

Influencia de la granulometría en la resistencia al ahuellamiento de mezclas asfálticas

Oscar J. Reyes-Ortiz¹, Javier Camacho-Tauta²

Resumen

El grupo de investigación de Geotecnia de la Universidad Militar Nueva Granada adelantó una investigación para determinar la incidencia en el ahuellamiento de mezclas asfálticas del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y el Instituto Distrital Urbano (IDU), al variar su granulometría en la franja superior, inferior y media. El estudio inició con la caracterización de los materiales (asfalto y granular), seguido de la determinación del porcentaje óptimo de asfalto por el Ensayo Marshall. Por último, se construyeron muestras con las diferentes franjas granulométricas para evaluar la resistencia al ahuellamiento con los contenidos de asfaltos óptimos. Entre los resultados encontrados se determinó que la deformación permanente está directamente relacionada con las franjas granulométricas y la energía de compactación y que, según la normativa, la velocidad de deformación solo la cumple la granulometría MD10.

Palabras claves: Deformación plástica, mezcla asfáltica, granulometría y velocidad de deformación.

Abstract

The geotechnic engineering research group of the Universidad M. Nueva Granada, carried out a research about the performance of different bituminous mixes under the wheel tracking test when their gradations changes in the upper, middle and lower layer. Two sets of mixes were studied belonging to the Instituto Nacional de Vias (INVIAS) and the Instituto Distral Urbano (IDU). Previous testing, the granular material and the bitumen were studied in order to determine their properties, and the optimum rate of binder was determined using the Marshall test. Finally, specimens were made following the specifications found in the characterization tests and the wheel tracking test was applied. As a result, the only gradation that satisfies the specifications regarding the deformation velocity is the MD10. Furthermore, it has been found that the rutting is strongly related with the gradations and the compaction energy.

Key words: rutting, asphalt mixture, gradations and rut speed.

Fecha de recepción: 29 de enero de 2008
Fecha de aceptación: 8 de abril de 2008

¹ Ingeniero Civil, MSc. Profesor Asociado Universidad Militar Nueva Granada, oreyes@umng.edu.co

² Ingeniero Civil, MSc. Profesor Asistente Universidad Militar Nueva Granada, jcamacho@umng.edu.co
Programa de Ingeniería Civil – Grupo de investigación de Geotecnia
Dirección: Universidad Militar Nueva Granada, carrera 11 N. 101-80, Bogotá (Colombia).

I. INTRODUCCIÓN

La mezcla asfáltica es el producto de unir asfalto con material granular bajo unos criterios y normas establecidas. Esta mezcla actúa como esqueleto que aporta resistencia y rigidez a la estructura de pavimento, cuyos valores dependen de las propiedades individuales de los materiales, las condiciones ambientales y de la carga que soporta la vía. Los porcentajes de las partículas de material granular (granulometría) que conforman las mezclas asfálticas hacen que se incrementen o disminuyan sus propiedades mecánicas y dinámicas, de ahí la importancia de escoger una mezcla específica a la hora de diseñar, construir o rehabilitar una vía.

El empleo de curvas granulométricas diferentes en las capas asfálticas depende de la función de la capa y del nivel de esfuerzos que ésta debe soportar, es así, como se pueden enunciar las curvas granulométricas cerradas, abiertas y semiabiertas [1].

Las mezclas asfálticas pueden tener un comportamiento elástico lineal, no lineal o viscoso en función de la temperatura y el tiempo de aplicación de la carga. A bajas temperaturas el comportamiento es fundamentalmente elástico lineal, y al aumentar la temperatura se va comportando como un material elástico no lineal, con lo cual aparece un comportamiento viscoso a medida que la temperatura continúa aumentando.

Es así como en épocas de invierno, al tener temperaturas bajas, no existen deformaciones plásticas y el comportamiento es elástico. A temperaturas intermedias y elevadas, la cohesión de la mezcla disminuye y las deformaciones generadas por el tráfico se incrementan, lo cual produce ahuellamiento en la mezcla debido a su componente viscosa [2].

De otra parte, el porcentaje de vacíos o huecos en la mezcla influye en la contribución del asfalto en las propiedades de la mezcla, lo que conlleva a que a menor contenido de vacíos, mayor es la influencia del mismo en el ahuellamiento y la resistencia.

Las deformaciones permanentes o ahuellamiento en la mezcla asfáltica se caracterizan por un desplazamiento lateral a lo largo de la trayectoria de los vehículos en el plano de la mezcla, lo cual crea una depresión en el área de carga por donde circula la llanta y una cresta en ambos lados de la depresión (Figura 1).

La aparición de deformaciones permanentes es causada por la falta de resistencia de la mezcla ante la solitud de las cargas. Otra deformación permanente es la causada por fallas en la subrasante, cuya aparición se debe a un exceso de esfuerzos en las capas inferiores. La forma característica de este ahuellamiento es un hundimiento por donde circulan las llantas de los vehículos, lo que genera una deformación en las capas inferiores y mantiene el espesor de la mezcla asfáltica, como aparece en la Figura 2 [3].

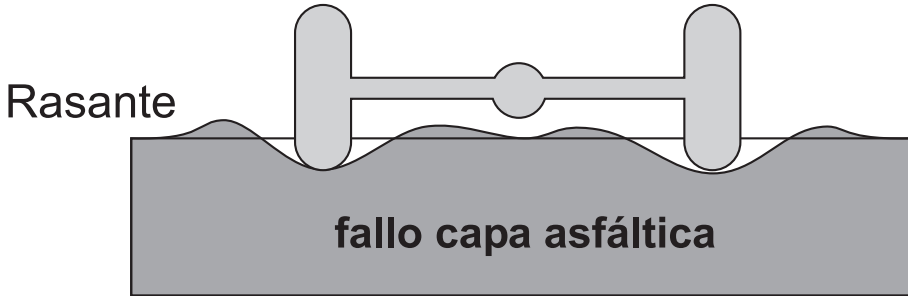


Figura 1. Ahuellamiento por fallo de la mezcla asfáltica

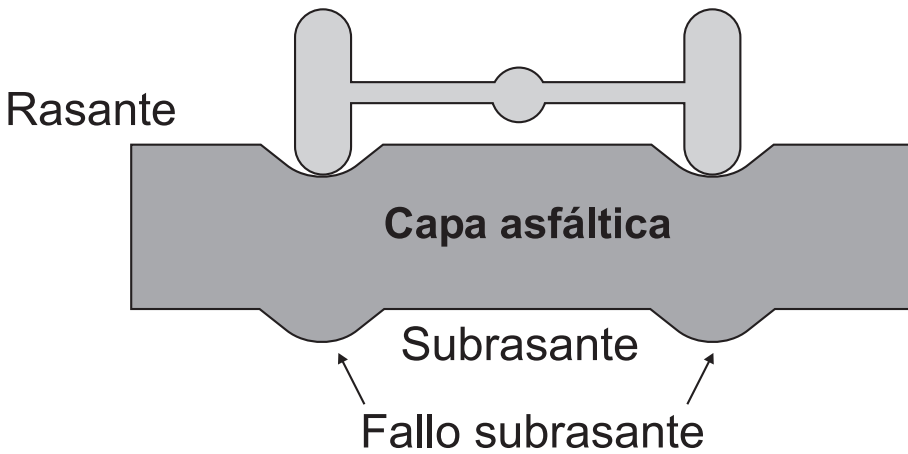


Figura 2. Ahuellamiento por fallo en la subrasante

Existen suficientes evidencias que indican que las granulometrías densas son las deseables en la elaboración de las mezclas asfálticas debido a que mitigan los efectos de ahuellamiento y presentan propiedades mecánicas y dinámicas mayores a las otras mezclas. En el estudio adelantado por Brown y Pell se concluyó que las mezclas abiertas o de granulometría

discontinua exhiben una mayor susceptibilidad a la deformación plástica y son aún más vulnerables al ahuellamiento a temperaturas altas, que las mezclas densas o elaboradas con granulometrías continuas [4].

De otra parte, estudios realizados por el grupo de investigación del Departamento de Transporte de Estados Unidos, utilizando una mezcla asfáltica compuesta por 8% de agregado granular, 37% de arena granular y 47% de arena fina, mostraron que las granulometrías finas y granulares experimentan profundidades de deformación permanente de 7 y 10% mayores que la granulometría propuesta por la ASTM de material que pasa por el tamiz N° 4 y es retenido en el tamiz N° 10 [5].

Investigadores de la Universidad de Berkeley analizaron el efecto del contenido de *filler* mineral sobre la formación de deformaciones permanentes. Para el estudio utilizaron dos tipos de porcentaje de *filler*, el primero un 2.5% y el segundo el 5.5%, y encontraron que para menores contenidos de finos (2.5%), el número de repeticiones para una deformación determinada fue de 16.476 ciclos, mientras que para el contenido de 5,5% fue de 13.886, con lo cual se obtiene una diferencia del 119%. [6]

El estudio realizado con ensayos de deformación Creep determinó que en mezclas asfálticas elaboradas con agregados angulares, las deformaciones plásticas son menores que cuando se utiliza agregado con caras lisas o de canto rodado procedentes de río, sin triturar [7].

Investigadores del Centro Nacional de Tecnología del Asfalto de la Universidad de Auburn estudiaron el efecto de los vacíos en el agregado mineral sobre el potencial de generación de deformaciones permanentes mediante el uso del equipo *Asphalt Pavement Analyzer*, y encontraron que el potencial está relacionado con el espesor de la capa asfáltica. Un incremento en los vacíos y en el espesor de la capa asfáltica causan un incremento en las deformaciones permanentes para mezclas con granito y caliza, mientras que causan un decremento en las mezclas con agregados de gran tamaño [8].

Otros autores, como Monismith y Linden, encontraron que grandes contenidos de asfalto producen bajos contenidos de vacíos en la mezcla y como consecuencia un incremento potencial en la susceptibilidad a la deformación permanente [9,10,15].

II. METODOLOGÍA

Esta investigación se inició con la caracterización del material granular y el asfalto, y siguió con la determinación del contenido óptimo de asfalto para las granulometrías estudiadas (MD10, MD12 y MD20 para el IDU y MDC-1 Y MDC-2 del INVIAS).

Con los valores óptimos de contenido de asfalto, se construyeron muestras para analizar la deformación permanente de las mezclas en las franjas superior, media e inferior de las granulometrías anteriormente mencionadas. Por último, se analizaron los resultados para determinar la incidencia de la granulometría en el ahuellamiento de las mezclas. En la Figura 3 se observa el diagrama de la metodología.

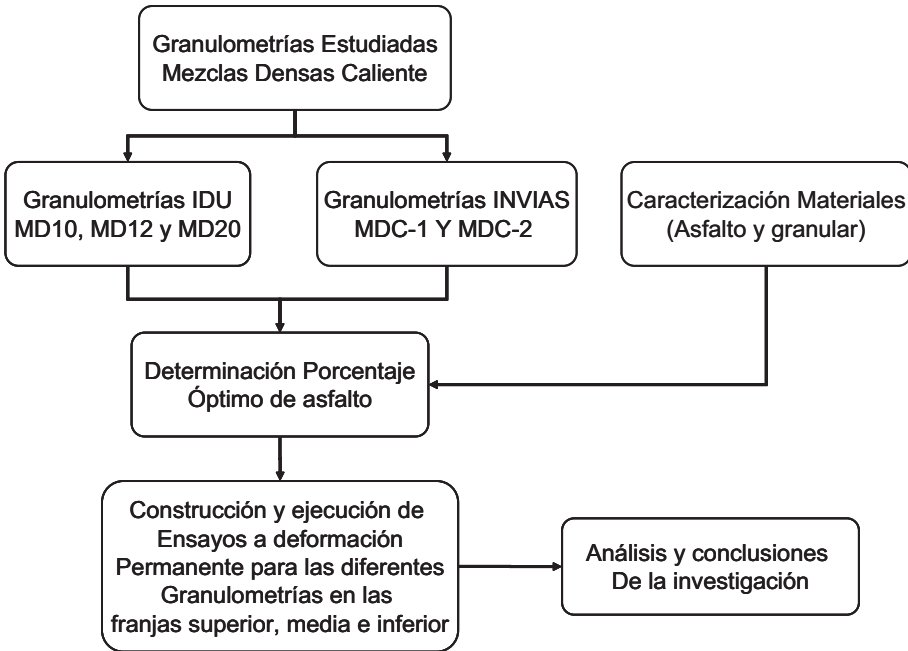


Figura 3. Diagrama de la metodología de la investigación

a. Caracterización del granular

El material granular se caracterizó por medio de los ensayos de laboratorio que se referencia en el Cuadro 1 [11].

Cuadro 1. Ensayos caracterización del material granular

ENSAYO	NORMA	RESULTADO
Equivalente de arena	INVE-133	72,93%
Resistencia al desgaste	INVE-218	15,79%
Peso específico aparente agregado fino	INVE-222	2,41 g/cm ³
Absorción agregado fino	INVE-222	3,71%
Peso específico aparente agregado grueso	INVE-223	2,625 g/cm ³
Absorción agregado grueso	INVE-133	0,47%

b. Caracterización del asfalto

El asfalto empelado en la investigación presenta las características que se relacionan en el Cuadro 2. [12]

Cuadro 2. Ensayos caracterización del asfalto

ENSAYO	NORMA	RESULTADO
Viscosidad	INVE-714	1518 poises
Penetración	INVE-706	85/100
punto de ablandamiento	INVE-712	45,25°C
Peso unitario del asfalto sólido	INVE-707	0,99 (gr/cm ³)
Punto de ignición	INVE-709	228 °C
Punto de llama	INVE-709	236 °C
Pérdida de masa RTFOT (%)	ASTM D-1754	2,1
G* Módulo Complejo (kPa)	Superpave	2.44

c. Curvas granulométricas

Las granulometrías que se emplearon en la investigación son las utilizadas para mezclas densas en caliente por el Instituto de Desarrollo Urbano IDU (MD10, MD12 y MD20) [13] y por el Instituto Nacional de Vías – INVIAS (MDC-1 y MDC-2) [14]. Las curvas granulométricas superior, media e inferior de cada una de ellas, aparecen en las Figuras 4, 5, 6, 7 y 8 respectivamente.

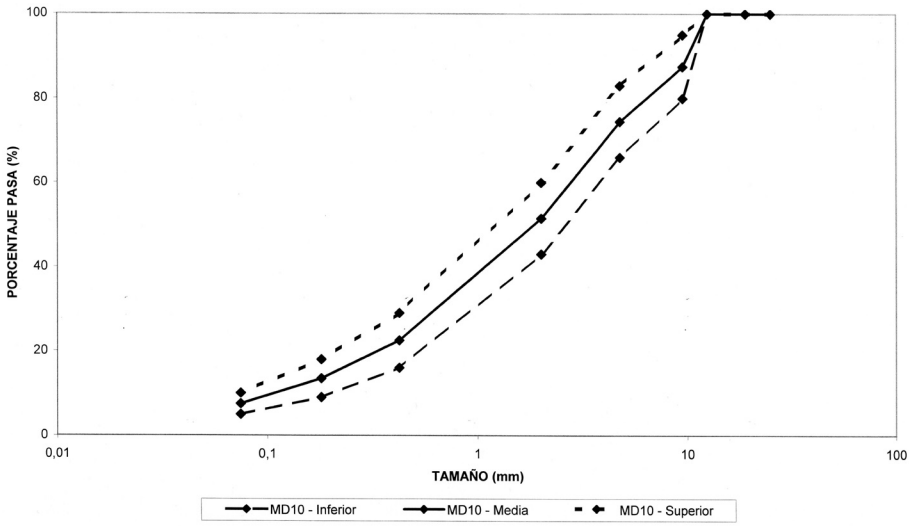


Figura 4. Curvas granulométrica superior, media e inferior de la mezcla caliente MD10

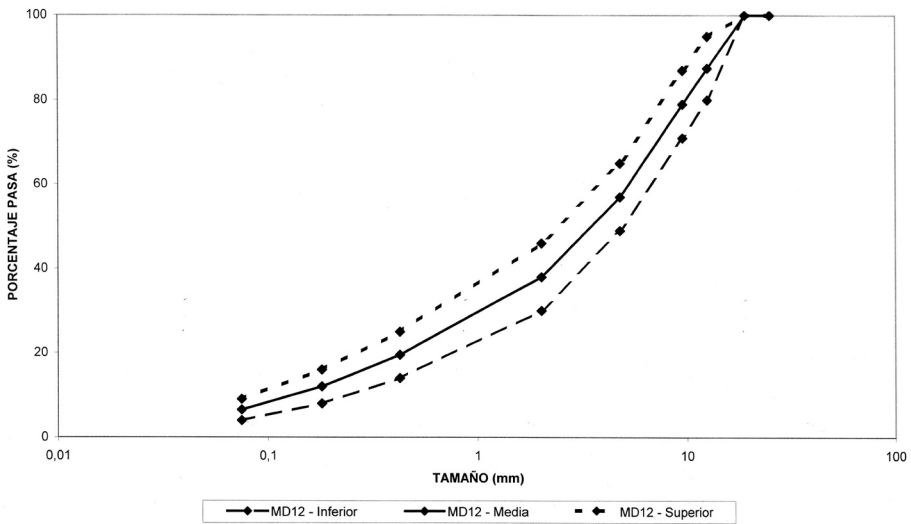


Figura 5. Curvas granulométrica superior, media e inferior de la mezcla caliente MD12

INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA EN LA RESISTENCIA
AL AHUELLAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

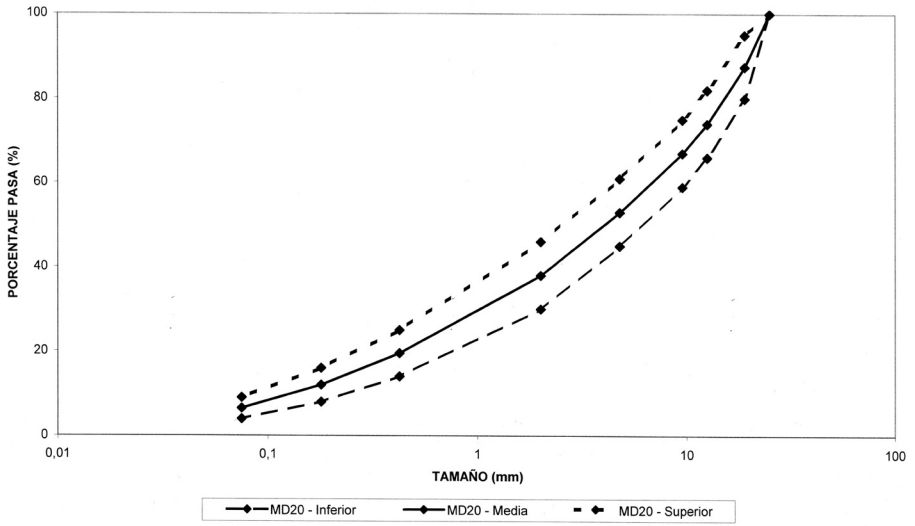


Figura 6. Curvas granulométrica superior, media e inferior de la mezcla caliente MD20

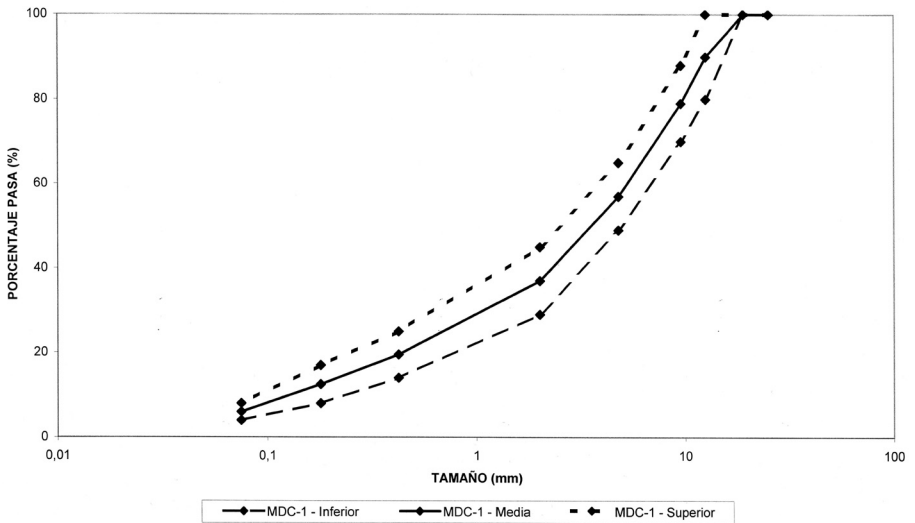


Figura 7. Curvas granulométrica superior, media e inferior de la mezcla caliente MDC-1

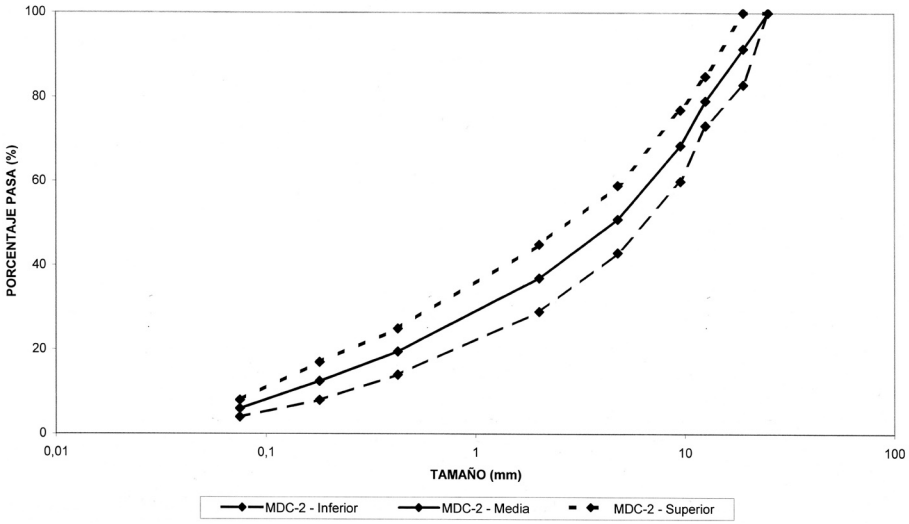


Figura 8. Curvas granulométrica superior, media e inferior de la mezcla caliente MDC-2

d. Porcentaje óptimo de asfalto

El porcentaje óptimo de asfalto se determinó por medio del método Marshall (I.N.V. E-748), con diez probetas (compacidad de 50 y 75 golpes) para cada granulometría, a porcentajes de asfalto entre 4 y 6.5%. A continuación se relacionan los porcentajes óptimos en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Porcentajes de asfalto óptimos de cada granulometría

GRANULOMETRÍA	PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO
MD10 - IDU	5,0
MD14 - IDU	5,2
MD20 - IDU	5,7
MDC-1 - INVIAS	5,5
MDC-2 - INVIAS	5,3

e. Ensayos de ahuellamiento

Para la construcción de las muestras de ahuellamiento, con el porcentaje óptimo de asfalto para cada granulometría y la densidad respectiva, se calculó el material necesario (asfalto y granular) para construir

las muestras respectivas. Las muestras fueron ensayadas a una presión vertical constante de 900 kPa, con una frecuencia de 42 ciclos por minuto y a una temperatura de 60 °C, como se observa en la Figura 9.

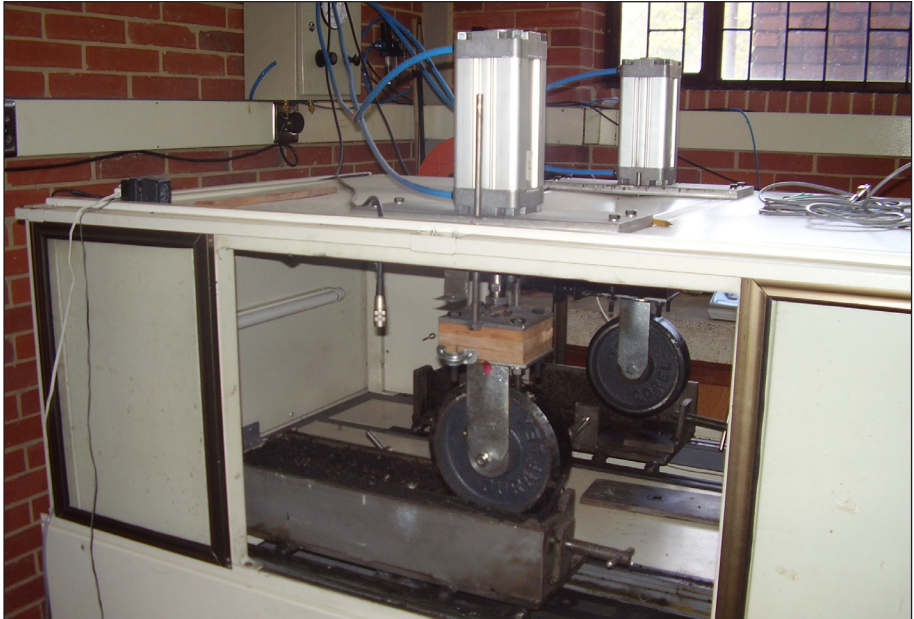


Figura 9. Equipo de deformación permanente en mezclas asfálticas

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De los ensayos realizados para determinar la deformación plástica en las muestras de las granulometrías del Instituto de Desarrollo Urbano – IDU y el Instituto Nacional de Vías, se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Energía compactación 50 golpes**

De la Figura 10, se observa que para la franja inferior de las granulometrías estudiadas, la máxima deformación alcanzada corresponde a la mezcla MDC-1 del INVIAS, seguida de la MD12 del IDU.

La mezcla con menor deformación permanente corresponde a la mezcla del IDU MDC-2. Las mezclas que presentan deformaciones medias al final del ensayo son las MD-20 y MD10 del IDU.

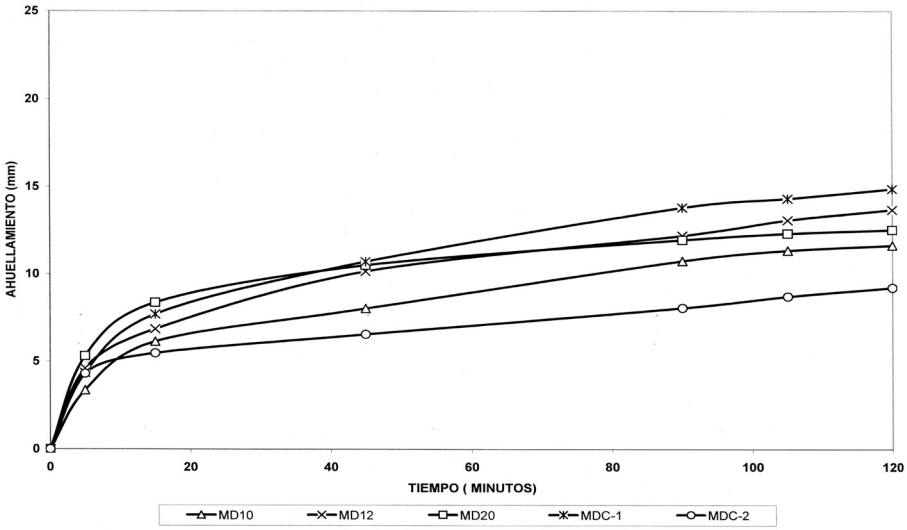


Figura 10. Energía compactación 50 golpes por cara y franja inferior de las granulometrías

De la Figura 11, curvas de deformación plástica para las granulometrías en la franja media, se puede observar que para las granulometrías MDC-1 del INVIAS y MD20 del IDU se presentan las mayores deformaciones. La menor deformación obtenida es para la curva granulométrica MD10 del IDU. Las curvas MDC-2 y MD12 presentan deformaciones medias con respecto a las demás curvas analizadas.

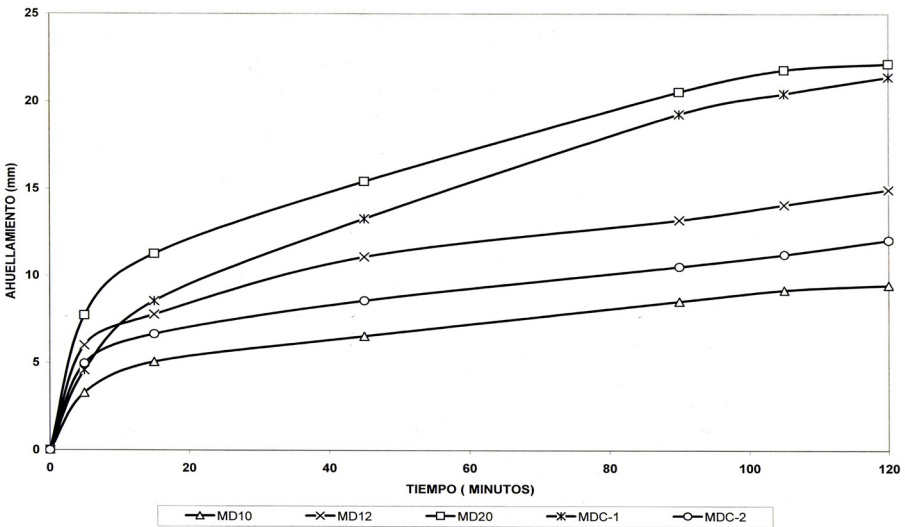


Figura 11. Energía compactación 50 golpes por cara y franja media de las granulometrías

De la Figura 12, curva de ahuellamiento de las mezclas asfálticas con granulometrías en la franja superior, se aprecia que la deformación para las granulometrías MD20, MDC-1 y MDC-2 es muy similar y máxima. La deformación plástica mínima es para la granulometría MD10 del IDU, seguida de la MD12.

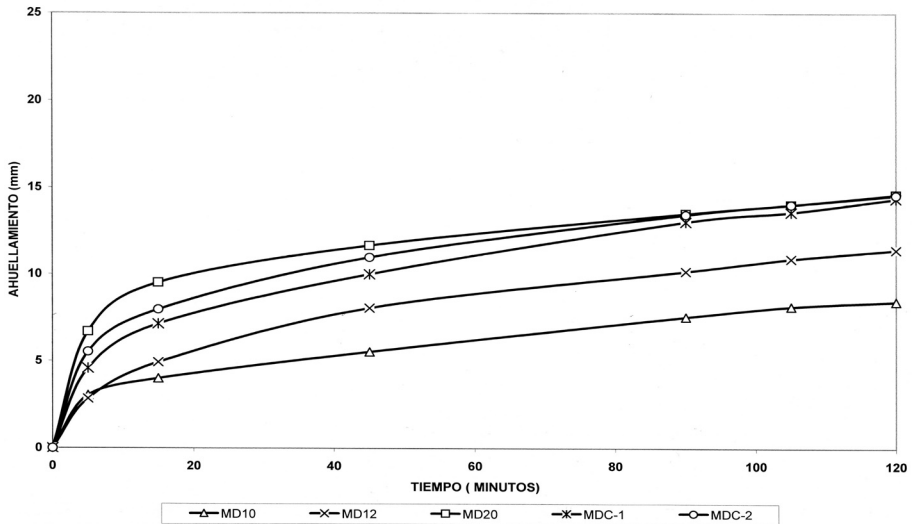


Figura 12. Energía compactación 50 golpes por cara y franja superior de las granulometrías.

De la Figura 13, velocidad de deformación plástica de las mezclas con las diferentes granulometrías estudiadas y compactadas con 50 golpes por cara, se puede observar que la mezcla con granulometría MD10 del IDU para las diferentes franjas (superior, media e inferior) cumple los requerimientos establecidos y la mezcla MD20 del IDU en la franja inferior.

Se observa, adicionalmente, que las mezclas con granulometría MD12 del IDU y MDC-1 y MDC-2 del INVIAAS presentan las mayores velocidades de deformación para las diferentes franjas estudiadas.

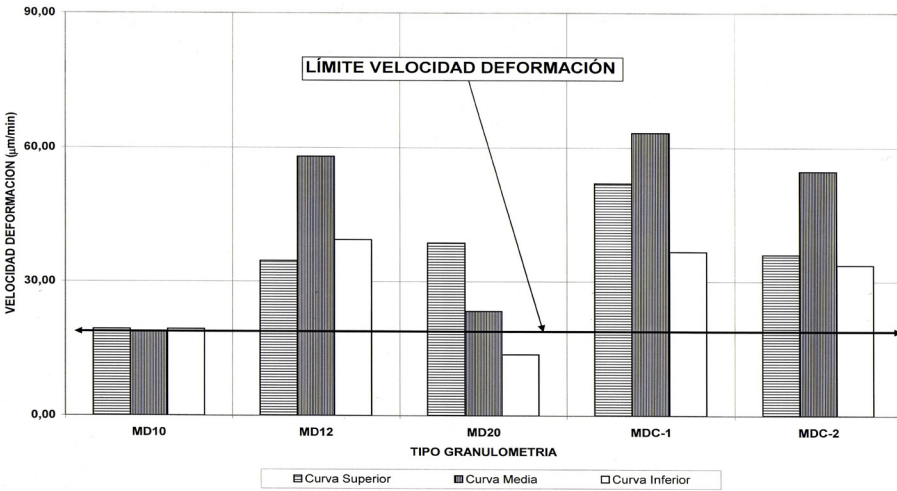


Figura 13. Energía compactación 50 golpes por cara y velocidad de deformación de las granulometrías

- **Energía compactación 75 golpes**

De la Figura 14, se observa que la deformación plástica mayor obtenida para las mezclas compactadas con 75 golpes por cara y con la franja granulométrica inferior, corresponde a la mezcla MDC-1 del INVIAS, seguida de la Mezcla MD12 del IDU. Las mezclas con menor ahuellamiento corresponden a las mezclas MDC-2 del INVIAS y la MD10 del IDU.

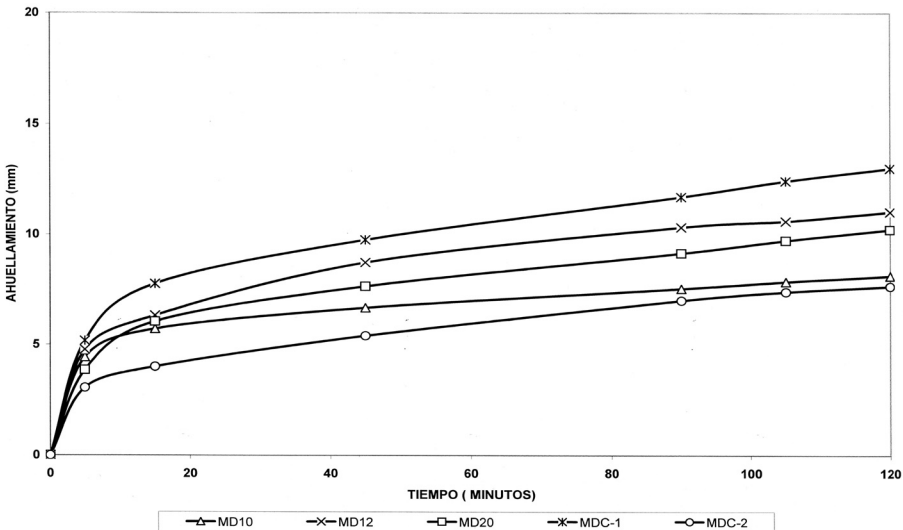


Figura 14. Energía compactación 75 golpes por cara y franja inferior de las granulometrías

De la Figura 15 se resalta que para la franja granulométrica media la menor deformación corresponde para la mezcla con granulometría MD10 del IDU, seguida de la mezcla MDC-2 del INVIAS.

La que presenta mayores deformaciones corresponde a la mezcla MDC-1 del INVIAS y MD12 del IDU, casi con el tripe y doble de la deformación respectivamente.

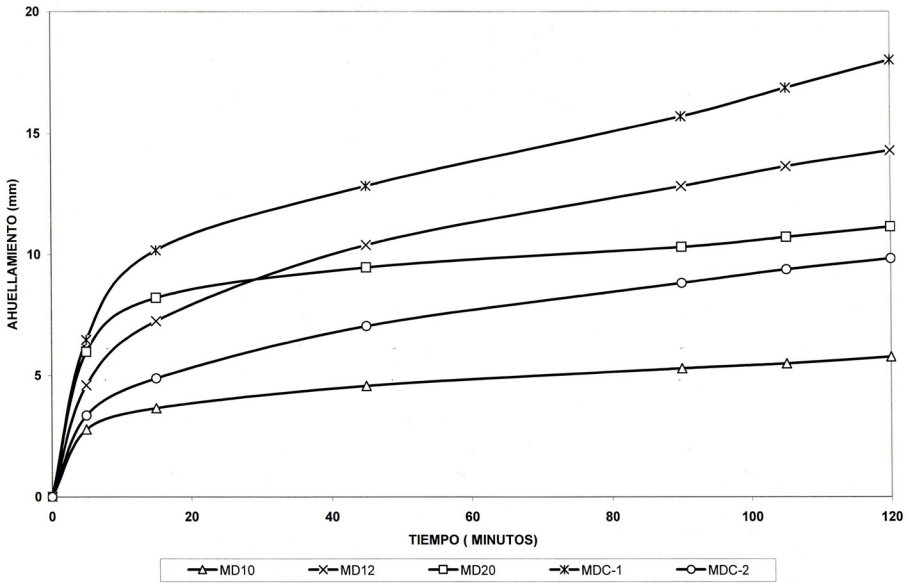


Figura 15. Energía compactación 75 golpes por cara y franja media de las granulometrías

De la Figura 16, se observa que para la franja superior de las granulometrías estudiadas, el comportamiento de deformación plástica de las mezclas MD10 del IDU y MDC-1 del INVIAS es muy similar, y se obtienen adicionalmente las mayores deformaciones. La menor deformación es obtenida por la mezcla MD10 del IDU.

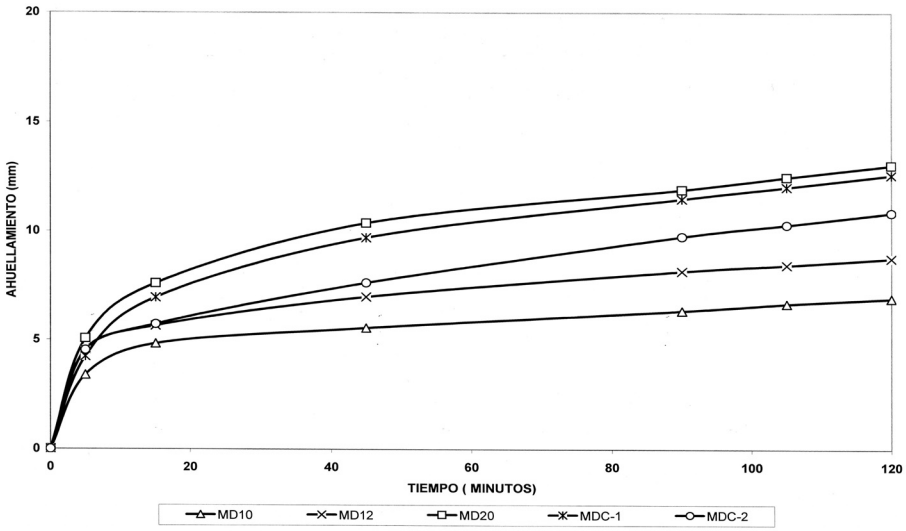


Figura 16. Energía compactación 75 golpes por cara y franja superior de las granulometrías

De la Figura 17, se resalta que el valor límite para la velocidad de deformación sólo la cumple la mezcla MD10 en sus tres franjas (superior, media e inferior) y la mezcla MDC-2, para la franja inferior. Las mayores velocidades de deformación son obtenidas para la mezcla MDC-1, especialmente en la franja media.

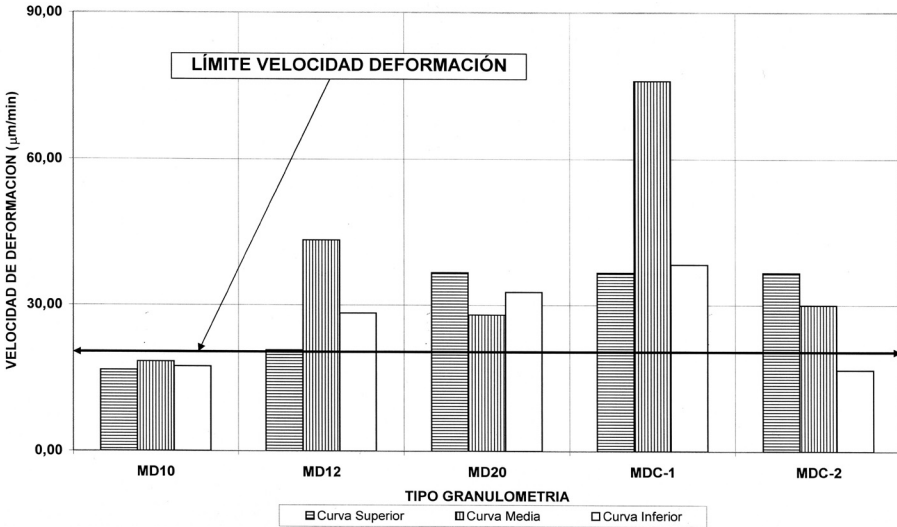


Figura 17. Energía compactación 75 golpes por cara y velocidad de deformación de las granulometrías

V. CONCLUSIONES

De los resultados de los ensayos realizados se puede concluir que la velocidad de deformación de las diferentes mezclas granulométricas estudiadas, sin importar la energía de compactación (50 y 75 golpes por cara) y las tres franjas granulométricas (superior, media e inferior), sólo la cumple la normativa la granulometría MD10 del IDU. Además, la mezcla con granulometría MDC-2 del INVIAS en la franja inferior y compactada a 75 golpes por cara, cumple la normativa con el límite de velocidad de deformación. Así mismo, la mezcla con granulometría MD20 del IDU, en la franja inferior cumple las especificaciones.

La velocidad de deformación para la mayoría de las mezclas estudiadas, en sus diferentes franjas, depende de la energía de compactación; a mayor energía (75 golpes por cara) menor velocidad de deformación. Sin embargo, la deformación permanente de las mezclas asfálticas está directamente relacionada con la franja granulométrica utilizada.

Finalmente, se encontró que la mezcla asfáltica con mayores deformaciones permanentes en las diferentes franjas (superior, media e inferior) y niveles de energía estudiados (50 y 75 golpes por cara) es la mezcla MDC-1 del INVIAS.

VI. REFERENCIAS

- [1] M. A. FRANESQUI Y F. G. GARCÍA. "Nuevas especificaciones europeas para la caracterización de betunes asfálticos frente a las deformaciones plásticas". *Revista Carreteras*, No 152, pp 87-95, marzo / abril 2007.
- [2] A. RUIZ Y I. PÉREZ. "Influencia de los betunes en las deformaciones plásticas de las mezclas bituminosas". *Monografía M-72*, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas-CEDEX, pp 192, 2002.
- [3] P. GARNICA, J. GÓMEZ Y J. SESMA. "Mecánica de materiales para pavimentos". *Publicación Técnica*, No 197. Sanfandila-Queretano – Secretaría de Comunicación y Transporte, pp 1-234, 2002.
- [4] Y. HUANG and S.F. BROWN. "Dynamic coupled analysis for rutting in flexible pavement foundations under cyclic loading", *Chinese Journal of Geotech. Eng.* Vol. 23, No. 6, pp 751-762, 2001.
- [5] R.P. ELLIOTET, ET. AL. "Effect of aggregate gradation variation on asphalt concrete mix properties". *Transport Research Record*, Paper 1317. pp 1-12, 1991.
- [6] J. HARVEY and J.A. MONISMITH. Effect of asphalt concrete specimen preparation variables on fatigue and permanent of deformation test result using strategic highway research program A-003A proposed testing equipment. *Transport Research Record*. Paper 1417, pp 1-10, 1993.

- [7] P. UGE and P.J. VAN DE LOO. *Permanent deformation of asphalt mixes*. Amsterdam, Shell Laboratorium. pp 107, 1975.
- [8] P.S. KANDHAL, S.A. CROSS and E.R. BROWN. "Heavy duty asphalt pavement in Pennsylvania: An evaluation for rutting". *NCAT report*, No 93-2, pp 283, 1993.
- [9] F. LINDEN and J. VAN DER HEIDE. "Some aspects of the compaction of asphalt mixes and its influence on mix properties". *Proceeding The Association of Asphalt Pavement Technologic*, Vol 56, pp 98-112, 1987.
- [10] A. PADILLA. *Análisis de la resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana en el ensayo de pista*. Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, 2004, pp161.
- [11] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. *Normas de ensayos para materiales de carreteras del Instituto Nacional de Vías*. Bogotá, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002.
- [12] ASTM International. *D6373-07 Standard Specification for Performance Graded Asphalt Binder*. West Conshohocken, Pennsylvania, 2007, pp. 1-5.
- [13] INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO - IDU. *Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público de Bogotá*, 2005.
- [14] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. *Especificaciones generales de construcción para carreteras del Instituto Nacional de Vías*. Bogotá, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002.
- [15] B. PROWELL ET AL. "Development rutting criteria for the asphalt pavement analyzer". *International conference on accelerated pavement testing*. Paper N. CS 6-4, pp 1-17, 1999.