concluir que la temperatura de compactación de las mezclas

era directamente proporcional a la resistencia, deformación y densidad.

### Metodología de la investigación

Para el desarrollo de esta investigación se realizaron cinco etapas, las cuales se enuncian a continuación:

#### Caracterización de los materiales pétreos y asfalto

El primer paso de la investigación fue determinar la granulometría y tipo de asfalto. En nuestro caso se estableció granulometría 0/10 [4], como se observa en la figura 5 y asfalto con las características de la tabla 1.



Figuras 3 Adaptada de [2]

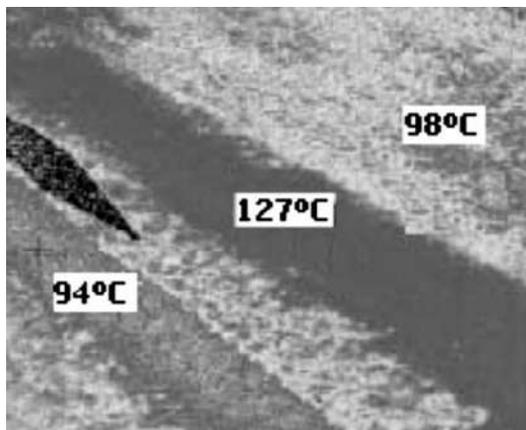


Figura 4 Adaptada de [2]

Tabla 1 Ensayos caracterización del asfalto

Ensayo	Norma	Resultado
Penetración	ASTM D 5-97	67/70
Ductilidad	ASTM D113-99	125 cm
Viscosidad	ASTM D2170-95	1.500 centistokes
Ablandamiento	ASTM D36-95	45 °C
Punto de llama e ignición	ASTM D3143-98	215 y 232 °C

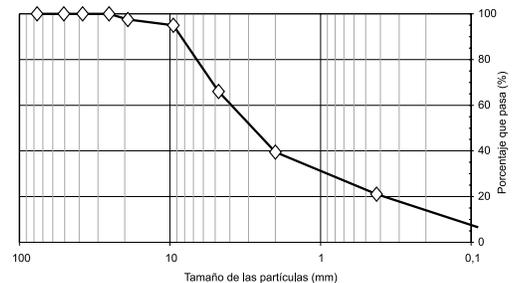


Figura 5 Curva granulométrica 0/10

**Diseño de la mezcla asfáltica por el ensayo Marshall**

Con los materiales anteriormente descritos, se realizaron briquetas Marshall a los tres niveles de

compactación (25, 50 y 75 golpes por cara) y con porcentaje de asfalto entre el 5 y 8%. A partir del análisis de las figuras 6, 7 y 8 se concluyó que el porcentaje óptimo de asfalto era el 6%.

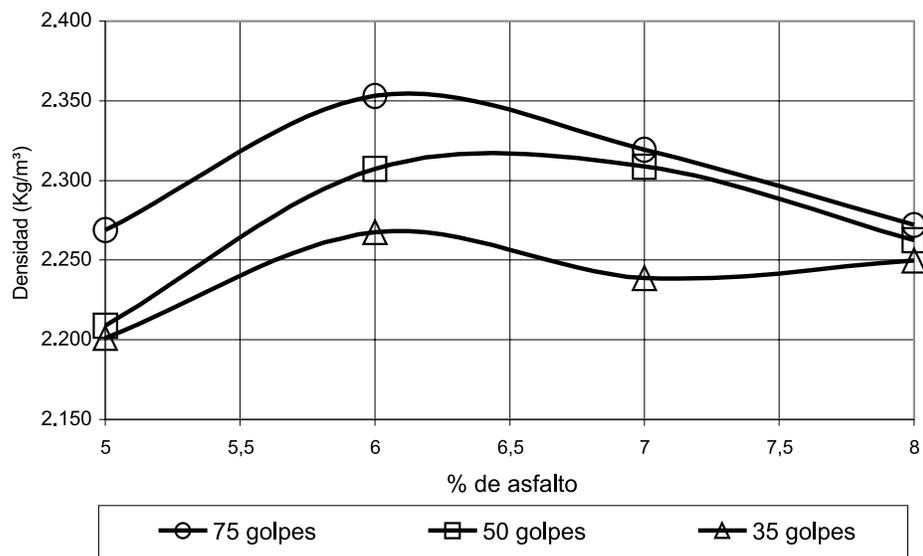


Figura 6 Variación de la densidad con respecto al contenido de asfalto

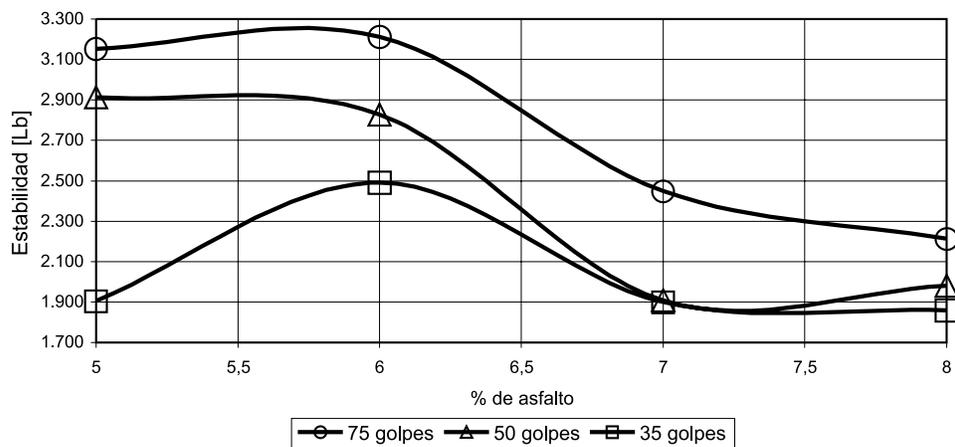
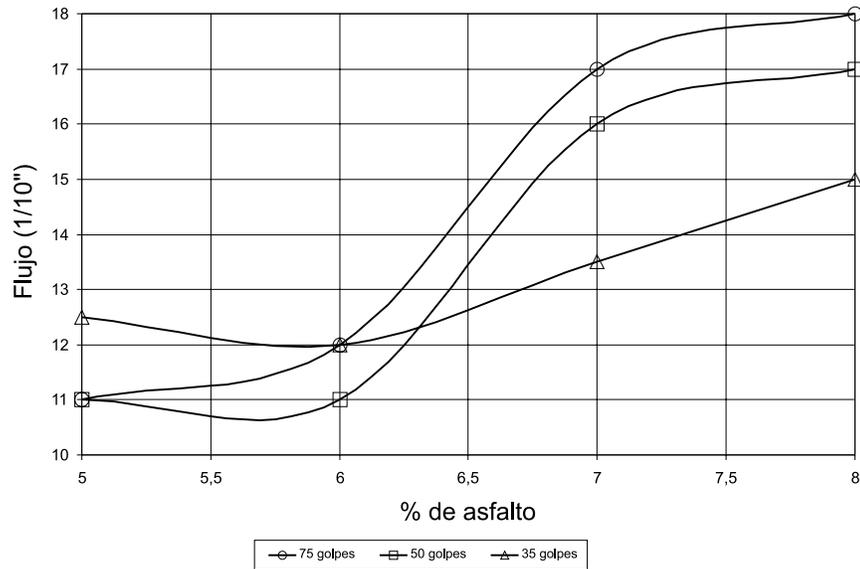


Figura 7 Variación de la estabilidad con respecto al contenido de asfalto



**Figura 8** Variación del flujo con respecto al contenido de asfalto

**Elaboración de muestras Marshall para diferentes niveles de compactación y temperatura**

Con el porcentaje óptimo de asfalto (6%), se construyeron briquetas Marshall para 50 y 75 golpes por cada cara y compactadas cada una de ellas a 100, 110, 120, 130, 140 y 150 °C.

**Ejecución de los ensayos Marshall y módulo dinámico**

Siguiendo el procedimiento de la norma ASTM D1559, para determinar la resistencia Marshall y la norma ASTM D4123-82 para los módulos dinámicos, se determinó la estabilidad, flujo, densidad y módulo dinámico para las muestras compactadas a diferentes temperaturas.

**Análisis de resultados**

Una vez obtenidos todos los resultados de la densidad, estabilidad, flujo y módulo dinámico, se pudo determinar el efecto de la temperatura de compactación en una mezcla

asfáltica con granulometría 0/10 y asfalto con penetración 60/70.

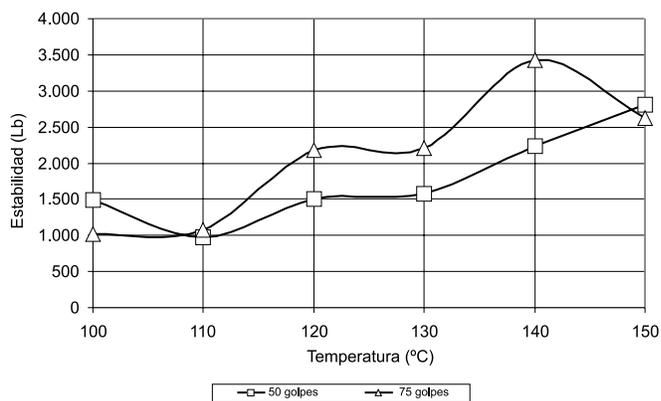
**Resultados**

Los resultados obtenidos en la investigación son:

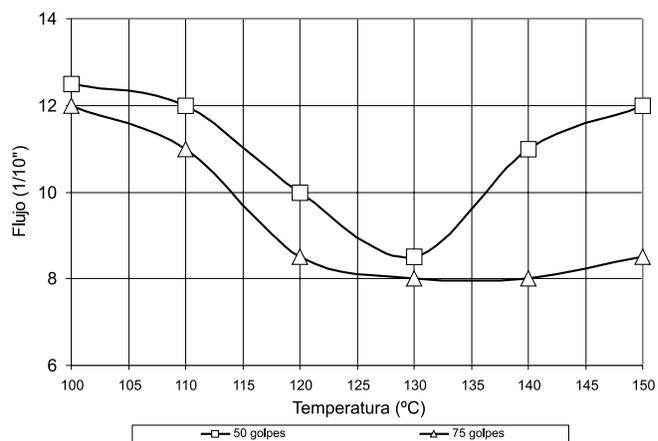
En la figura 9 se observa que la estabilidad se incrementa en la medida que la temperatura de compactación es mayor, teniendo un valor máximo para nivel de compactación de 75 golpes por cara en 140 y 150 °C para 50 golpes.

El flujo de la mezcla asfáltica desciende con la temperatura de compactación y tiene un mínimo, sin importar el nivel de compactación, a la temperatura de 130 °C, como se observa en la figura 10. Es importante resaltar que para todas las temperaturas de compactación el flujo se encuentra en el rango exigido (8-16 centésimas de pulgada) [5].

La densidad “bulk” de la mezcla, sin importar la energía de compactación, crece con la temperatura, alcanzando un máximo para 150 °C, como aparece en la figura 11 y sus valores en la tabla 2.



**Figura 9** Efecto de la temperatura de compactación en la estabilidad de la muestra



**Figura 10** Cambio del flujo con respecto a la temperatura de compactación

**Tabla 2** Densidad muestras compactadas a diferentes temperaturas

<i>Temperatura °C</i>	<i>50 golpes</i>	<i>75 golpes</i>
	<i>Densidad (kg/m³)</i>	
100	2.148	2.181
110	2.152	2.190
120	2.155	2.212
130	2.188	2.244
140	2.210	2.252
150	2.250	2.253

Para los ensayos de módulos dinámicos, sin importar la temperatura de ejecución de los ensayos (10, 20 y 30 °C) y la energía de compactación (50 y 75 golpes), se determinó como aparece en la figura 12 que la temperatura de compactación genera cambios en el módulo dinámico de la mezcla asfáltica y que el mayor valor en el módulo está entre 140 y 150 °C.

En la figura 13, se puede concluir que teniendo como punto de comparación el módulo dinámico compactado a 150 °C y muestras con un nivel de energía de 50 golpes, el descenso en la temperatura de compactación (temperaturas entre 100 y 140 °C) siempre genera disminución del módulo dinámico de la mezcla asfáltica, sin importar la temperatura de ejecución del

ensayo (10, 20 y 30 °C) y llegando en ocasiones a ser del orden del 40% para la temperatura de compactación de 110 °C.

La figura 14 corresponde a la comparación de los módulos dinámicos de la mezcla asfáltica teniendo como patrón la compactada a 150 °C y con un nivel de energía de compactación de 75 golpes. Se observa en la gráfica que para las temperaturas de compactación de 130 y 140 °C, el módulo dinámico llega aproximadamente al 27% para una temperatura del ensayo de 20 °C. Los descensos del módulo dinámico se presentan cuando las compactaciones de las muestras se realizaron a las temperaturas de 100 y 110 °C. Este descenso llega al 20%.

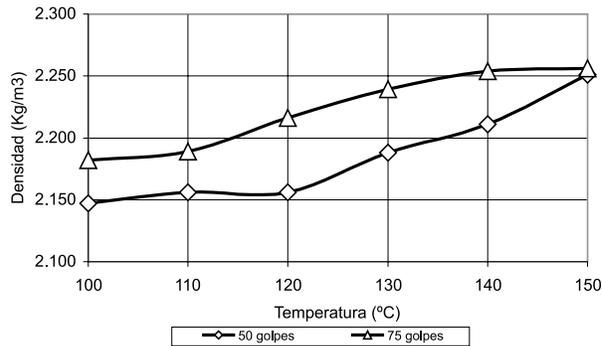


Figura 11 Variación de la densidad con respecto a la temperatura de compactación

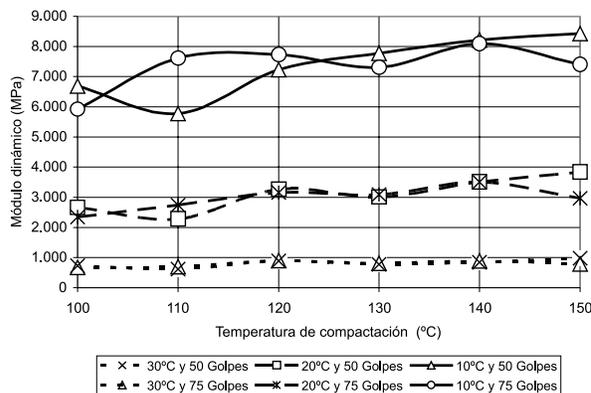


Figura 12 Efecto en los módulos dinámicos al variar la temperatura de compactación

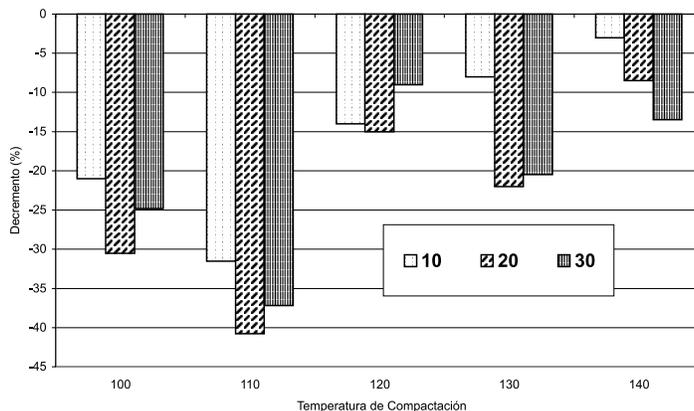


Figura 13 Decremento del módulo dinámico versus temperatura de compactación

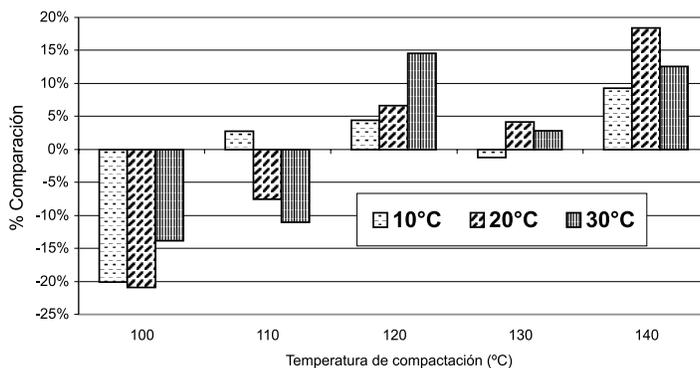


Figura 14 Incremento del módulo dinámico versus temperatura de compactación

### Conclusiones

Luego de ejecutados y analizados los ensayos Marshall y módulo dinámico de las muestras compactadas a diferentes temperaturas, se puede concluir que:

- La temperatura de compactación de una mezcla asfáltica afecta sus propiedades dinámicas y mecánicas, llegando a obtenerse descensos hasta del 40% del módulo dinámico, lo que repercute en el tiempo de vida útil de la estructura.
- Para un nivel de energía de compactación de 50 golpes y ensayos de módulo dinámico a 10, 20 y 30 °C, el punto máximo se encuentra a 150 °C.
- La estabilidad y densidad máxima de la mezcla asfáltica se encuentra entre 140 y 150 °C de temperatura de compactación.
- El flujo mínimo de la mezcla se encuentra a 130 °C.
- Para un nivel alto de energía de compactación (75 golpes) los mayores módulos dinámicos

están a 140 °C y a las temperaturas de 110 y 100 °C, los descensos ascienden hasta 20%.

### **Agradecimientos**

Los autores desean agradecer la valiosa colaboración de la Universidad Militar Nueva Granada, especialmente al Proyecto ING-2004-003 y a la Pontificia Universidad Javeriana.

### **Referencias**

1. A. Salazar. *Efectos de la temperatura de compactación en la resistencia al flujo plástico*. El Salvador. Ministerio de Obras Públicas de el Salvador. Unidad de Investigación y Desarrollo Vial. 2000. pp. 1-34.
2. D. Brock. *Segregación causas y soluciones boletín técnico T 117S*. Chatagoohana. ASTEC. 2002. pp. 1-34.
3. J. Charrier. *Evaluation de l'endommagement par fatigue des enrobés bitumineux apports de la termographie infrarouge*. Nantes. Bulletin Laboratoire Centrales des Ponts et Chaussées N.º 232. 2001. pp. 19-29.
4. UNIANDES-IDU. *Reglamento técnico vial RSV 2002*. Bogotá. Instituto de Desarrollo Urbano. 2002. pp. 1-357.
5. ESSO Colombiana S. A. Principios básicos para el diseño de pavimentos flexibles. Bogotá. ESSO. 1985. pp. 1- 89.