

# EFFECTO DE LA PRESIÓN DE CONTACTO Y LA TEMPERATURA EN EL AHUELLAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA \*

Oscar Javier Reyes Ortiz \*\*

Fredy Alberto Reyes Lizcano \*\*\*

Juan Ricardo Troncoso Rivera \*\*\*\*

**Resumen:** este trabajo consistió en determinar el efecto de la presión de contacto y la temperatura en el ahuellamiento de una mezcla asfáltica cerrada con granulometría 0/10, con asfalto CA 60/70, a partir del estudio de la presión y temperatura normalizada a 0.9 Mpa y 60°C. El estudio se inició con la caracterización del material granular y el asfalto; a continuación se determinó el porcentaje óptimo de asfalto mediante el ensayo Marshall y terminó con la ejecución de ensayos de ahuellamiento en el equipo de la Pontificia Universidad Javeriana, variando la presión de contacto desde 0,18 Mpa hasta 0,9 Mpa, en incrementos de 0.18 Mpa y la temperatura desde 40°C hasta 70°C, en intervalos de 10°C. Los resultados indican que existe un efecto de la presión de contacto y la temperatura en la deformación permanente; dicho efecto se ajusta a una función exponencial en las dos variables evaluadas.

---

\* Fecha de recepción: 22 de abril de 2005. Fecha de aceptación para publicación: 18 de octubre de 2005.

\*\* Ingeniero Civil, Universidad de los Andes, candidato de doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña. Profesor Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: oreyes@umng.edu.co

\*\*\* Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Javeriana, Máster en geotecnia y estructuras, Ecole National Supérieure de Mécanique, Doctor en Ciencias del Ingeniero, Laboratoire Central de Ponts et Chaussées. Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: fredy.reyes@javeriana.edu.co

\*\*\*\* Ingeniero Civil, Universidad Militar Nueva Granada. Profesor, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: juan.troncoso@umng.edu.co

**Palabras clave:** ensayo Marshall, ahuellamiento, temperatura de ensayo, presión de contacto, mezcla asfáltica.

**Abstract:** the aim of the associated research was determining the effect of the contact pressure and the temperature in the rutting of a closed asphalt mixture, with gradation measured between 0-10 mm, with asphalt CA 60/70, compared with the standardized test at 0,9 Mpa and 60°C. The research starts with the characterization of the granular material and the asphalt, followed by the determination of the optimal percentage of asphalt by means of the Marshall test and ended with the execution of rutting tests, varying the contact pressure from 0,18 Mpa to 0,9 Mpa, in increments of 0,18 Mpa and the temperature from 40°C to 70°C, in increments of 10°C. The results indicate that there is an effect of the contact pressure and the temperature in the permanent deformation; the above mentioned effect is adjusted to an exponential function in both evaluated variables.

**Keywords:** Marshall test, rutting, temperature effect, contact pressure, asphalt mixture.

## 1. Introducción

El ahuellamiento de los pavimentos asfálticos consiste en el deterioro gradual de la superficie y se manifiesta como una depresión bajo las bandas de circulación vehicular. Las causas que determinan la aparición de huellas en una estructura de pavimento son:

- la formación y acumulación de deformaciones plásticas en la base de las capas de materiales asfálticos.
- la disgregación de las capas de materiales granulares ante la aplicación de grandes esfuerzos verticales [Caicedo, Caro, 2002].

En el caso de las mezclas asfálticas, se ha demostrado que los principales factores que determinan la formación de huellas son la magnitud y frecuencia de la aplicación de carga y las condiciones climatológicas (por ejemplo, la temperatura). Adicionalmente, se ha comprobado que las características reológicas del ligante asfáltico de la mezcla también influyen significativamente en el comportamiento plástico de estos materiales.

En una estructura de pavimento, la magnitud y la frecuencia de aplicación de la carga están directamente relacionadas con su nivel de servicio, con su ocupación vehicular (TPD) y con la velocidad promedio de los vehículos. La variación de la temperatura altera las características y el comportamiento mecánico del material, disminuyendo la capacidad estructural del pavimento [Caro, García, Caicedo, 2001]. Así mismo, la reología del asfalto es determinante en el comportamiento mecánico del material; se ha demostrado que a altas temperaturas o bajo cargas lentas el asfalto se comporta como un líquido viscoso; a bajas temperaturas o bajo cargas rápidas

el asfalto se comporta como un sólido elástico; y a temperaturas intermedias, el asfalto se comporta como un material viscoelástico.

La investigación realizada se concentró en la incidencia que tienen los parámetros de presión de contacto y la temperatura en la deformación permanente de una mezcla asfáltica cerrada, que tiene como consecuencia la disminución de la servicialidad del pavimento.

## **2. Metodología de la investigación**

Inicialmente se realizó la caracterización del material pétreo y del asfalto que fue sometido a las pruebas de Marshall para la determinación del porcentaje óptimo de asfalto; posteriormente se procedió a determinar la metodología para evaluar el ahuellamiento en laboratorio.

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

La granulometría que se empleó en la investigación es la denominada 0/10, empleada en la construcción de pavimentos en la ciudad de Bogotá, según el Reglamento técnico vial [Uniandes, IDU, 2002]. El tipo de asfalto que se utilizó fue el producido por la refinería de Barrancabermeja.

#### **2.1.1 Caracterización del granular**

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

Tabla 1. Ensayos caracterización del material granular

<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>	<b>Resultado</b>
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: presentación propia de los autores.

### 2.1.2 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.

Tabla 2. Ensayos de caracterización del asfalto

<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>	<b>Resultado</b>
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: presentación propia de los autores.

### 2.1.3 Porcentaje óptimo de asfalto

El porcentaje óptimo de asfalto se determinó por medio del método Marshall [Invías INVE-748, 1998]. Las características evaluadas se relacionan en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros del diseño Marshall

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
Fluencia (0.01 pulgadas)	ASTM D 1559	11

Fuente: presentación propia de los autores.

### 2.2. Determinación de la deformación permanente

La determinación del ahuellamiento se determina por medio de ensayos triaxiales cíclicos con confinamiento constante o ensayo de pista en laboratorio [Invías INVE-756, 1998].

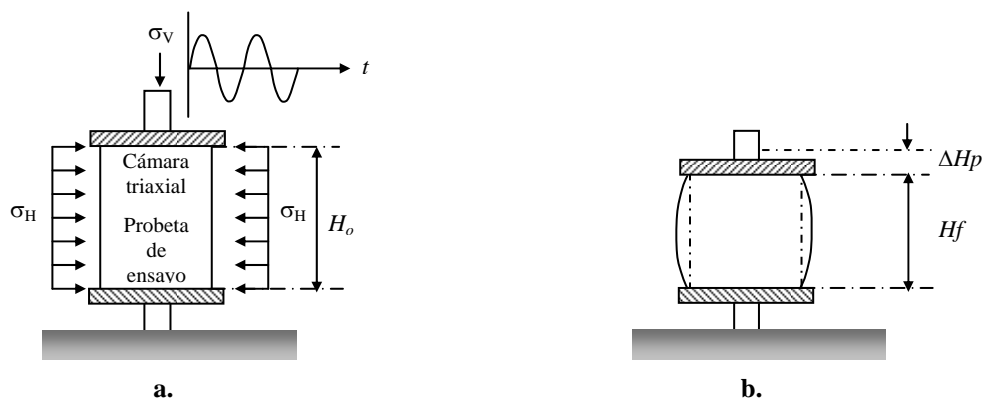
En el primer caso, los ensayos reproducen con exactitud la distribución de esfuerzos que sufre un elemento que se encuentra bajo el área de presión de carga vehicular y su objetivo es determinar la *ley de flujo* del material. Con el segundo ensayo se puede obtener el valor de la huella sobre la capa de material asfáltico y la relación entre el tiempo y la deformación plástica.

### 2.2.1 Ensayos triaxiales cíclicos

Los ensayos triaxiales cíclicos con confinamiento constante someten a los materiales asfálticos que conforman la estructura de pavimento a condiciones de esfuerzos similares a los producidos por el paso de vehículos en la superficie [Aussedat, 1977].

En ellos las probetas se introducen dentro de la cámara triaxial, donde son sometidas a una condición de esfuerzo vertical de compresión que varía con una función sinusoidal ( $\sigma_v$ ), a una presión horizontal estática e isotrópica ( $\sigma_H$ ) y a una temperatura constante. Ante las condiciones descritas, la muestra de ensayo sufre alteraciones en su geometría: la altura total de la muestra disminuye por la aparición de deformaciones permanentes ( $\Delta H_p$ ) y la probeta sufre un achatamiento general que genera variaciones en su radio (Figura 2).

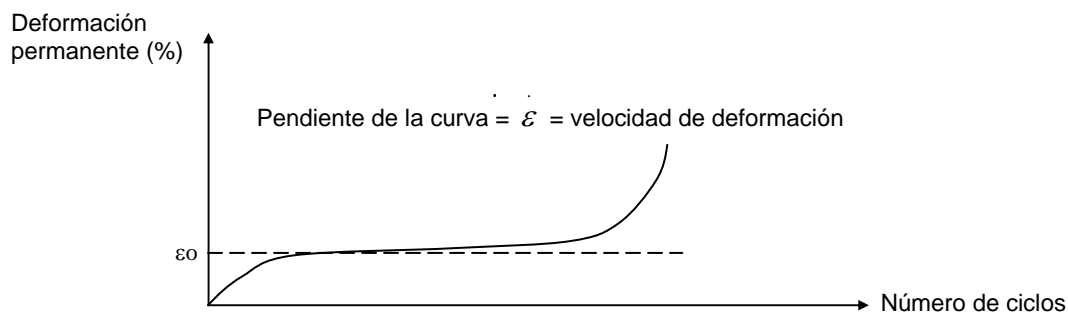
**Figura 2.** Esquematzación del ensayo triaxial cíclico, **a.** al inicio de la prueba y **b.** al finalizar la prueba.



Fuente: presentación propia de los autores.

El ensayo proporciona la relación entre el porcentaje de deformación permanente de la muestra en función del número de ciclos de carga a la que ha sido sometida. Un resultado característico se muestra en la Figura 3 [Aussedat, 1977]. En la gráfica se puede observar una rápida deformación inicial producida por la aplicación de los primeros ciclos de carga, seguida de una estabilización que corresponde al flujo de material y finaliza con la falla de la probeta. Posterior a la falla, las muestras adquieren forma de toneles y pierden toda consistencia cuando se elimina la presión de confinamiento a la que estaban sometidas (Figura 2.b).

**Figura 3.** Curva típica de flujo de una mezcla asfáltica



Fuente: [Aussedat, 1977]

### 2.2.2 Ensayos de pista (I.N.V. E-756)

Por medio de este método se han realizado varios estudios de la deformación permanente entre los que se destacan la incidencia del tipo de asfalto y granulometría en la mezcla asfáltica, la reducción del ahuellamiento al adicionar a la mezcla desperdicio de llanta usada, entre otras. Esta investigación evalúa la incidencia de la variación de la presión de contacto y temperatura



propuesta en la norma I.N.V. E-756. Los ensayos se realizaron en el ahuellador de la Pontificia Universidad Javeriana.

**Figura 4.** Ahuellador para el ensayo de pista



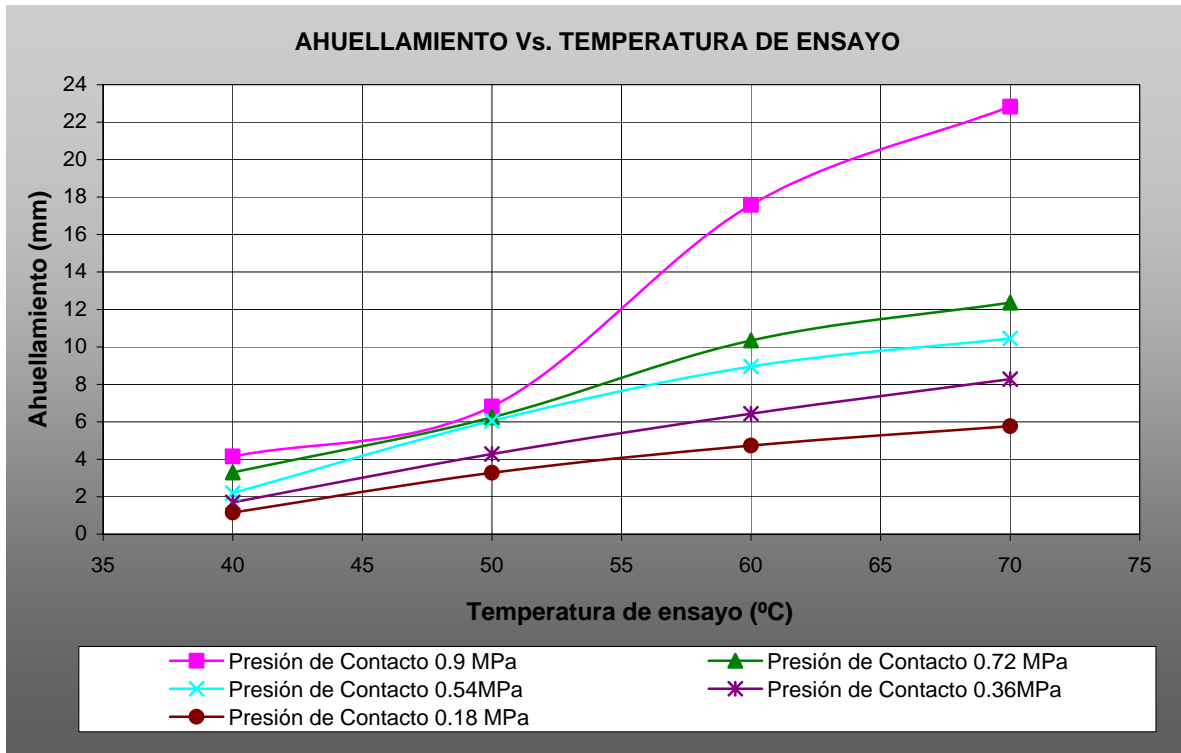
Fuente: presentación propia de los autores.

### **3. Ensayos realizados y análisis de los resultados**

Se realizaron los ensayos correspondientes a temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C y 70°C, y presiones de contacto de 0,18 Mpa, 0,36 Mpa, 0,54 Mpa, 0,72 Mpa y 0,9 Mpa.

Los resultados obtenidos al evaluar la incidencia de la temperatura de ensayo de la mezcla asfáltica en el ensayo de ahuellamiento se muestran en la Figura 5.

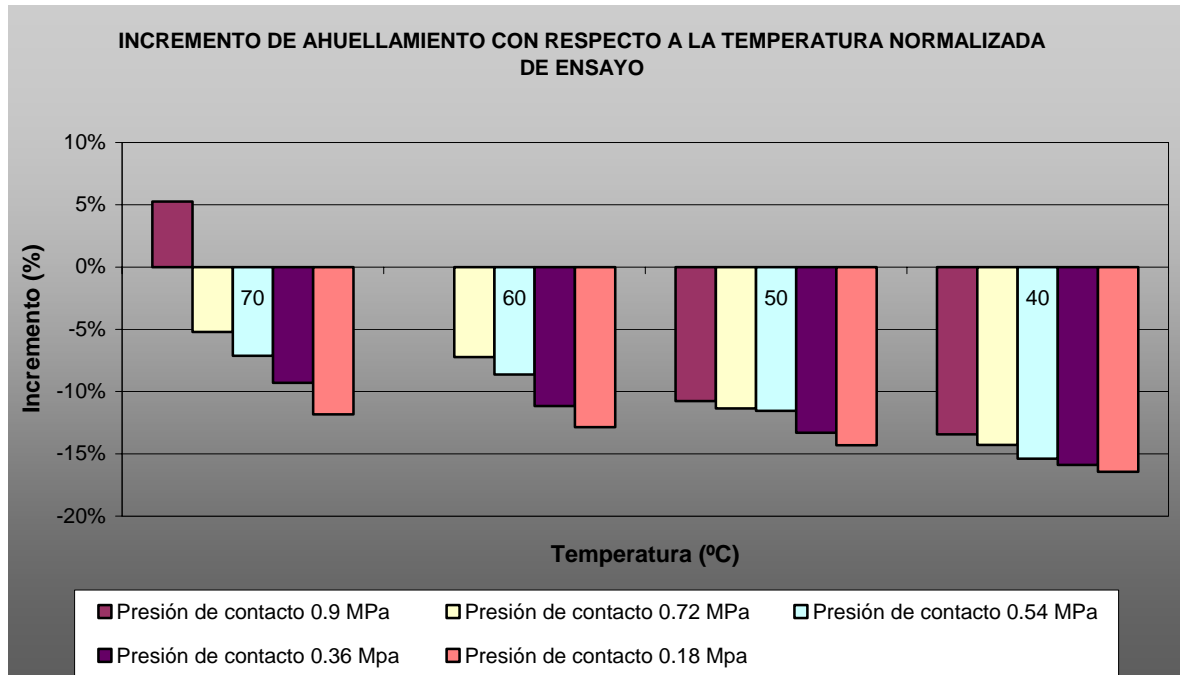
**Figura 5.** Incidencia de la temperatura en el ensayo de ahuellamiento



Fuente: presentación propia de los autores.

El comportamiento que presenta la deformación permanente con respecto a la temperatura de ensayo normalizada (60°C, I.N.V. E-756) se muestra en la Figura 6.

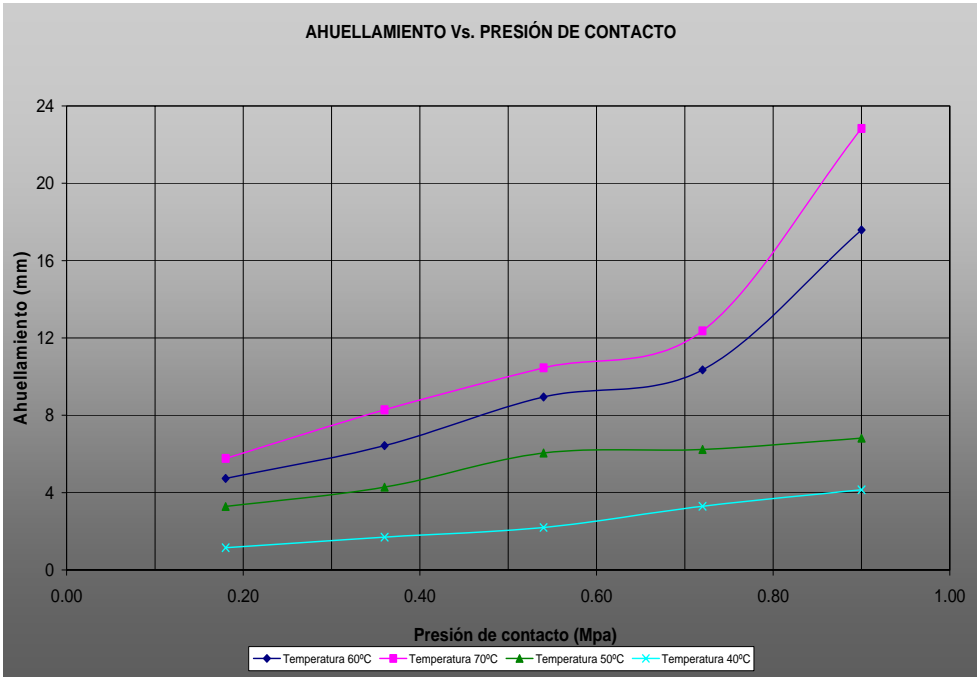
**Figura 6.** Incrementos en la deformación permanente con respecto a la temperatura de ensayo



Fuente: presentación propia de los autores.

Al evaluar la incidencia de la presión de contacto de la mezcla asfáltica en el ensayo de ahuellamiento se obtienen los resultados que se presentan en la Figura 7.

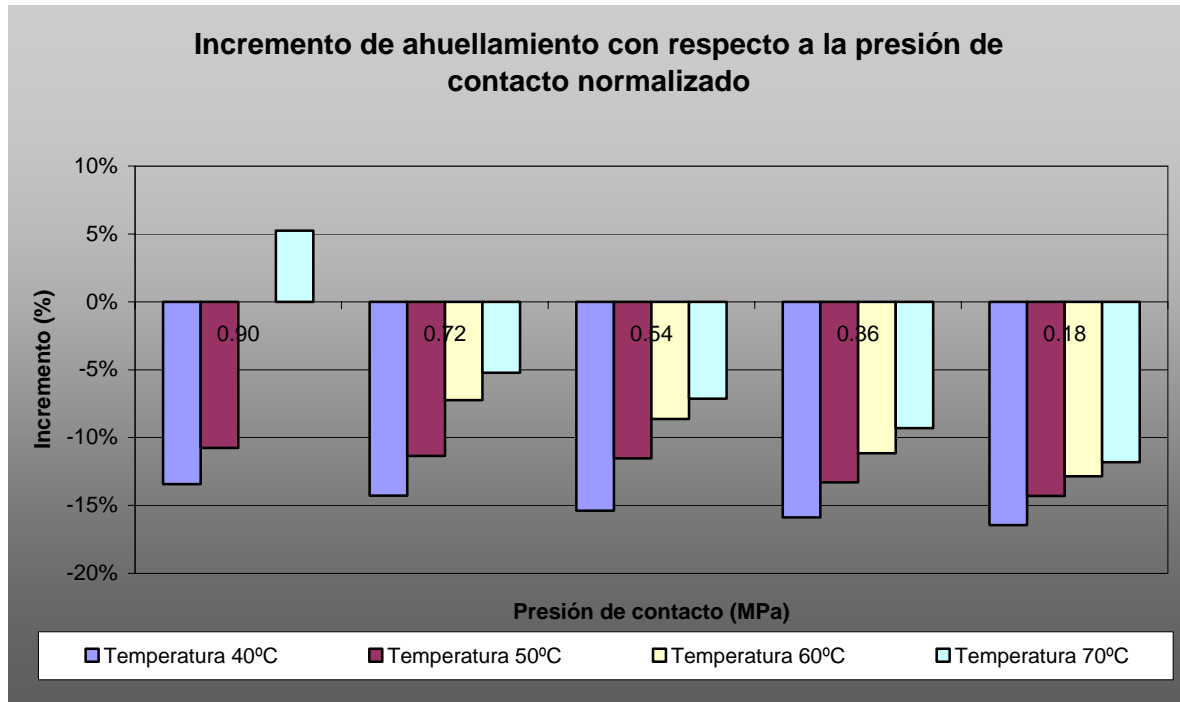
**Figura 7.** Incidencia de la presión de contacto en el ensayo de ahuellamiento



Fuente: presentación propia de los autores.

De otra parte, el comportamiento de la deformación permanente con respecto a la presión de contacto normalizado (0.9 Mpa, I.N.V. E-756) es el que se muestra en la Figura 8.

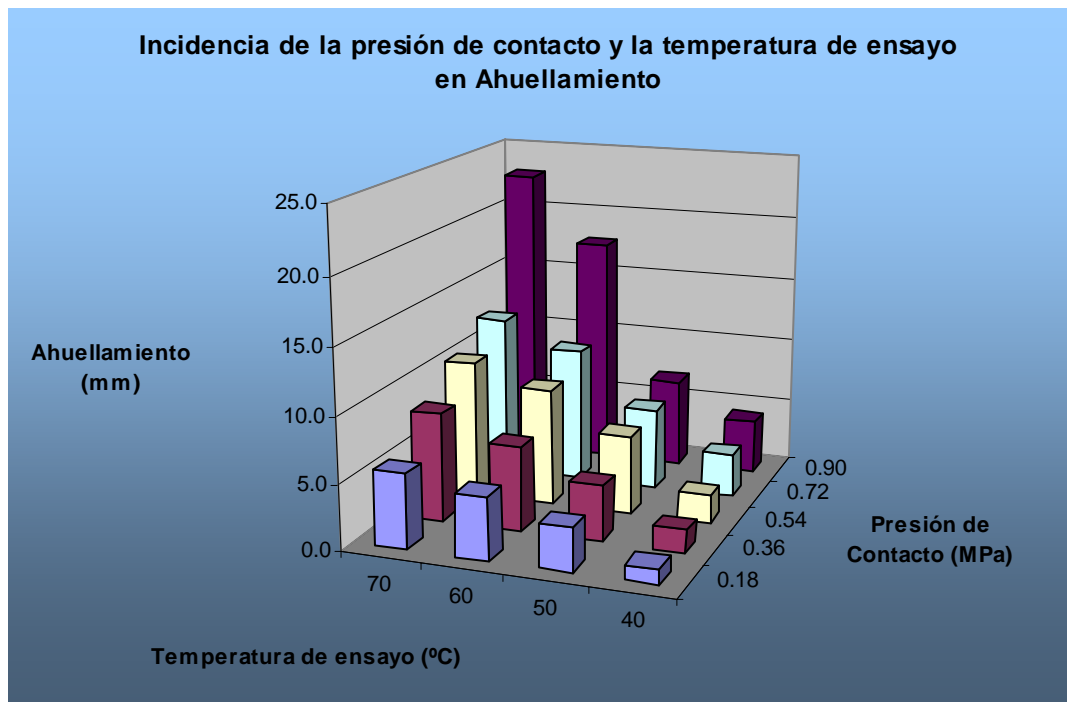
**Figura 8.** Incrementos en la deformación permanente con respecto a la presión de contacto



Fuente: presentación propia de los autores.

El estudio del comportamiento de la mezcla asfáltica en el ensayo de ahuellamiento se puede analizar conjuntamente con las dos variables de estudio tal como se muestra en la Figura 9.

**Figura 9.** Incidencia de la presión de contacto y la temperatura de ensayo en ahuellamiento

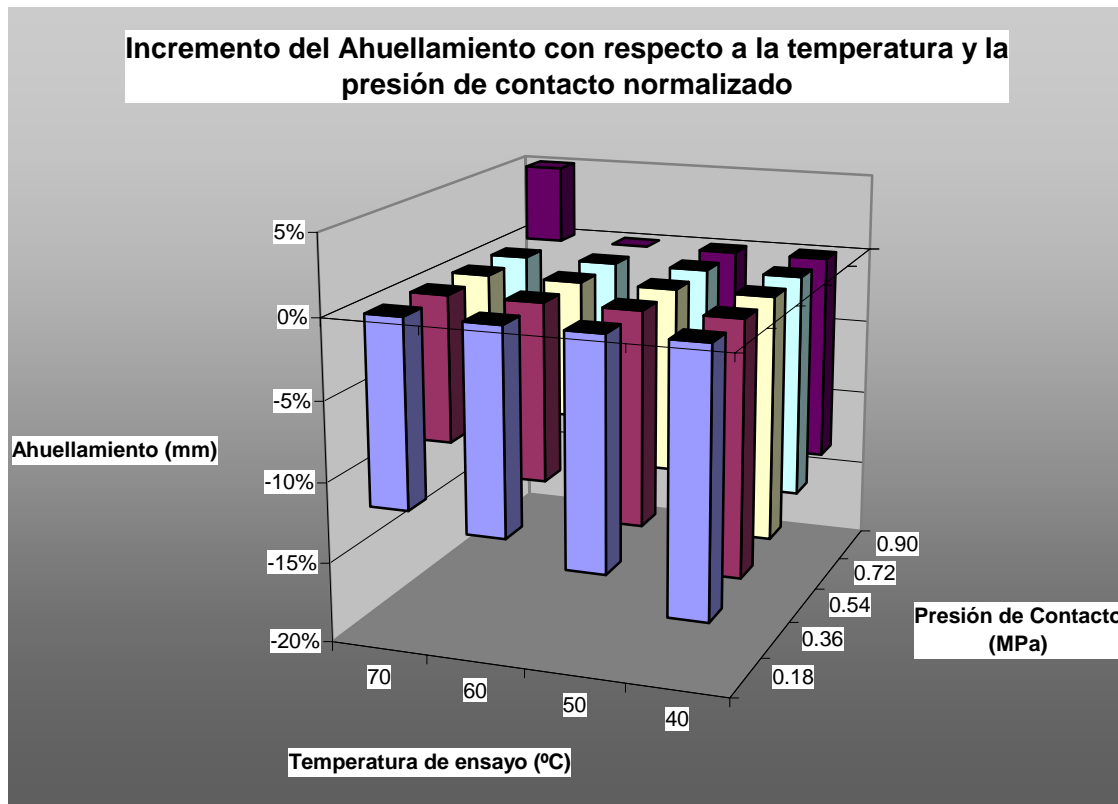


Fuente: presentación propia de los autores.

La correlación entre la presión de contacto y la temperatura de ensayo frente a la deformación permanente en determinada presión y temperatura con respecto a otro valor obtenido de ahuellamiento con diferentes valores de las variables evaluadas en un 90% aproximadamente resulta estadísticamente significativa. El modelo de ajuste utilizado es de tipo exponencial.

En la Figura 10 se muestran los incrementos positivos y negativos en las combinaciones de presión de contacto y temperatura de ensayo con respecto a la muestra ensayada a 60°C y 0.9 Mpa (parámetros normalizados I.N.V. E-756).

**Figura 10.** Incrementos en la deformación permanente con respecto a la presión de contacto y la temperatura de ensayo



Fuente: presentación propia de los autores.

#### 4. Conclusiones

La incidencia de la temperatura y presión de contacto en la evaluación de ahuellamiento de una mezcla asfáltica es un indicador claro de la metodología racional de pavimentos, de ensayar las muestras de acuerdo con las condiciones de tráfico real (cargas y distribución), temperatura, entre otras, y permite obtener datos acertados o más precisos para el empleo de esta metodología de diseño.

Al analizar y comparar los parámetros de ensayo de temperatura y presión de contacto normalizados por el Invías, es claro que para las carreteras colombianas la temperatura de ensayo no debe ser de 60°C; en cambio, las presiones de contacto sí deben ser mayores a las establecidas por la norma. En el caso del primer parámetro, no existen en Colombia zonas en las cuales la mezcla asfáltica vaya a trabajar a temperaturas que conlleven una deformación permanente mayor; trabajar con temperaturas de ensayo superiores a 60°C conduce a un sobredimensionamiento del pavimento flexible.

En el caso de las presiones de contacto, en casos de tráfico de sistemas de transporte masivo, las cargas son mucho mayores a las tenidas en cuenta en sus diseños, lo que lleva a la aparición de grietas prematuras con la consecuencia de la falla del pavimento en muy corto tiempo.

Esto resalta la importancia de diseñar y evaluar la mezcla asfáltica en términos de su ahuellamiento, de las leyes de fatiga y de su módulo con los parámetros reales a los cuales va a estar sometido el pavimento.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen a los laboratorios de pruebas y ensayos de la Pontificia Universidad Javeriana y de ingeniería de la Universidad Militar Nueva Granada por facilitar la realización de las pruebas y ensayos.



## Referencias

- Aussedat, G. *L'essai de fluage dynamique dans la formation des enrobés et le dimensionnement des chaussées, Bitumes et Enrobés bitumineux*. Paris: Laboratoire des Ponts et Chaussées, 1977.
- Caicedo, B., Caro, S. *Modelación del ahuellamiento en mezclas asfálticas*. Bogotá: Universidad de los Andes, 2002.
- Caro, S., García, C., Caicedo, B. “Modelo numérico para el estudio del clima en pavimentos flexibles”. En: *Revista de Ingeniería*, 2001.
- Colombia. Invías. Norma I.N.V.E.-756. *Resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio*. Bogotá: Invías, 1998.
- Colombia. Invías. Norma I.N.V.E.-748. *Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall*. Bogotá: Invías, 1998.
- Reyes, F.A. *Diseño racional de pavimentos*. Bogotá: CEJA-ECI, 2003.
- Reyes, O.J., Reyes, F.A., *Incidencia en las propiedades del asfalto y de una mezcla asfáltica MDC-1 al adicionar SBR*. XV Simposio de Ingeniería de Pavimentos. s.d.: Melgar, 2005.
- Thenoux Z.G. et al. *Análisis de casos de ahuellamiento en mezclas asfálticas chilenas*. Santiago: Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, s.d.
- Uniandes, Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). *Reglamento técnico vial para la ejecución de obras en el sector vial de Bogotá, D.C*. Bogotá: Uniandes – IDU, 2002.