

Reyes Ortiz, Oscar Javier; Camacho Tauta, Javier Fernando; Nieto Leal, Andrés  
Cambios en las propiedades dinámicas de una mezcla asfáltica por energía de compactación y  
variación en la granulometría  
Ciencia e Ingeniería Neogranadina, vol. 16, núm. 1, agosto, 2006, pp. 72-79  
Universidad Militar Nueva Granada  
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91116107>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](http://redalyc.org)

## **CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA POR ENERGÍA DE COMPACTACIÓN Y VARIACIÓN EN LA GRANULOMETRÍA**

---

### **CHANGES IN THE DYNAMIC PROPERTIES OF AN ASPHALT MIXTURE BY ENERGY OF COMPACTION AND VARIATION IN THE GRANULOMETRY**

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

Javier Fernando Camacho Tauta<sup>2</sup>

Andres Nieto Leal<sup>3</sup>

---

Fecha de Recepción: 10 de enero de 2006  
Fecha de Aprobación: 31 de julio de 2006

#### **RESUMEN**

*El objetivo de esta investigación es establecer la influencia en las propiedades dinámicas de unas mezclas asfálticas por cambios en su energía de compactación y su granulometría. Para el desarrollo de la investigación se utilizaron dos tipos de mezcla asfálticas, una mezcla cerrada (0/10) y mezcla abierta (0/20) y la variación de la energía de compactación se realizó mediante cambios en los golpes por cada cara de las briquetas en su proceso de fabricación. La investigación inició con la caracterización de los materiales granulares y el asfalto. Posteriormente se les realizó el ensayo marshall a las mezclas para determinar el porcentaje óptimo de asfalto, el cual se obtuvo de las gráficas de estabilidad, flujo y peso unitario. Finalmente, se realizaron ensayos de módulos dinámicos y abullamiento, para poder concluir cuál es la energía de compactación óptima que debe tener la mezcla asfáltica, y así, optimizar el diseño y funcionamiento de estructuras de pavimentos flexibles con diferentes tipos de granulometría. Dentro de los resultados se resalta que el mayor módulo dinámico para la mezcla cerrada (0/10) se obtuvo para una energía de compactación de 85 golpes y para la mezcla abierta (0/20) de 75 golpes. Con respecto a la deformación permanente se obtuvo las menores deformaciones para la energía de compactación de 90 golpes en la mezcla cerrada y de 85 golpes para la granulometría abierta.*

**Palabras Claves:** Módulo dinámico, abullamiento, densificación y mezcla asfáltica

#### **ABSTRACT**

*This study has a general objective which is to establish the influence of changes of density and aggregate gradation on the changes of dynamic properties of an asphalt mix. In the present research, two types of asphalt mixture were used: mix (0/10) and mix (0/20). They both were hammered (50, 65, 75, 85, 95 y 105 times) to change their density, since it depends on the compacting energy in fabric process. The first step in this research was to characterize the materials that composed the asphalt mix: granular material and asphalt. After that the Marshall test was applied to determine the optimum percentage of asphalt, which was obtained from graphics of stability, flow, and unit weight or density. Finally, dynamic modules and rutting tests were applied to be able to conclude the optimum compacting energy and aggregate gradation that an asphalt mix should have and, thus, to optimize the design and operation of flexible pavement structures.*

**Keywords:** Dynamics modules, rutting, compacting energy and asphalt mixture

---

<sup>1</sup> Ing. Civil, MSc. Profesor Asistente Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. Estudiante de Doctorado Universidad Politécnica de Cataluña. oreyes@umng.edu.co

<sup>2</sup> Ing. Civil, MSc. Profesor Asistente Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. Estudiante de Doctorado Universidad Técnica de Lisboa. jcamacho@umng.edu.co

<sup>3</sup> Ing. Civil, Asistente de Investigación Universidad Militar Nueva Granada. andres.nieto@umng.edu.co

## I. INTRODUCCIÓN

La red vial de la ciudad de Bogotá a diciembre de 2004 poseía 15.338 kilómetros carril, distribuidas en dos grandes grupos, el primero con 14.483 Km.-carril al subsistema vial y el restante (855 Km.-carril) al subsistema de transporte. El subsistema vial esta compuesto por cuatro grandes mallas, las cuales son la vial arteria principal, la vial arteria complementaria, la vial intermedia y la vial local. El estado de las vías es de un 26% (3738 Km.-carril) en buen estado, un 25% (3596 Km.-carril) en estado regular y un 49% (7149 Km.-carril) en mal estado. De otra parte, el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) está a cargo de 16640.93 Km. de vías principales o primarias del país, de las cuales un 73.5% están pavimentadas y un 26.5% están sin pavimentar. De las vías pavimentadas un 67% se encuentra en buen estado, 25% se encuentra en estado regular y el 8% restante esta en mal estado, lo cual conduce a la necesidad de mejorar la calidad de los pavimentos a través del cambio de algunas de sus propiedades mecánicas y dinámicas, así como parte de los procesos de diseño y construcción.

Las vías construidas con pavimento flexible siempre han presentado problemas generados por procesos constructivos deficientes, como es la mala compactación de la capa de rodadura, la cual está directamente relacionada con su funcionamiento. Además, la utilización de materiales no adecuados, tales como materiales granulares mal gradados o mal compactados, causan un mal funcionamiento de la capa de rodadura, llevándola a un deterioro prematuro. Estos problemas han hecho que se pregunte cuál es la relación entre la densidad y la granulometría para mejorar las propiedades dinámicas de la mezcla

asfáltica, y así prolongar la vida útil de la capa de rodadura y a la vez reducir costos de construcción y mantenimiento.

## II. METODOLOGÍA

En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo correspondiente a la metodología que se desarrollo para la investigación.

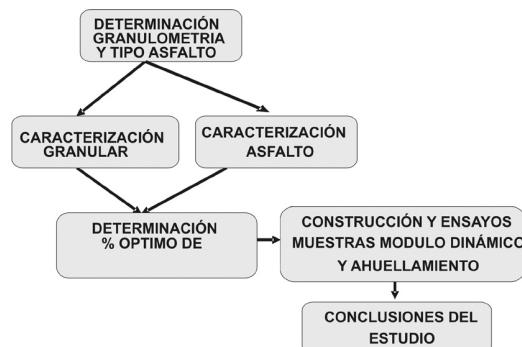


Figura 1. Diagrama de flujo correspondiente a la metodología

### A. Granulometría y Tipo de Asfalto

Para el desarrollo de ésta investigación se utilizaron dos tipos de granulometrías: 0/10 y 0/20 (Tabla 1), éstas son empleadas en la construcción de pavimentos en Bogotá y están reglamentadas por el IDU. De otra parte, se utilizó un asfalto 60/70 y cuyas propiedades aparecen en el numeral 2.3.

Tabla 1. Granulometría material granular

tamaño (pulg)	% pasa (mm)	0/10
3/4"	19.1	100
3/8"	9.5	67.5
No 4	4.75	52.5
No 10	2	41
No 40	0.42	25
No 100	0.15	17
No 200	0.075	6
fondo	fondo	0

tamaño (pulg)	% pasa (mm)	0/20
1"	25.4	100
3/4"	19.1	90
3/8"	9.5	64
1/4"	6.35	52
No 16	1.19	28
No 40	0.42	18
No 200	0.075	4
fondo	fondo	0

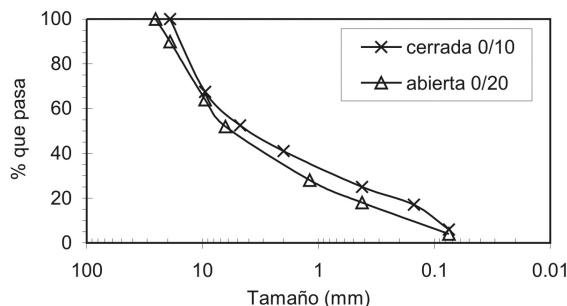


Figura 2. Curva granulométrica

### B. Caracterización del Material Granular

En la Tabla 2 se presentan las características obtenidas en la clasificación del material granular empleado en la investigación.

Tabla 2. Caracterización del material granular

ENSAYO	NORMA	RESULTADO
Resistencia al desgaste	ASTM C 131	27.03 %
Peso específico aparente agregado fino	ASTM C 128	2.50 Kg/m <sup>3</sup>
Absorción agregado fino	ASTM C 128	1.84 %
Peso específico aparente agregado grueso	ASTM C 127	2.36 Kg/m <sup>3</sup>
Absorción agregado grueso	ASTM C 127	2.88 %

### C. Caracterización del Asfalto

Para caracterizar el asfalto se realizaron los ensayos que se presentan en la Tabla 3 con los resultados y las normas correspondientes.

Tabla 3. Caracterización del asfalto

ENSAYO	NORMA	RESULTADO
Penetración	ASTM D 5-97	63
Viscosidad	ASTM D 2170-95	1519 poises
Punto de ablandamiento	ASTM D 36-95	44.4 °C
Punto de llama	ASTM D 3143-98	289.33 °C
Punto de ignición	ASTM D 3143-98	264.66 °C

### D. Determinación del Porcentaje Óptimo de asfalto

Para determinar el porcentaje óptimo de asfalto se utilizó el método Marshall, tan-

to para la mezcla con granulometría 0/10 como para la mezcla con granulometría 0/20. El ensayo Marshall se realizó para los niveles de compactación de 50 y 75 golpes por cara. Con los resultados de éste ensayo se encontró que el porcentaje óptimo de asfalto para la mezcla con granulometría 0/10 es de 6.0%, mientras que para la mezcla con granulometría 0/20 es de 6.5%.

### E. Elaboración de Briquetas de Módulo Dinámico

Conociendo el porcentaje óptimo de asfalto se procedió a elaborar 18 briquetas para el ensayo de módulo dinámico, las cuales tienen el mismo proceso de construcción de las muestras Marshall, pero en el caso de la investigación se varió el nivel de energía de compactación de 50, 65, 75, 85, 95 y 105 golpes por cada cara, determinando así la densidad de cada una de ellas. Se construyeron tres muestras por cada energía de compactación.

Los ensayos de módulo dinámico se realizaron teniendo en cuenta la norma INV E-754 y las condiciones del mismo fueron un temperatura de ensayo de 15°C, 20°C y 30°C y a una frecuencia: 2.5 Hz, 5 Hz y 10 Hz.

### F. Elaboración de Briquetas de Ahueillamiento

Para elaborar las briquetas necesarias para el ensayo de ahueillamiento o deformación permanente y poder relacionar los resultados de deformación y resistencia, se tomó como punto de equivalencia las densidades Bulk calculadas de las briquetas para los ensayos de módulo dinámico. El proceso cons

tructivo consistió en determinar el volumen del molde y teniendo la granulometría y densidad, determinar las cantidades de material granular y asfalto necesario para construirlas.

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

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de ejecutados los ensayos de estabilidad, flujo, densidad y relación de vacíos para diferentes niveles de energía, se pudo determinar que el porcentaje óptimo de asfalto es de 6% para la mezcla de granulometría 0/10 y de 6.5% para las muestras de granulometría 0/20.

En la Figura 3, se observa la relación de vacíos en función de la energía de compactación para las dos curvas granulométricas estudiadas, determinándose que para la energía de compactación de las muestras con granulometría 0/10, existe un comportamiento en forma de campana, iniciando con un valor huecos de 4.59 para 50 golpes de energía, llegando a un valor máximo de huecos de 5.24 para la muestra con 75 golpes y descendiendo hasta obtener un valor de 4.19 para la energía de 105 golpes. Para las muestras con granulometría 0/20, el comportamiento es diferente, iniciando con un valor máximo de huecos de 6.41 para 50 golpes y descendiendo en la medida que se impartía mayor cantidad de energía de compactación, llegando a valor mínimo de 4.88 para 105 golpes.

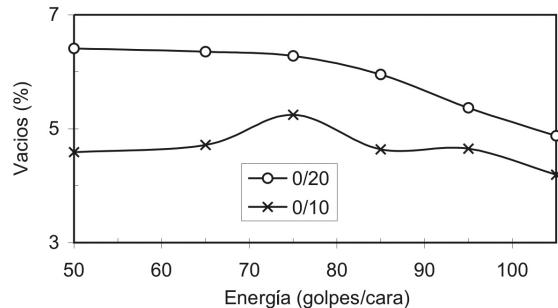


Figura 3. Vacíos en función de la energía de compactación

Con el óptimo de asfalto determinado por el método Marshall, se fabricaron y ejecutaron los ensayos de módulos dinámicos para las mezclas con granulometría 0/10 cuyos resultados aparecen en las Figuras 4, 5, y 6.

De la Figura 4, se puede analizar que en la medida que se incrementa la energía de compactación de la muestra, ésta comienza a tener un mayor módulo dinámico, alcanzando un máximo y luego descendiendo. Para el caso de la muestra con granulometría 0/10, frecuencia de 10 Hz y temperatura de ensayo de 15°, 20° y 30° C, el valor máximo corresponde a una energía de 85 golpes/cara, sin embargo, un aumento en la energía, generaría un cambio en el módulo dinámico, razón por la cual se podría pensar que el rango óptimo de energía de compactación es el que se encuentra entre los 65 y 80 golpes/cara, el cual no crearía cambios significativos en el módulo dinámico, variable principal en el diseño de estructuras de pavimento.

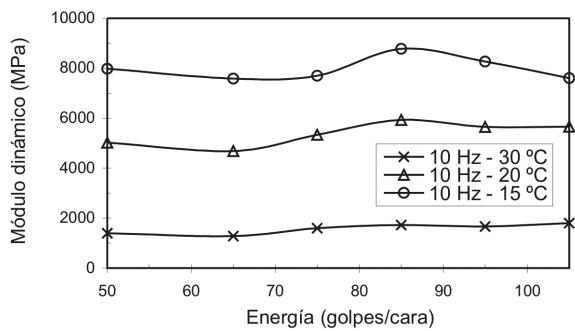


Figura 4. Módulo dinámico, granulometría 0/10

En la Figura 5 se realiza el mismo análisis, encontrando el máximo módulo a una energía de compactación entre 85 y 95 golpes/cara, pero con el riesgo que al utilizar esta energía, el tránsito pueda compactar un poco más la mezcla y el valor del módulo sería notóblemente reducido, afectando directamente el comportamiento de estructura de pavimento. Por esta razón, el rango óptimo de energía está entre 65 y 75 golpes/cara.

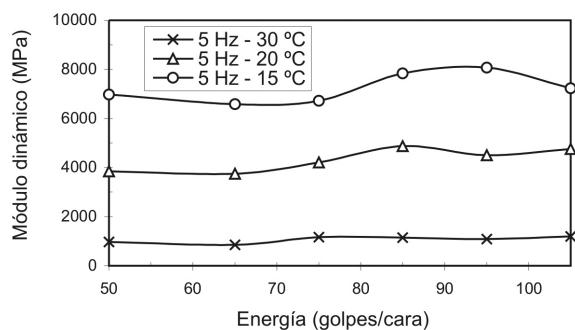


Figura 5. Módulo dinámico, granulometría 0/10

Para las muestras ensayadas a 2.5 Hz, Figura 6, se encontró un comportamiento más homogéneo del módulo dinámico con respecto a las muestras ensayadas a las frecuencias anteriores de 10 Hz y 5 Hz. Se determina que a ésta frecuencia la energía de compactación correspondiente a 75 golpes es la más indicada.

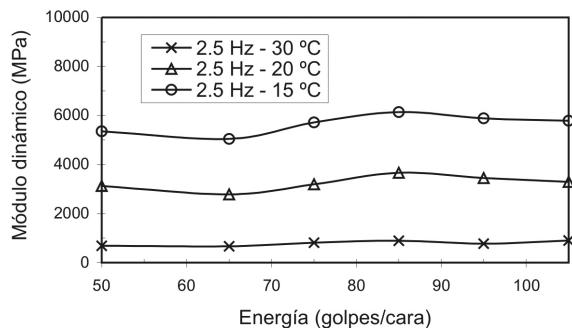


Figura 6. Módulo dinámico, granulometría 0/10

Para la granulometría 0/20, mezcla abierta, se hace el análisis del efecto de la energía de compactación en los ensayos de módulo dinámico y ahuellamiento. (Figuras 7, 8 y 9).

De las Figuras 7, 8 y 9, se observa que para los ensayos de módulos dinámicos realizados a 30° y a diferentes frecuencias (10, 5 y 2.5 Hz), la variación del módulo dinámico no depende en forma significativa de la energía de compactación. De otra parte, para los ensayos de módulos dinámicos realizados a 15° y una frecuencia de 10 Hz, la energía de compactación que crea un máximo valor es la de 75 golpes por cara. Por último, para los ensayos de 5 y 2.5 Hz y a las diferentes temperaturas (15°, 20° y 30°), la energía de compactación que genera valores máximos en el módulo dinámico es a una energía de compactación de 65 golpes por cara.

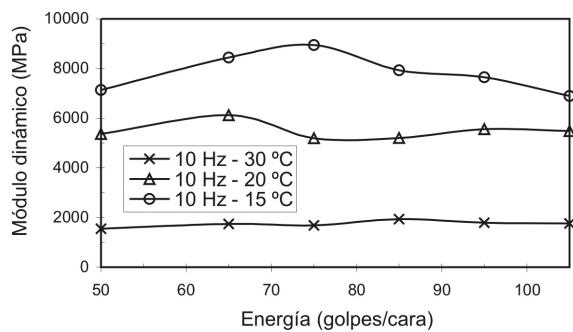


Figura 7. Módulo dinámico, granulometría 0/20

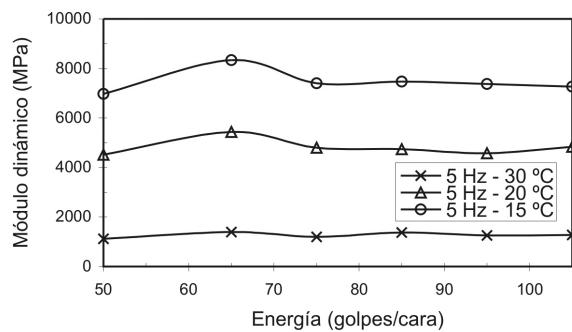


Figura 8. Módulo dinámico, granulometría 0/20

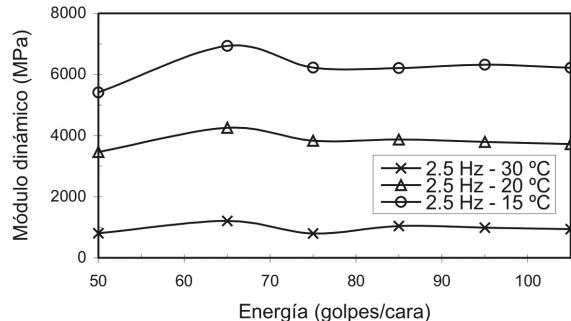


Figura 9. Módulo dinámico, granulometría 0/20

Para determinar la influencia de la energía de compactación sobre las propiedades de la mezcla asfáltica no solo es necesario el análisis del módulo dinámico, sino que también es importante tener como referencia el ensayo de deformación permanente.

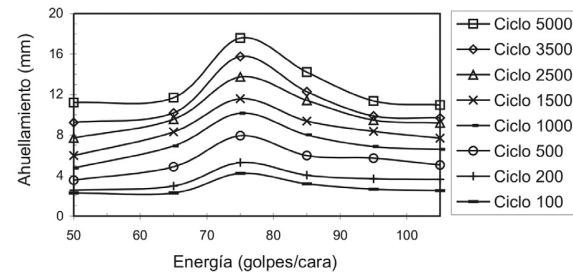


Figura 10. Ahuellamiento, granulometría 0/10

Con los resultados de ahuellamiento en las mezclas con granulometría 0/10, se observa en la Figura 10 que para la energía de 75 golpes se presenta la mayor deformación permanente, mientras que para las demás energías la deformación es menor, mostrándose valores mínimos a niveles de energía altos y bajos.

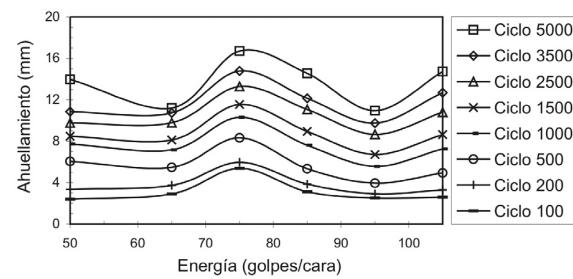


Figura 11. Ahuellamiento, granulometría 0/20

Por el contrario, para la mezcla con granulometría 0/20, se encuentra que la mayor deformación permanente de la mezcla corresponde a la energía de 50, 75 y 105 golpes/cara. El comportamiento de esta mezcla es totalmente diferente a la mezcla con granulometría 0/10, en ésta, se presentan dos puntos de inflexión donde el ahuellamiento es menor y corresponde a una energía de 65 y 95 golpes/cara. De lo anterior, se puede concluir que debido al tamaño de los granulares de ésta mezcla, las energías de compactación afectan directamente y en forma aleatoria la deformación permanente.

#### IV. CONCLUSIONES

Con ésta investigación se pudo determinar que el comportamiento de las propiedades dinámicas de las mezclas asfálticas si dependen de la energía de compactación de la mezcla y de la granulometría que se utilice, determinándose, que no necesariamente a mayor energía de compactación, la muestra presenta mayor resistencia al módulo dinámico y menor deformación en el ensayo de ahuellamiento.

En las dos granulometrías estudiadas se observó que los valores máximos de módulo dinámico se encuentran en sitios muy específicos, pero un cambio leve en la energía de compactación, hace que la resistencia en oportunidades decaiga en más de un 15%, generando daños prematuros en la estructura si se diseña con estos valores. Por esta razón se determina claramente que la mezcla asfáltica se debe compactar a una energía inferior a la que le da a la mezcla los valores máximos de módulo dinámico y menor deformación permanente.

También es importante mencionar que a mayor energía de compactación no necesariamente se incrementa la resistencia de la mezcla, si no que por el contrario, se perjudica sus propiedades dinámicas.

Por último, determinar una energía de compactación adecuada, generará una disminución de costos en este proceso durante la construcción de una estructura de pavimento.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Los autores del artículo agradecen a la Universidad Militar Nueva Granada, especialmente al proyecto de investigación ING-2004-003 por la ayuda recibida en la financiación y ejecución de la investigación y al laboratorio de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana por la colaboración en la realización de algunos ensayos de laboratorio.

#### VI. REFERENCIAS

- [1] American Society State Highway and transportation Officials standards (2000) "Annual book of American Society for testing and materials".
- [2] CABRERA AGÁMEZ, Elizabeth B.(1998) Estudio de la Variación del Módulo Dinámico y la Ley de Fatiga en Función de la Densidad de las Mezclas Asfálticas. Tesis de maestría. Universidad de Los Andes.
- [3] CARO ESPINEL, Silvia y CAICEDO HORMAZA, Bernardo. (2002) Modelación del Ahueamiento en Mezclas Asfálticas. Memorias.

Terceras Jornadas Internacionales del Asfalto.  
Popayán, Colombia:

[4] GARNIZA ANGUAS, Paul, GOMEZ LOPEZ, Jóse y DELGADO Horacio. (2002) Algunos aspectos de la densificación de mezclas asfálticas con el compactador giratorio. Publicación técnica # 228. Secretaría de comunicaciones y transportes.

[5] IDU. (2005) Informe del sistema vial de Bogotá .2004. [www.idu.gov.co](http://www.idu.gov.co)

[6] IDU-UNIANDES.(2004) Reglamento técnico vial para Bogotá – RSV-2002. Legis.

[7] INVIA. (1998) Instituto Nacional de Vias. Normas de ensayos de construcción. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

[8] MEDINA Santiago y LEAL Carlos.(2002) Densificación de mezclas asfálticas. Proyecto de grado. Universidad Militar Nueva Granada.

[9] NIETO LEAL, Andrés. (2004) Cambios en las Propiedades Dinámicas de una mezcla asfáltica por densificación y variación en la granulometría. Universidad Militar Nueva Granada. Trabajo de Grado.

[10] REYES ORTIZ, Oscar (2005) Cambios en las propiedades dinámicas de una mezcla asfáltica por la densificación y variación de la granulometría. XVI Simposio de ingeniería de pavimentos. Universidad Javeriana. Melgar – Colombia.

[11] SANCHEZ-LEAL, Fredy. (2003) Metodología racional para el análisis de densificación y resistencia de geomateriales compactados. XIV

Simposio colombiano sobre ingeniería de pavimentos. Popayán-Colombia.

[12] THENOUX Z., Guillermo y CARRILLO O., Héctor. (2000) Análisis de Casos de ahuellamiento en Mezclas Asfálticas Chilenas. [http://www.udc.cl/~provial/trabajos\\_pdf/16GmoThenouxAhuellamiento.pdf](http://www.udc.cl/~provial/trabajos_pdf/16GmoThenouxAhuellamiento.pdf).