

**ESTUDIO DE LOS DESPRENDIMIENTOS EN LA SUPERFICIE DE LAS
CAPAS DE RODADURA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

MARIA ALEJANDRA GRANADOS CASTILLO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO - MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2009

**ESTUDIO DE LOS DESPRENDIMIENTOS EN LA SUPERFICIE DE LAS
CAPAS DE RODADURA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

MARIA ALEJANDRA GRANADOS CASTILLO

**Proyecto de grado para optar al título de
Ingeniera Civil**

Director

**EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZON
Ingeniero civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO - MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2009

*A Dios, por bendecirme y guiarme por el camino
que me ha llevado al logro de esta meta.*

*A mis padres, por su apoyo incondicional que ha
hecho posible mi formación como persona, por
dedicarme toda su vida, y por enseñarme a hacer
de los pequeños obstáculos grandes victorias.*

*A mi tío, por brindarme su apoyo incondicional
para salir adelante y cumplir mis metas
y por regalarme los medios para lograrlo.*

*A mi madrina Juanita por brindarme su
apoyo incondicional y los medios para cumplir
mis metas.*

*A mi hermano, por ser una imagen de empeño y
dedicación para salir adelante en todo lo que
me propongo.*

*A Kike, tu apoyo incondicional, tu amor y alegría que
me acompañaron durante todo este ciclo y me hicieron
salir adelante en todos los momentos difíciles.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco la colaboración recibida de todos aquellos que hicieron posible la realización de este proyecto y en especial:

A La Escuela de Ingeniería Civil de La Universidad Industrial de Santander por haberme brindado durante 5 años y medio una excelente formación académica, profesional y personal.

Al profesor Eduardo Alberto Castañeda Pinzón por haber depositado su confianza en mí para la realización de este proyecto, por su constante apoyo y asesoría.

A todos los profesores de la Escuela de Ingeniería Civil por haber contribuido en mi formación como profesional íntegro.

A ASFALTART, por brindarme su apoyo total para la realización de este proyecto.

A Nora Quiroz de Barrera, Física de la Universidad Industrial de Santander, por su colaboración en el proceso analítico, físico y mecánico de la prueba de laboratorio.

A Kike Pedroza, por su colaboración en el desarrollo de la pruebas de laboratorio.

A consorcio INCA, por facilitarme un registro fotográfico de la problemática a investigar.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	1
JUSTIFICACION.....	3
OBJETIVOS.....	4
GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	4
1. MARCO TEORICO.....	5
1.1 PAVIMENTO FLEXIBLE.....	5
1.2 LA MEZCLA ASFALTICA.....	6
1.2.1 Componentes de la mezcla.....	6
2. DESPRENDIMIENTOS EN LA CAPA DE RODADURA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	10
2.1 PERDIDA DE AGREGADOS (PA).....	11
3. ENSAYO DE LABORATORIO PARA SIMULAR EL DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS EN LA CAPA DE RODADURA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CAUSADO POR CARGAS DE CAMIONES.....	15
3.1. DISEÑO DE LA PRUEBA DE LABORATORIO Y ELABORACION DE LOS ESPECIMENES.....	15
3.1.1 Características del caucho.....	18
3.1.2 Determinación de la velocidad y la fuerza de impacto generada por el péndulo sobre los especímenes.....	18
3.2. ELABORACION DE LOS ESPECIMENES A ENSAYAR.....	22
3.2.1 Métodos de compactación.....	28
3.2.1.1 Método Marshall.....	29

3.2.2 Influencia del método de compactación en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas (en laboratorio).....	30
3.2.2.1 Análisis de la influencia del método de compactación, en laboratorio, en el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas.	31
3.3.3 Elaboración de los especímenes por medio del método Marshall INV E 748 – 07.....	33
4. EJECUCION Y ANALISIS DEL ENSAYO PARA SIMULAR LA PÉRDIDA DE MATERIAL EN LA CAPA DE RODADURA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, CAUSADA POR CARGAS DE VEHICULOS PESADOS.....	40
CONCLUSIONES	46
RECOMENDACIONES Y LINEAMIENTOS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
ANEXOS.....	51

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de un pavimento flexible.....	5
Figura 2. Pérdida de Agregado.....	12
Figura 3. Pérdida de agregados.....	12
Figura 4. Evolución de la pérdida de agregado en pavimentos flexibles.....	13
Figura 5. Maquina de Impacto.....	16
Figura 6. Adaptación del caucho al péndulo.....	17
Figura 7. Adaptación de molde para ubicación de las probetas.....	17
Figura 8. Modelo del péndulo para calcular su centro de masa.....	19
Figura 9. Modelo del péndulo para calcular el momento de inercia.....	20
Figura 10. Tamizadora de agregados.....	24
Figura 11. Agregados.....	25
Figura 12. Ensayo de penetración, Calentamiento del Asfalto.....	26
Figura 13. Moldes de Asfalto, Enfriados al aire.....	27
Figura 14. Moldes de Asfalto, Sumergidos en Agua.....	27
Figura 15. Ensayo de Penetración.....	28
Figura 16. Equipo de compactación Marshall.....	30
Figura 17. Calentamiento del molde.....	34
Figura 18. Determinación de las temperaturas optimas de mezclado y compactación (curva reológica).....	35
Figura 19. Calentamiento del asfalto en horno.....	36
Figura 20. Calentamiento de los agregados en horno.....	37

Figura 21. Compactación Marshall.....	39
Figura 22. Altura de ubicación de la probeta.....	40
Figura 23. Probetas de 3.0% de contenido de asfalto luego de realizada la prueba.	42
Figura 24. Probetas de 6.0% de contenido de asfalto luego de realizada la prueba	43
Figura 25. Probetas ensayadas.	45
Figura 26. Desgaste del caucho que simula la llanta de camión, luego de la realización de la prueba.	45

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ensayos normalizados para agregados en mezclas asfálticas.....	7
Tabla 2. Ensayos normalizados para asfaltos en mezclas asfálticas.	9
Tabla 3. Franja Granulométrica para MDC-2.	24
Tabla 4. Criterios de diseño de la mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall.....	39
Tabla 5. Resultados obtenidos con las probetas de 3.0% de cantidad de asfalto 80-100.	41
Tabla 6. Resultados obtenidos con las probetas de 6.0% de cantidad de asfalto 60-70.	42
Tabla 7. Resultados obtenidos con las probetas con asfalto 60-70.....	44
Tabla 8. Resultados obtenidos con las probetas con asfalto 80-100.....	44

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS QUE COMPONEN LA MEZCLA ASFALTICA	52
ANEXO B. NORMA DEL ENSAYO PARA SIMULAR LA PÉRDIDA DE AGREGADOS EN LA CAPA DE RODADURA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A CAUSA DE CARGAS DE VEHICULOS PESADOS	56

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DE LOS DESPRENDIMIENTOS EN LA SUPERFICIE DE LAS CAPAS DE RODADURA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES*

AUTOR: MARIA ALEJANDRA GRANADOS CASTILLO**

PALABRAS CLAVES: Perdida de agregados, pavimento flexible, capa de rodadura, rozamiento, frenado.

Este proyecto busca sentar un precedente preliminar para el estudio y análisis en el laboratorio acerca de la pérdida de agregados en la capa de rodadura generada por cargas de vehículos pesados, y establecer su relación con la cantidad y tipo de asfalto de elaboración del pavimento. Para el desarrollo de la investigación, se diseñó una prueba de laboratorio, en la que se ensayaron cuatro tipos de probetas de tal forma que se obtuviera una muestra representativa del fenómeno, con el propósito de obtener resultados que permitan relacionar el desprendimiento de material en la capa superficial de pavimentos flexibles con la cantidad y tipo de asfalto.

El análisis de los resultados se realizó en tres etapas: probetas elaboradas con 3.0% de asfalto 80-100, probetas elaboradas con 6.0% de asfalto 60-70 y probetas elaboradas con cantidades de 4.5%, 5.0% y 5.5% de asfalto 80-100 y 60-70 respectivamente. En la primera etapa y en la segunda, se determinó que la prueba diseñada hace diferencia en cuanto a la cantidad de asfalto de elaboración de las probetas ya que el desprendimiento de material fue mayor en las probetas elaboradas con menor cantidad de asfalto. De otro lado la tercera fase consistió en determinar la influencia del tipo de asfalto sobre el desprendimiento de material, con lo cual se pudo observar que las probetas elaboradas con asfalto 60-70 presentaron una mayor resistencia, evidenciándose una menor pérdida de agregado.

Finalmente con este estudio, se obtienen valiosas bases para futuras investigaciones acerca de la pérdida de material en pavimentos flexibles causada por el paso de vehículos pesados, especialmente en el momento de frenado.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Dirigido por Eduardo Alberto Castañeda Pinzón

ABSTRACT

TITLE: A STUDY OF THE DETACHMENTS IN THE SURFACE OF THE COURSE LAYERS IN FLEXIBLE ASPHALTS

AUTHOR: MARÍA ALEJANDRA GRANADOS CASTILLO

KEY WORDS: Add-ons lost, flexible pavements, course layer, friction, breaking.

This Project aims at setting a preliminary starting point for the study and laboratory analysis of the lost of add-ons in the course layer generated by HGV, and establishing its relationship with the amount and asphalt type it is made of. To carry out this research, a laboratory test was designed, in which four types of tests tubes were tried out in such a way that a representative sample of the phenomenon was obtained. With the purpose of obtaining results that allow relating the material detachment in the superficial layer of flexible layers with the amount and type of asphalt.

The analysis of results was done in three stages: Tests tubes were elaborated with a 3.0% of 80-100 asphalt, test tubes elaborated with a 6.0% of asphalt 60 – 70 and test tubes elaborated with a 4.5%, 5.0% and 5.5% of 80 – 100 and 60 - 70 asphalt respectively. In the first and second stage, it was determined that the designed test makes the difference regarding the amount of asphalt used to elaborate the test tubes due to the higher detached material that was in the test tubes elaborated with less asphalt. On the other hand, the third phase consisted in determining the influence in the type of asphalt over the detached material, in which we could observe that the elaborated test tubes with asphalt 60 – 70 presented a higher resistance, evidencing a lower lost of add-ons.

Finally with this study, priceless foundations for future research about the lost of material in flexible pavements caused by the traffic of HGV were obtained, particularly in the breaking moment.

* Graduation Project.

** Physical – Mechanics Engineering Faculty. Civil Engineering School. Advised by Eduardo Alberto Castañeda Pinzón

INTRODUCCION

El desprendimiento de material de la capa de rodadura puede tener varios orígenes como son: problemas de adherencia entre los agregados y el asfalto, uso de agregados contaminados, agregados muy absorbentes, lluvia durante la aplicación o el fraguado del ligante asfáltico, endurecimiento significativo del asfalto y deficiencia de compactación en la capa asfáltica, entre otros. Los daños a los que puede llegar el pavimento pueden ser mayores si no son tratados a tiempo estos desprendimientos.

Este proyecto se centra en la pérdida de agregados de la capa de rodadura, más conocido como desprendimiento de agregados pétreos en superficie, que corresponde a la disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos.

De lo anterior, como objetivo de esta investigación surge la necesidad de hacer un estudio de los desprendimientos en la superficie de la capa de rodadura de pavimentos flexibles, con el fin de diseñar un ensayo de laboratorio que permita simular la pérdida de material causada por cargas de vehículos pesados.

La investigación se desarrolla a lo largo de los 4 capítulos de este libro, incluyendo cada una de las etapas necesarias para llegar a concluir acerca de la investigación. En el capítulo 1 se abordan fundamentos teóricos necesarios para profundizar en el tema central de la investigación; como la definición y componentes de: pavimento flexible y mezcla asfáltica; y los

ensayos normalizados para agregados y asfaltos en mezclas asfálticas. El Capítulo 2 contiene varios de los daños originados por la pérdida de material en la capa asfáltica de pavimentos flexibles como: desprendimientos, desprendimiento de sello, baches y la pérdida de agregados; este último como tema central de la investigación y en el cual se ahonda en este capítulo. En el capítulo 3 se diseña el ensayo de laboratorio, se mencionan los diferentes métodos de compactación para elaboración de los especímenes, haciendo un análisis de la influencia del método de compactación “en laboratorio” en el comportamiento de las mezclas asfálticas, y se especifican los pasos y normas técnicas para la elaboración de los especímenes. Finalmente en el capítulo 4 se describen los resultados obtenidos.

JUSTIFICACION

El deterioro de la red vial observado en puntos singulares de la red de carreteras, genera necesidades crecientes en materia de trabajos de mantenimiento y de reparación de pavimentos.

Uno de estos deterioros observados es la degradación superficial de las capas de rodamiento en los pavimentos flexibles, debido al rozamiento entre los neumáticos de vehículos pesados y superficie del pavimento, La magnitud de esta degradación depende de muchos parámetros, incluida la geometría de la carretera, el tipo de eje, la naturaleza y la aparición de materiales en contacto con la superficie (banda de rodadura del neumático y la calzada) y el clima.

Debido a que dentro de las pruebas existentes para diseño y evaluación de pavimentos no existe ninguna que permita ver este tipo de deterioro en la red vial se hace necesario diseñar una prueba de laboratorio en la cual se represente el problema y se logre llegar a una solución para el desprendimiento en la superficie de la capa asfáltica de rodadura en pavimentos flexibles.

OBJETIVOS

GENERAL

Diseñar una prueba de laboratorio que permita simular el desprendimiento de agregados de la capa de rodadura en pavimentos flexibles bajo cargas de camiones.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

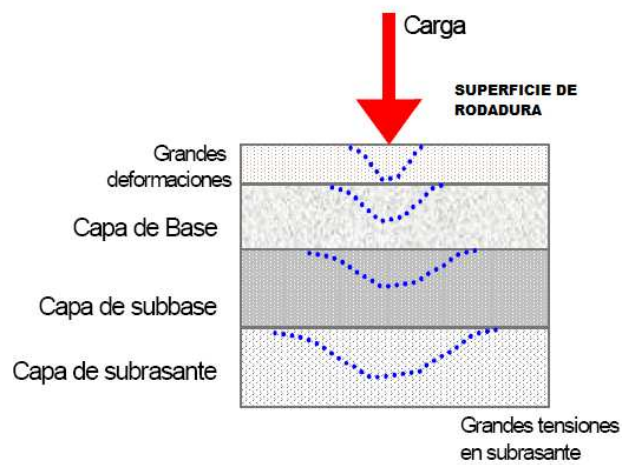
- Determinar la influencia del contenido de asfalto de la capa de rodadura en la susceptibilidad a sufrir desprendimiento.
- Diseñar una prueba de laboratorio que permita estudiar el problema de desprendimiento en la superficie de la capa de rodadura en pavimentos flexibles.

1. MARCO TEORICO

1.1 PAVIMENTO FLEXIBLE

La estructura de pavimento flexible está compuesta por varias capas de material, las capas son generalmente dispuestas en orden descendente de capacidad de carga, así mismo la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante¹.

Figura 1. Diagrama de un pavimento flexible.



Fuente: Manual centroamericano para diseño de pavimentos, 2002.

¹ CORONADO ITURBIDE Jorge. Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos. Guatemala, 2002. Capítulo 5. p.1

1.2 LA MEZCLA ASFALTICA

La mezcla asfáltica es un material compuesto principalmente por un cemento asfáltico que puede ser de origen natural o modificado, actuando como agente ligante y cuya función principal es la de aglutinar las partículas en una masa cohesiva; y, un agregado mineral el cual es encargado de proporcionar un armazón pétreo capaz de aportar resistencia y rigidez al sistema.

Al conformarse la unión agregado-asfalto el comportamiento de la mezcla va a estar afectada por las propiedades individuales de cada componente y su interacción dentro del sistema.

1.2.1 Componentes de la mezcla. La mezcla asfáltica está compuesta por dos componentes que son: el agregado mineral y el asfalto lo cuales deben cumplir una serie de especificaciones técnicas y normativas.

1.2.1.1 El Agregado Mineral. El agregado mineral según las normas INVIAS debe cumplir con una serie de especificaciones técnicas, (ver tabla 1.)

Tabla 1. Ensayos normalizados para agregados en mezclas asfálticas.

ENSAYO	NORMA INV	VALORES SUGERIDOS
Para agregado grueso y arenas		
Partículas fracturadas	E – 227	≥ 75 %
Desgaste a la abrasión	E – 218	≤ 30 %
Solidez	E – 220	≤ 12 %
Índice de alargamiento e índice de aplanamiento	E – 230	≤ 35 %
Filler, llenante mineral o pasa 200		
Peso unitario aparente	E – 225	0,5 a 0,8 g/cm ³
Coefficiente de emulsibilidad	E – 776	≤ 0,6
Equivalente de arena	E – 133	≥ 50 %

Fuente: Normas Instituto Nacional de Vías, 1996.

1.2.1.2 El Asfalto. El asfalto es un producto directo de la destilación del petróleo crudo, ya sea realizada de forma natural o industrial. Es definido como un material de color oscuro, que puede presentar consistencia líquida, semisólida o sólida. Su más importante característica es su susceptibilidad térmica, esto es que sus propiedades medibles dependen principalmente de la temperatura.

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes.

En la construcción de pavimentos cumple funciones como:

- ✓ *Impermeabilizar la estructura de pavimento*, haciéndolo sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- ✓ *Desarrolla una íntima cohesión entre los agregados de la mezcla*, capaz de resistir la acción mecánica de la disgregación producida por las cargas de tránsito, igualmente mejora la capacidad portante de la estructura.

- **Tipos de Ligantes Asfálticos.** Existen diferentes tipos de ligantes asfálticos que son empleados en los pavimentos flexibles, entre los cuales están:

→ Cementos Asfálticos.

→ Asfaltos Líquidos. Emulsiones Asfálticas.

→ Asfaltos Modificados.

Tabla 2. Ensayos normalizados para asfaltos en mezclas asfálticas.

ENSAYO	NORMA INVIAS
Penetración de los materiales asfálticos	E - 706
Viscosidad saybolt de asfaltos	E - 714
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos	E - 712
Ductilidad de los materiales asfálticos	E - 702
Punto de Ignición y llama mediante la copa abierta Cleveland	E - 709
Ensayo al horno de lamina asfáltica delgada	E - 721
Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno	E - 713

Fuente: Normas Instituto Nacional de Vías, 1996.

2. DESPRENDIMIENTOS EN LA CAPA DE RODADURA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Pueden ser muchas las causas que generen desprendimiento de agregados de la capa de rodadura y pueden ser muchos los efectos a lo que esto puede conllevar.

Todo este tipo de daños son conocidos como daños superficiales, ya que suceden en la capa expuesta del pavimento y sus efectos son fácilmente visibles e identificables.

Dentro de este tipo de daños superficiales encontramos daños como:

- Pérdida de Agregados
- Desprendimientos
- Desprendimiento de sello
- Baches

Todos estos daños son causados o generan, desprendimiento de material de la capa de rodadura ya sea de agregados, de asfalto o de ambos, para este tipo de investigación el daño que más interesa es el de Pérdida de Agregados, por lo cual en este tipo de daño se profundiza.

2.1 PERDIDA DE AGREGADOS (PA).

Definición: Más conocido como desprendimiento de agregados pétreos en superficie, corresponde a la disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos. Este tipo de daño es común en tratamientos superficiales, caso en el que pueden aparecer estrías en la dirección del riego y debe ser reportado como surcos².

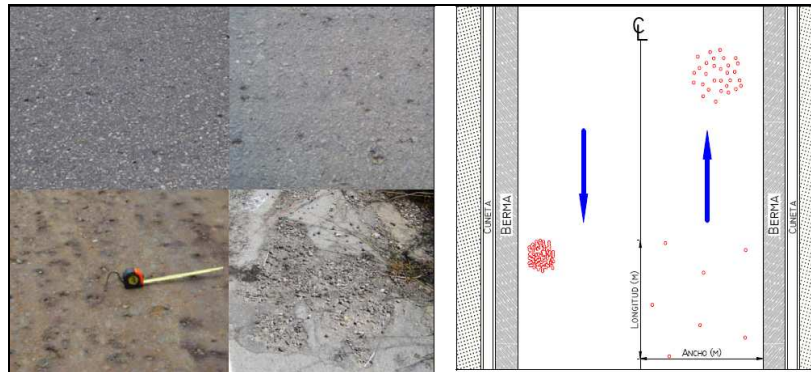
Causas:

- Problemas de adherencia entre agregado y asfalto.
- Uso de agregados contaminados con finos o agregados muy absorbentes.
- Lluvia durante la aplicación o el fraguado del ligante asfáltico.
- Endurecimiento significativo del asfalto.
- Deficiencia de compactación de la carpeta asfáltica.
- Contaminación de la capa de rodadura con aceite, gasolina y otro³.

² INVIAS. Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles. Bogotá D.C, 2006. Capítulo 1. P. 18

³ M5.1 Catalogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles. VIÑA DEL MAR, 2002. Capítulo 2. P.5

Figura 2. Pérdida de Agregado.



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles, 2006.

Figura 3. Pérdida de agregados.



Fuente: Consorcio INCA.

Figura 4. Evolución de la pérdida de agregado en pavimentos flexibles.



Nivel de severidad:

- Baja: Los agregados gruesos han comenzado a desprenderse y se observan pequeños huecos cuya separación es mayor a 0.15 m.
- Media: Existe un mayor desprendimiento de agregados, con separaciones entre 0.05 m y 0.15 m.
- Alta: Existe desprendimiento extensivo de agregados finos y gruesos con separaciones menores a 0.05 m, haciendo la superficie muy rugosa y se observan agregados sueltos⁴.

Unidad de medición: Se registra el área afectada de acuerdo con la severidad predominante, en metros cuadrados (m²).

Alternativas de tratamiento:

- ✓ **Baja:** Tratamiento aislado en mantenimiento rutinario.
- ✓ **Medio:** Reposición del material perdido y tratamiento superficial, en mantenimiento periódico.
- ✓ **Alta:** Sobre capa asfáltica > a 5cm⁵.

Evolución probable: Descascaramientos, aumento de la permeabilidad de la estructura y exudación.

⁴ INVIAS. Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles. Bogotá D.C, 2006. Capitulo 1. P. 18

⁵ M5.1 Catalogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles. VIÑA DEL MAR, 2002. Capitulo 2. P.5

3. ENSAYO DE LABORATORIO PARA SIMULAR EL DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS EN LA CAPA DE RODADURA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CAUSADO POR CARGAS DE CAMIONES.

Debido a la problemática presentada en varias vías de la red de carreteras, por desprendimientos en la capa de rodadura a causa de las cargas de camiones, se hace necesario elaborar una prueba de laboratorio que permita simular este fenómeno y ayude a buscar soluciones.

3.1. DISEÑO DE LA PRUEBA DE LABORATORIO Y ELABORACION DE LOS ESPECIMENES.

Para el diseño de la prueba de laboratorio se identificó el problema y se ideó la forma de simularlo en laboratorio de una manera general; con el propósito de identificar si una variable como la cantidad de asfalto genera un aumento o disminución en los desprendimientos de la capa de rodadura.

De acuerdo a la maquinaria presente en el laboratorio de pavimentos de la UIS, se encontró que la más apropiada para ser la utilizada en esta prueba fue la máquina Péndulo de Impacto para metales.

Figura 5. Maquina de Impacto.



Esta máquina al ser pendular permite asemejar de una manera muy cercana el efecto de una llanta de camión, por lo cual el péndulo fue cubierto con un caucho de llanta de camión (ver figura 6), y se adaptó a la maquina una formaleta (ver figura 7) que permitió mantener en una posición (altura y ubicación) determinada las probetas de mezcla asfáltica, para que estas fueran impactadas de una manera brusca durante 10 veces, con esto se obtuvo un cercano comportamiento llanta – capa de rodadura, que nos permitió ver el efecto de rozamiento que genera la llanta de un camión sobre la capa de rodadura, causando desprendimiento de agregados de la mezcla asfáltica.

Figura 6. Adaptación del caucho al péndulo.

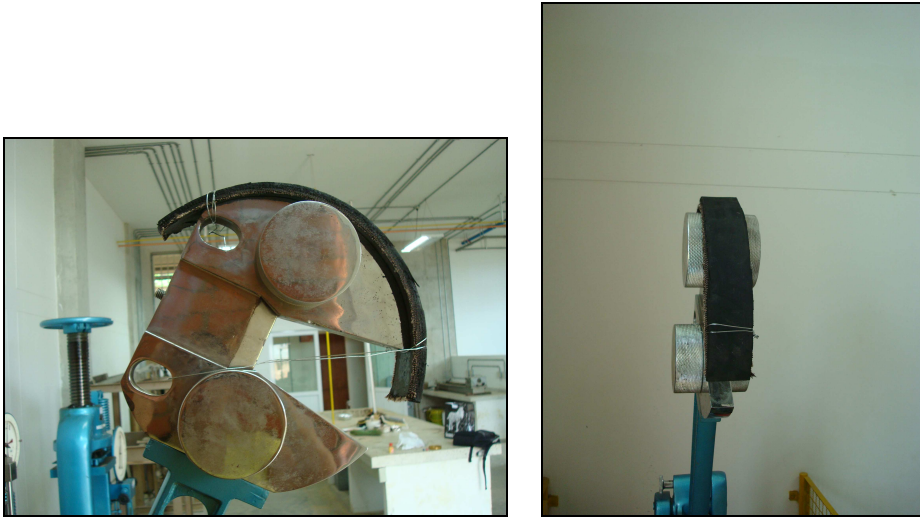
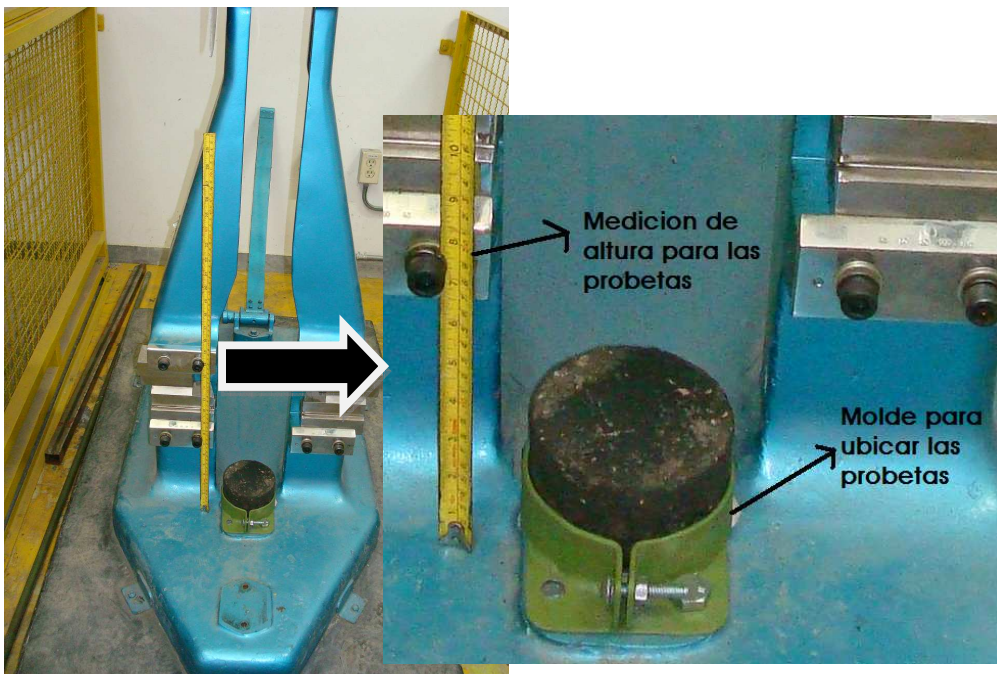


Figura 7. Adaptación de molde para ubicación de las probetas.



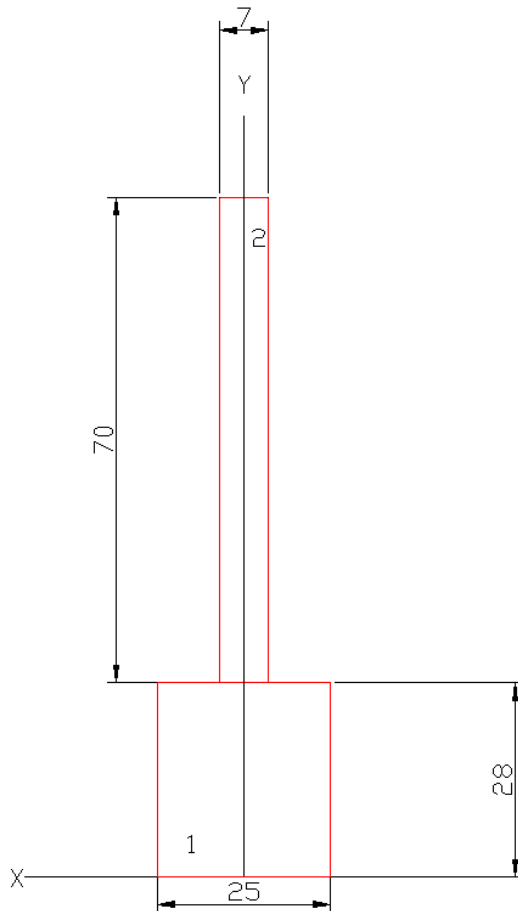
3.1.1 Características del caucho. El caucho usado para la realización de la prueba presentó las siguientes características:

- Caucho de llanta de camión reforzado con un tejido de acero, que le proporciona mayor rigidez para contener el aire y flexibilidad para amortiguar irregularidades.
- Caucho sin labrado para mayor facilidad de reposición en el momento en que este se desgastara a causa del impacto.

3.1.2 Determinación de la velocidad y la fuerza de impacto generada por el péndulo sobre los especímenes. Esta fuerza se determina usando la mecánica para cuerpos sólidos, ya que el péndulo es clasificado como un péndulo compuesto debido a que el vástago tiene una forma y un peso que no lo hace ser despreciable como en el caso de un péndulo simple.

Para facilidad de cálculo del centro de masa se idealizó el péndulo como se muestra en la figura 8.

Figura 8. Modelo del péndulo para calcular su centro de masa.



$$M1 = 19.145 \text{ Kg}$$

$$M2 = 2.08 \text{ Kg}$$

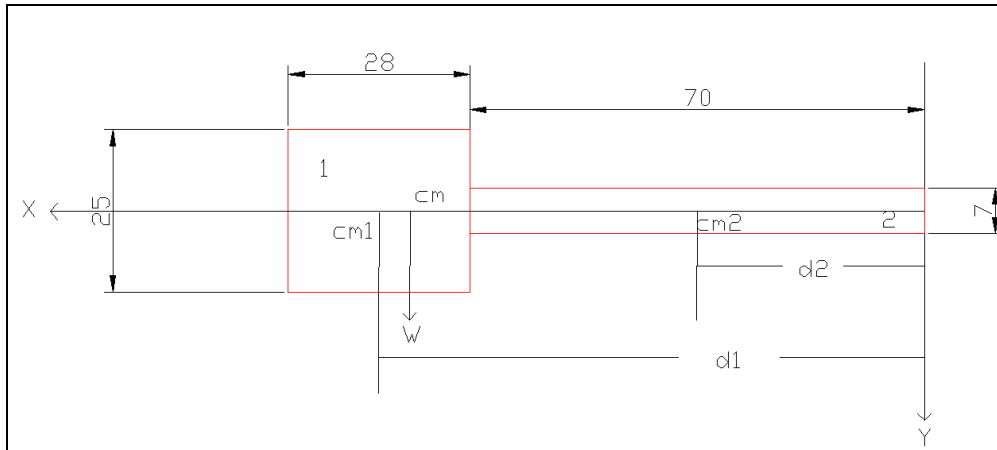
Distancias tomadas en cm

$$\bar{X}_{cm} = 0$$

$$\bar{Y}_{cm} = \frac{y_1 M_1 + y_2 M_2}{M_1 + M_2} = \frac{(0.14 \times 19.145) + (0.63 \times 2.08)}{19.145 + 2.08} = 0.188 \text{ m} = 18.80 \text{ cm}$$

Para el cálculo del momento de inercia se ubicaron los ejes así como muestra la figura 9.

Figura 9. Modelo del péndulo para calcular el momento de inercia.



$$I_1 = \frac{1}{12} M1 (0.28^2 + 0.25^2) = \frac{1}{12} 19.145 (0.28^2 + 0.25^2) = 0.224 Kg m^2$$

$$I_2 = \frac{1}{12} M2 (0.70^2) = \frac{1}{12} 2.08 (0.70^2) = 0.0849 Kg m^2$$

$$I_T = I_1' + I_2'$$

$$I_1' = I_1 + M1 * d1^2, d1 = 0.84 m.$$

$$I_2' = I_2 + M2 * d2^2, d2 = 0.35 m.$$

$$I_T = [0.224 + (19.145 * 0.84)] + [0.0849 + (2.08 * 0.35^2)]$$

$$I_T = 14.072 Kg m^2$$

$$mgh = \frac{1}{2} IW^2$$

$$W = \sqrt{\frac{2M_T g H_{cm}}{I}} = \sqrt{\frac{2 * 21.22 * 9.81 * 1.614}{14.072}} = 6.71 rad/s$$

$$\vec{J} = \vec{r} \times \vec{P} = \vec{r} \times M\vec{v}, \text{ como } \vec{r} \perp \vec{v} \text{ y } \vec{r} \perp \vec{P}$$

$$J = rM_T v = h_o m (h_o W)$$

$$v = rW$$

$$v = h_o W$$

$$I_o = h_o^2 M_T \sqrt{\frac{2M_T g H_{cm}}{I}}$$

$$I_F = 0$$

$$\Delta J / \Delta t = \tau = F h_o$$

$$F = \frac{\tau}{h_o} = \frac{\Delta J}{\Delta t h_o} = \frac{h_o^2 M_T}{h_o} \sqrt{\frac{2M_T g H_{cm}}{I}}$$

$$F = \frac{h_o M_T \sqrt{\frac{2M_T g H_{cm}}{I}}}{\Delta t}, \quad h_o = 0.98 \text{ m}, \quad M_t = 21.22 \text{ Kg}, \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2,$$

$$H_{cm} = 1.614 \text{ m}.$$

$$F = \frac{0.98 * 21.22 \sqrt{\frac{2 * 21.22 * 9.81 * 1.614}{14.072}}}{0.125} = 1149.63 \text{ N}$$

3.2. ELABORACION DE LOS ESPECIMENES A ENSAYAR.

Las probetas fueron elaboradas de acuerdo al Art. 450 – 07 del manual de “Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras” basado en la norma E –748 – 07 de las “Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras” del INVIAS, por medio del Método de compactación Marshall ya que es al tipo de equipo de compactación que se tiene acceso en el laboratorio de pavimentos de la UIS.

A continuación se hace un breve resumen teórico y fotográfico, del proceso de elaboración de las probetas a ensayar en la prueba de laboratorio; para esto se elaboraron 4 tipos de probetas:

Probetas tipo 1: se realizaron dos probetas con 3% de asfalto 80-100* para representar la cantidad máxima de agregados que se pueden desprender.

Probetas tipo 2: se realizaron dos probetas con cantidad 6% de asfalto 60-70*. Para representar la cantidad mínima de agregados que se pueden desprender

Probetas tipo 3: Se realizaron 3 probetas con asfalto 60-70*, aumentando su cantidad de asfalto así: 4.5%, 5%, 5.5%.

Probetas tipo 4: Se realizaron 3 probetas con asfalto 80-100*, aumentando su cantidad de asfalto así: 4.5%, 5%, 5.5%.

* Índice de penetración de materiales asfálticos, INV E- 706 – 07.

Para cada probeta se necesitan 1.200 gr de ingredientes:

- Agregados.
- Asfalto.

✓ **Agregados Pétreos.**

La franja granulométrica utilizada para la elaboración de las probetas es la franja correspondiente a MDC-2 (mezclas densas en caliente tipo 2), ya que este tipo de mezcla es el más usado.

Franja granulométrica MDC-2:

Tamiz	%pasa
¾"	100
½"	80-95
3/8"	70-88
No. 4	49-65
No. 10	29-45
No. 40	14-25
No. 80	8-17
No. 200	4-8

Tabla 3. Franja Granulométrica para MDC-2.

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S. Standard)									
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		1½"	1"	¾"	½"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No.80	No.200
		% PASA									
Densa	MDC-1		100	80 - 95	67 - 85	60 - 77	43 - 59	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
	MDC-2			100	80 - 95	70 - 88	49 - 65	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
	MDC-3					100	65 - 87	43 - 61	16 - 29	9 - 19	5 - 10

Fuente: Art. 450 Especificaciones de construcción, INVIAS, 1996.

Figura 10. Tamizadora de agregados.



Figura 11. Agregados.



✓ **Asfalto**

Al asfalto se le realizó una prueba de penetración basado en INV E -706 -07 para clasificar el asfalto en 60 – 70 ó 80 – 100.

→ **Ensayo de Penetración:**

Temperatura de calentamiento del asfalto: Las temperaturas de calentamiento no excederán a las del Punto de Ablandamiento (norma INV E – 712, método de anillo y bola) de cada material en más de 90°C (195°F).

Tiempo de calentamiento: El tiempo total de calentamiento no excederá 30 minutos, evitándose la formación de burbujas de aire.

Figura 12. Ensayo de penetración, Calentamiento del Asfalto.



Se vierte el asfalto en los moldes y se dejan enfriar al aire a una temperatura entre 20° y 30° C, (68° y 86° F), por un periodo de 45 minutos aproximadamente.

Luego se sumergen los moldes con asfalto en un recipiente con agua pura por un periodo de 45 minutos aproximadamente.

Figura 13. Moldes de Asfalto, Enfriados al aire.



Figura 14. Moldes de Asfalto, Sumergidos en Agua.



Luego se procede a realizar el ensayo de penetración según lo especificado en la norma INV E-706-07 de las normas de ensayos para materiales.

Figura 15. Ensayo de Penetración.



Del ensayo de penetración se pudo clasificar el asfalto en 60 – 70 y 80 – 100, para esto se hicieron 3 penetraciones para cada molde de asfalto y se promediaron obteniendo así su clasificación.

3.2.1 Métodos de compactación.

- ✓ Método Marshall.
- ✓ Método Hveen.
- ✓ Compactador Giratorio de Texas.
- ✓ Método Superpave.

3.2.1.1 Método Marshall. Ha sido el método más usado para el diseño de mezclas asfálticas en caliente en el mundo. Fue desarrollado por Bruce Marshall alrededor de 1939 y posteriormente un empleado de Mississippi Highway Department depuró y adicionó ciertos aspectos a la propuesta de Marshall al punto que el ensayo fue normalizado como ASTM 1559.

El método Marshall es un experimento de laboratorio cuyo objetivo es el de determinar una adecuada mezcla asfáltica por medio del análisis de su estabilidad / flujo y densidad / vacíos. El método se caracteriza por que da una alta importancia a las propiedades densidad / vacío del material asfáltico, lo cual garantiza que las importantes proporciones volumétricas de los componentes de la mezcla estén dentro de los rangos adecuados que aseguren una mezcla asfáltica durable. Otra de las ventajas de este método es lo económico del equipo requerido y la facilidad de manejo del mismo. Muchos ingenieros creen que el método de compactación usado en el Marshall no simula la densificación de la mezcla que ocurre bajo tránsito en un pavimento real.

El método de compactación consiste en introducir la mezcla dentro de un molde con collar de extensión y someterla a una energía de compactación de 75, 50 o 35 golpes según se especifique. La energía es proporcionada por un martillo de 10lb. (4.54 Kg) a una altura de caída de 18" (45,72 cm). La descripción total que se debe seguir en el método Marshall está presente por la norma INV – 748 equivalente a las normas internacionales ASTM 1559⁶.

⁶ Análisis de La Influencia del Método de Compactación en el Comportamiento de Mezclas Asfálticas. SANFANDILA, QRO, 2004. Capítulo 2. P. 7.

Figura 16. Equipo de compactación Marshall.



3.2.2 Influencia del método de compactación en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas (en laboratorio). El diseño de mezclas asfálticas ha tenido a través del tiempo diversos métodos; siendo la gran diferencia entre ellos los equipos de compactación.

El propósito de dichos equipos en laboratorio es simular lo mejor posible la densificación que sufre la mezcla asfáltica en campo, siendo los dos parámetros principales en la densificación, el porcentaje de vacíos de aire (V_a) y el acomodo de las partículas.

Existen diferentes tipos de compactaciones de laboratorio, entre los cuales se encuentran la compactación a base de impactos, compactación por amasado y la compactación giratoria.

Al igual que los compactadores, los especímenes tienen una gran variedad de formas y tamaños, desde las probetas cilíndricas con diferentes diámetros y alturas, hasta probetas prismáticas. Las dimensiones y tipos de probetas están en función de la propiedad que se necesite determinar, por ejemplo, las cilíndricas de 4 y 6 pulg. con relación altura-diámetro de 0,6 a 0,7 se utilizan para conocer las propiedades volumétricas y de cohesión; probetas cilíndricas con relación altura-diámetro de 1:1 y 2:1, se emplean en pruebas de susceptibilidad a la humedad y de compresión axial; las probetas prismáticas se utilizan generalmente en pruebas de fatiga⁷.

3.2.2.1 Análisis de la influencia del método de compactación, en laboratorio, en el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas. El método de compactación influye en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas, afectando la cohesión entre partículas, entre otras, que a su vez van a generar mayor facilidad en el desprendimiento de agregados de la capa de rodadura⁸.

A continuación se nombrarán los ensayos y las conclusiones obtenidas de cada uno de ellos.

Nota: estas conclusiones son tomadas de la publicación técnica No. 225 “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL MÉTODO DE COMPACTACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS”.

⁷ Análisis de La Influencia del Método de Compactación en el Comportamiento de Mezclas Asfálticas. SANFANDILA, QRO, 2004. Capítulo 1. P.3.

⁸ Análisis de La Influencia del Método de Compactación en el Comportamiento de Mezclas Asfálticas. SANFANDILA, QRO, 2004. Capítulo 5. P.25.

Tensión indirecta

Las probetas elaboradas con el compactador giratorio presentaron mayor resistencia a la tensión indirecta, lo que indica mayor cohesión entre partículas.

El incremento en el porcentaje de asfalto de diseño puede producir una reducción en la cohesión entre partículas y un aumento en el porcentaje de deformación a la falla de la mezcla.

Ensayo Cántabro

Las probetas elaboradas con el método Marshall presentaron menos desgaste (3%), que las probetas elaboradas con el Superpave.

Se estima que el aumento en el contenido de asfalto de la mezcla, mejora el desempeño en el ensayo Cántabro.

Compresión axial e inmersión-compresión

Se comprobó que la importancia de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica no son solamente en función de su resistencia a la falla, ya que probetas con relación altura: diámetro 1:1 tenían mayor resistencia que las probetas con relación 2:1 aunque su deformación es igualmente grande, lo que ocasionó que sus valores de módulo sean menores a los de las probetas con relación 2:1.

Inmersión-compresión y estabilidad y flujo Marshall

Porcentajes altos de asfaltos en la mezcla, producen una reducción en la fricción interna del pavimento.

Por su parte, mezclas cerradas con altos valores de estabilidad Marshall y baja susceptibilidad a la humedad, pueden ser indicativos de que la mezcla es susceptible al agrietamiento por fatiga.

Analizador de pavimentos asfálticos

El desempeño de las mezclas asfálticas en relación con la deformación permanente, no parece ser afectada por el método de compactación.

**3.3.3 Elaboración de los especímenes por medio del método Marshall
INV E 748 – 07:**

Temperatura de calentamiento del molde: El conjunto de molde, collar, placa de base y la base del martillo de compactación, se limpian y calientan en un baño de agua o en el horno a una temperatura comprendida entre 93.3°C y 148.9°C.

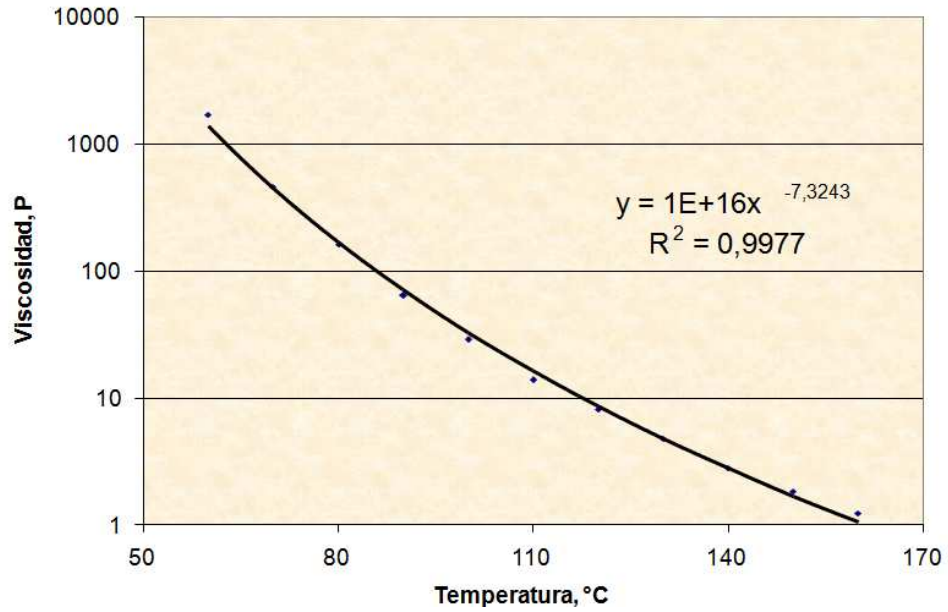
Figura 17. Calentamiento del molde.



Determinación de las temperaturas de mezcla y compactación: La temperatura a la cual se debe calentar el asfalto para las mezclas, será la requerida para producir una viscosidad de 170 ± 20 centiStokes. (1 centistoke = $1 \text{ mm}^2/\text{s}$). (Ver Figura 13).

La temperatura a la cual se deberá calentar el asfalto para que tenga una viscosidad de 280 ± 30 centiStokes, será la temperatura de compactación (Ver Figura 18).

Figura 18. Determinación de las temperaturas óptimas de mezclado y compactación (curva reológica)



Método para determinar las temperaturas óptimas de mezclado y compactación del

	Viscosidad, Poises
Temperatura de Mezclado, °C	1,5 – 1,9
Temperatura de Compactación, °C	2,5 – 3,1

$$V = 10^{16} * T^{(-7,3243)}$$

Fuente: Importancia de la química del asfalto en sus propiedades físicas.
Carlos A. Pareja Uribe.

Figura 19. Calentamiento del asfalto en horno.



Preparación de las mezclas: Se calentarán los agregados en una plancha de calentamiento o en el horno a una temperatura de 28°C (50°F) por encima de la temperatura de mezcla. Se transfieren los agregados al recipiente de mezclado donde se mezclan en seco y se forma a continuación un cráter en su centro, dentro del cual se vierte la cantidad requerida de asfalto. A continuación se mezclan los materiales lo más rápidamente posible hasta obtener una mezcla completa y homogénea⁹.

⁹ INV E -748 – 07. Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras. P.8

Figura 20. Calentamiento de los agregados en horno.



Se arma el conjunto del dispositivo para moldear las probetas y se coloca un papel de filtro en el fondo del molde antes de colocar la mezcla. A continuación, se coloca toda la mezcla recién fabricada en el molde y se la golpea vigorosamente con una espátula o palustre caliente, 15 veces alrededor del perímetro y 10 sobre el interior. Se quita el collar y se alisa la superficie hasta obtener una forma ligeramente redondeada.

Se vuelve a poner el collar y se coloca el conjunto en el sujetador sobre el pedestal de compactación. Se coloca otro papel filtro sobre la superficie de la mezcla y se aplican 50 o 75 golpes según se especifique, de acuerdo con el tránsito de diseño (para este caso se tomaron 75 golpes), empleando para ello el martillo de compactación una caída libre de 457.2 mm (18"), manteniendo el eje del martillo perpendicular a la base del molde durante la compactación. Se retiran la placa de base y el collar, se colocan en los extremos opuestos del molde; se vuelve a montar éste en el pedestal y se aplica el mismo número de golpes a la cara invertida de la muestra.

Después de la compactación, se retira la base y se deja enfriar la muestra al aire hasta que no se produzca ninguna deformación cuando se la saque del molde. Se pueden utilizar ventiladores de mesa cuando se desee un enfriamiento más rápido, pero en ningún caso agua, a menos que la muestra se coloque dentro de una bolsa plástica. Se saca cuidadosamente la probeta del molde por medio del extractor, se identifica con la crayola, se mide su espesor y se coloca sobre una superficie plana, lisa, donde se deja en reposo durante una noche¹⁰.

¹⁰ INV E -748 – 07. Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras. P.9

Tabla 4. Criterios de diseño de la mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall.

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS			MEZCLA DE ALTO MÓDULO	
		CATEGORÍA DE TRÁNSITO				
		NT1	NT2	NT3		
Compactación (golpes/cara)	E-748	50	75	75	75	
Estabilidad mínima (kg)	E-748	500	750	900	1500	
Flujo (mm)	E-748	2 – 4	2 – 4	2 – 3.5	2 – 3	
Vacíos con aire(V _a)*, %	Rodadura	E-736 o E-799	3 – 5	3 – 5	4 – 6	–
	Intermedia		4 – 8	4 – 8	4 – 7	4 – 6
	Base		–	5 – 9	5 – 8	–
Vacíos en los agregados minerales (VAM), %	Mezclas 0	E-799	≥13	≥13	≥13	–
	Mezclas 1		≥14	≥14	≥14	≥14
	Mezclas 2		≥15	≥15	≥15	–
	Mezclas 3		≥16	≥16	≥16	–
% de vacíos llenos de asfalto (VFA) (Volumen de asfalto efectivo / Vacíos en los agregados minerales) x 100 Capas de rodadura e intermedia	E-799	65 – 80	65 – 78	65 – 75	63 – 75	
Relación Llenante/ Asfalto efectivo, en peso	E-799	0.8 – 1.2			1.2 – 1.4	
Concentración de llenante, valor máximo	E – 745	Valor crítico				

Fuente: Artículo 450 – 07, Manual de Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras.

Figura 21. Compactación Marshall.

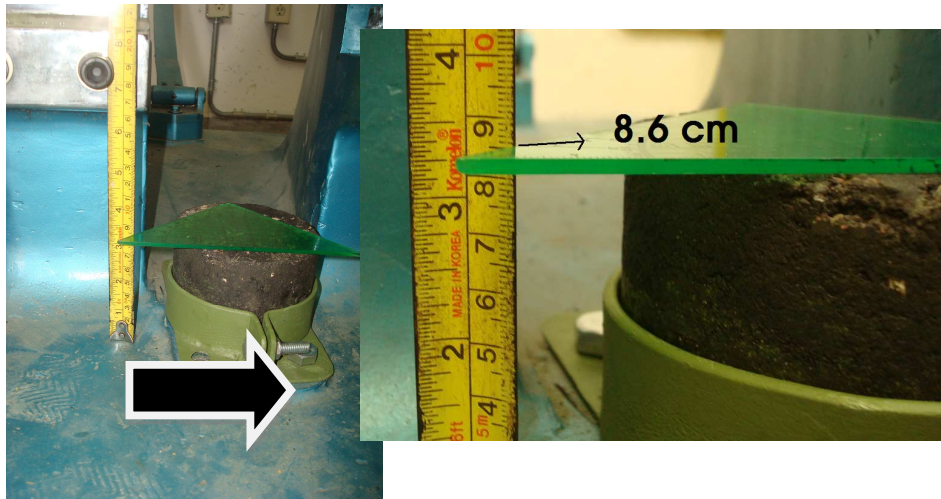


4. EJECUCION Y ANALISIS DEL ENSAYO PARA SIMULAR LA PÉRDIDA DE MATERIAL EN LA CAPA DE RODADURA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, CAUSADA POR CARGAS DE VEHICULOS PESADOS.

Para el desarrollo de la prueba se tomó el peso del péndulo (péndulo compuesto) y la altura de la cual iba a ser lanzado para lograr impactar de una manera brusca la probeta de mezcla asfáltica, para con estos datos hallar la fuerza con la cual impacta el péndulo a la probeta y la velocidad del impacto.

Luego se procedió a determinar la altura a la cual serían ubicadas las probetas para obtener el impacto deseado en la simulación, las probetas fueron ubicadas a diferentes alturas hasta concluir que la más acertada sería ubicar la probeta a una altura de 8.6 cm, tomados desde la base, ver figura 18.

Figura 22. Altura de ubicación de la probeta



Para saber la cantidad de veces a las cuales serían impactadas las probetas, se realizó inicialmente la prueba a las probetas con menor cantidad de asfalto, 3.0% (80-100); de acuerdo al material perdido visualizado en esta prueba se generalizó y se determinó el número de impactos que se realizarían a todas las probetas.

De igual manera se realizó la prueba para las probetas con mayor cantidad de asfalto, 6.0% (60-70), con el fin de determinar la mínima cantidad de material que podrían perder las probetas y con estos resultados estimar el número final de pasadas a todas las probetas.

De acuerdo a esto se estimó que la cantidad de veces óptima para la prueba serían 10 veces ya que con esta cantidad de veces los resultados obtenidos para la condición de máxima y mínima cantidad de asfalto fueron significativos.

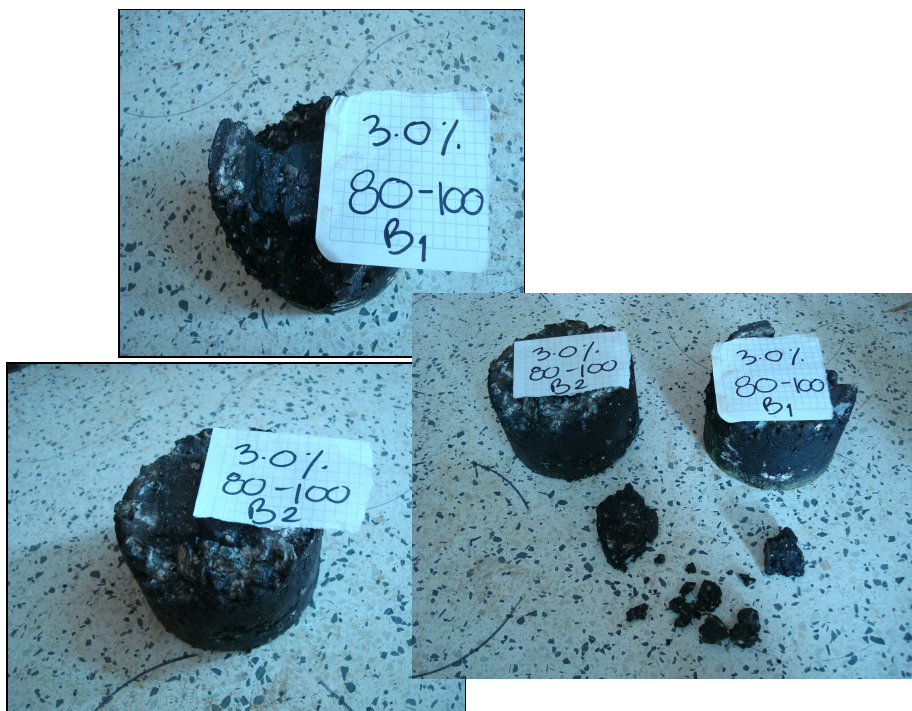
Los resultados fueron:

➤ **Probetas tipo 1 (3.0% de asfalto 80-100)**

Tabla 5. Resultados obtenidos con las probetas de 3.0% de cantidad de asfalto 80-100.

PROBETA	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDA (%)
B1 (3.0%)	1.215,4	1.100,30	9,47
B2 (3.0%)	1.210,2	1.116,7	7,7

Figura 23. Probetas de 3.0% de contenido de asfalto luego de realizada la prueba.



➤ **Probetas tipo 2 (6.0% de asfalto 60-70)**

Tabla 6. Resultados obtenidos con las probetas de 6.0% de cantidad de asfalto 60-70.

PROBETA	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDA (%)
A1 (6.0%)	1.233,6	1.231,9	0,13
A2 (6.0%)	1.222,5	1.221,8	0,05

Figura 24. Probetas de 6.0% de contenido de asfalto luego de realizada la prueba



De las probetas tipo 1 y 2 luego de realizada la prueba, se puede decir que la pérdida de agregados es inversamente proporcional a la cantidad de asfalto de elaboración de las mismas, ya que las probetas con menor cantidad de asfalto presentaron una mayor pérdida de material.

Luego se procedió a realizar la prueba a las probetas tipo 3 y 4, elaboradas con 4.5%, 5.0% y 5.5% de cantidad de asfalto cada una de ellas con asfalto 60 -70 y 80-100 respectivamente

➤ **Probetas tipo 3 (4.5%, 5% y 5.5% de asfalto 60-70)**

Tabla 7. Resultados obtenidos con las probetas con asfalto 60-70.

PROBETA	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDA (%)
M1 (4.5%)	1235,4	1208.8	1.36
M2 (5.0%)	1252,1	1246.3	0.45
M3 (5.5%)	1242,6	1239.3	0.26

➤ **Probetas tipo 4 (4.5%, 5% y 5.5% de asfalto 80-100)**

Tabla 8. Resultados obtenidos con las probetas con asfalto 80-100.

PROBETA	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDA (%)
P1 (4,5%)	1.235,7	1.218,9	2.2
P2 (5,0%)	1.235,8	1.224,3	0.93
P3 (5,5%)	1.234,3	1.229,2	0.413

Luego de realizada la prueba a las probetas tipo 3 y 4, se puede decir que el tipo de asfalto influye en la susceptibilidad a los desprendimientos, ya que las probetas elaboradas con asfalto 60-70 presentaron una pérdida menor de material que las elaboradas con asfalto 80-100.

Figura 25. Probetas ensayadas.



Figura 26. Desgaste del caucho que simula la llanta de camión, luego de la realización de la prueba.



CONCLUSIONES

- Al realizar el ensayo a probetas con las mismas características (igual cantidad y tipo de asfalto), se evidenció que éste es repetible, en cuanto a que para este tipo de probetas se obtuvieron resultados similares.
- Al observar los resultados obtenidos luego de realizada la prueba a las probetas con muy poca y bastante cantidad de asfalto, se pudo apreciar que la prueba discrimina, ya que los resultados obtenidos para estos tipos de probetas fueron inversos.
- La cantidad y tipo de material asfáltico afecta la susceptibilidad de la mezcla al fenómeno de desprendimientos, ya que probetas elaboradas con menor cantidad de asfalto y con asfalto de mayor penetración presentaron mayor pérdida de material.
- El estudio realizado sirve como aporte para futuras investigaciones relacionadas con la pérdida de agregados en la capa de rodadura de pavimentos flexibles por efecto de la fricción generada por vehículos pesados en el momento del frenado.
- Se evidenció durante el desarrollo de los ensayos que la mayor cantidad de pérdida de material corresponde a la franja de agregado fino.

- El montaje de la prueba de laboratorio resulta bastante complicado ya que se requiere hacer adaptaciones a la maquina, que impiden el funcionamiento normal de la misma.

RECOMENDACIONES Y LINEAMIENTOS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

- Se recomienda hacer un análisis visual a las probetas luego de realizada la prueba, para garantizar que el material perdido fue desprendido a causa del rozamiento mas no a causa de otro factor de afectación.
- Para futuras investigaciones acerca del desprendimiento de material de la capa de rodadura es importante elaborar un molde para ubicación de las probetas de tal manera que la probeta quede expuesta aproximadamente 3 mm para así garantizar que la perdida sea por rozamiento en la superficie y evitar que se produzcan fallas que generen masas desprendidas en los bordes.
- Se recomienda hacer un estudio más intenso le las posibles variables que afectan el desprendimiento de material de la capa de rodadura de pavimentos flexibles a causa de cargas de vehículos pesados.
- Sería interesante establecer correlación entre lo que se evidencia en campo y los resultados obtenidos en la prueba de laboratorio, para así, poder identificar otras posibles variables que intervienen en el fenómeno.

- En este estudio se encontró una buena representación del fenómeno en laboratorio haciendo el lanzamiento del péndulo desde la posición máxima de caída de éste, obteniendo así una gran fuerza de impacto, sin embargo, sería de gran precisión realizar una conversión de fuerza real ejercida por los vehículos pesados sobre el pavimento para así obtener resultados más precisos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SMAIL HAMLAT, "Evaluación de laboratorio de la resistencia tangencial a los esfuerzos sobre la calzada", Universidad de Nantes, 2007.

INVIAS, Normas y especificaciones generales de construcción, 2007.

INVIAS, Normas de ensayos de materiales para carreteras, 2007.

INVIAS, Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles, Octubre/2006.

CORONADO ITURBIDE Jorge, Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, 2002. Capitulo 5. p.1. [Publicación en Línea]. Disponible en internet: <www.sieca.org.gt>.

INVIAS. Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles, Bogotá D.C, 2006. Capitulo 1. P. 18. [Publicación en Línea]. Disponible en internet: <www.invias.gov.co>.

M5.1 Catalogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles, 2002. Capitulo 2. P.5. [Publicación en Línea]. Disponible en internet: <www.cedex.es>.

Análisis de La Influencia del Método de Compactación en el Comportamiento de Mezclas Asfálticas, 2004. Capitulo 2. [Publicación en Línea]. Disponible en internet: <www.umng.edu.co>.

ANEXOS

**ANEXO A. ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS QUE
COMPONEN LA MEZCLA ASFALTICA.**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES (INV E - 218)

ANEXO A

Fecha: 1 de Marzo de 2009
Localización: Laboratorio UIS
Proyecto: Caracterización de materiales petreos
Cantera: Pescadero - Rio Chicamocha

DATOS SOBRE GRADACION , CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMANO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA						
PESO	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				
1/4"	No 4			2500				
No 4	No 8				5000			
No de esferas		12	11	8	6	12	12	12

PRUEBAS	1	2	3	4	5
Gradación usada	B				
No de esferas	11				
No de revoluciones	500				
Pa = muestra seca antes del ensayo (Gr)	5000				
Pb = peso muestra seca despues del ensayo y despues de lavar sobre tamiz No 12 (Gr)	3616				
Perdida de material (Pa - Pb)	1384				
% Desgaste = ((Pa - Pb) / Pa) * 100	27,7%				
Especificación					

OBSERVACIONES

VoBo:



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



ENSAYO DE INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO INV E - 230

Fecha: 1 de Marzo de 2009
 Localización: Laboratorio UIS
 Proyecto: Caracterización de materiales
 Cantera: Pescadero - Rio Chicamocha

ANEXO A

$$\text{INDICE DE ALARGAMIENTO} = \frac{\sum(Lai * Ri)}{\sum Ri}$$

TAMAÑO TAMICES		Pi (g)	Pai (g)	Lai = 100% $\left(\frac{Pai}{Pi}\right)$	Ri	Ri*Lai
PASANTE	RETENIDO					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	962,90	287,37	29,8%	13,60%	4,06
1/2"	3/8"	442,50	155,81	35,2%	10,02%	3,53
3/8"	No 4	94,00	54,32	57,8%	9,87%	5,70
$\Sigma =$		1499,40	497,50		33,49%	13,29

$$\text{INDICE DE APLANAMIENTO} = \frac{\sum(Lli * Ri)}{\sum Ri}$$

TAMAÑO TAMICES		Pi (g)	Pli (g)	Lli = 100% $\left(\frac{Pli}{Pi}\right)$	Ri	Ri*Lli
PASANTE	RETENIDO					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	962,90	165,2	17,2%	13,60%	2,33
1/2"	3/8"	442,50	40,43	9,1%	10,02%	0,92
3/8"	No 4	94,00	17,93	19,1%	9,87%	1,88
$\Sigma =$		1499,40	223,56		33,49%	5,13

Indice de Alargamiento = 39,7
 Indice de Aplanamiento = 15,3

- Pi: Peso inicial
- Pai: Peso de particulas retenidas
- Pli: Peso de particulas que pasan
- Lai: % retenido en el calibrador
- Lli: % que pasa el calibrador
- Ri: % retenido en la gradacion original

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL - UIS



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (INV E - 213)

Fecha: 1 de Marzo de 2009
Localización: Laboratorio UIS
Proyecto: Caracterización de materiales pétreos
Cantera: Pescadero - Río Chicamocha
Material: A (Material Grueso)

ANEXO A

Peso inicial de la muestra en g: 3500
Peso después de lavado g: 3479,5
Porcentaje de error %: 0,59

MALLA N°	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA N°	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
***	mm	g	%	%	***	mm	g	%	%
2"	50,8				10	2	6,12	0,17	0,59
1 1/2"	36,1				20	0,84	0	0,00	0,59
1"	25,4				40	0,42	0	0,00	0,59
3/4"	19,05				80	0,18	0	0,00	0,59
1/2"	12,7	1910	54,57	45,43	100	0,149	0	0,00	0,59
3/8"	9,52	1131,5	32,33	13,10	200	0,074	0	0,00	0,59
N°4	4,75	431,9	12,34	0,76	PASA 200	***	0	0,00	0,59
SUMA	****	3473,4	99,24		SUMA	***	6,12		
TOTAL					TOTAL		3479,52		

Material: B (Arenas retenidas en N°10)

Peso inicial de la muestra en g: 792,1
Peso después de lavado g: 792,1
Porcentaje de error %: 0,00

MALLA N°	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA N°	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
***	mm	g	%	%	***	mm	g	%	%
2"	50,8				10	2	648,1	81,82	0,00
1 1/2"	36,1				20	0,84	0	0,00	0,00
1"	25,4				40	0,42	0	0,00	0,00
3/4"	19,05				80	0,18	0	0,00	0,00
1/2"	12,7		0,00	100,00	100	0,149	0	0,00	0,00
3/8"	9,52		0,00	100,00	200	0,074	0	0,00	0,00
N°4	4,75	144	18,18	81,82	PASA 200	***	0	0,00	0,00
SUMA	****	144	18,18		SUMA	***	648,1		
TOTAL					TOTAL		792,1		

Material: C (Arenas que pasan el N°10)

Peso inicial de la muestra en g: 2594,13
Peso después de lavado g: 2156,3
Porcentaje de error %: 0,00

MALLA N°	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA N°	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
***	mm	g	%	%	***	mm	g	%	%
2"	50,8				10	2	0		100,00
1 1/2"	36,1				20	0,84	776,3	29,93	70,07
1"	25,4				40	0,42	618	23,82	46,25
3/4"	19,05				80	0,18	321,1	12,36	33,87
1/2"	12,7		0,00	100,00	100	0,149	254,1	9,80	24,08
3/8"	9,52		0,00	100,00	200	0,074	169,8	6,55	17,53
N°4	4,75		0,00	100,00	PASA 200	***	454,83	17,53	0,00
SUMA	****		0,00		SUMA	***	2594,13		
TOTAL					TOTAL		2594,13		



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (INV E - 213)

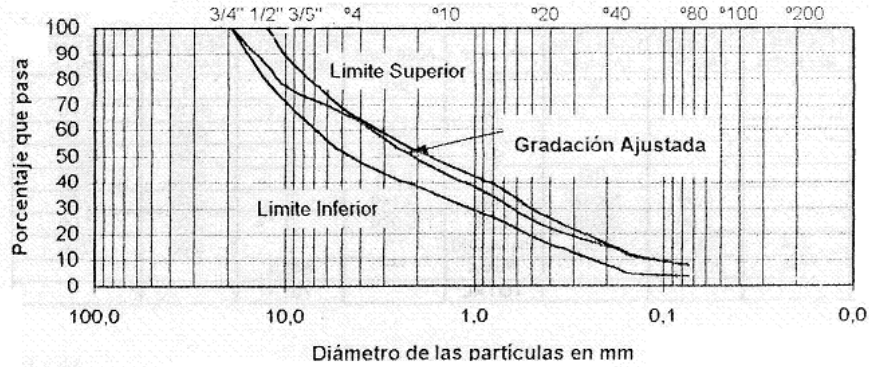
Fecha: 1 de Marzo de 2009
 Localización: Laboratorio UIS
 Proyecto: Caracterización de materiales pétreos
 Cantera: Pescadero - Río Chicamocha
 Material: Muestra MDC - 2

ANEXO A

Peso inicial de la muestra en g: 3000
 Peso después de lavado g: 2772
 Porcentaje de error %: 0.12

MALLA N°	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA N°	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
***	mm	g	%	%	***	mm	g	%	%
2"	50,8				10	2	528,23	17,61	48,90
1 1/2"	36,1				20	0,84	409,27	13,64	35,26
1"	25,4				40	0,42	364,65	12,16	23,11
3/4"	19,05			100	80	0,18	260,65	8,69	14,42
1/2"	12,7	408,1	13,60	86,40	100	0,149	83,82	2,79	11,62
3/8"	9,52	300,58	10,02	76,38	200	0,074	106,2	3,61	8,02
N°4	4,75	295,97	9,87	66,51	PASA 200	***	236,78	7,89	0,12
SUMA	****	1004,65	33,49		SUMA	***	1991,6		
TOTAL					TOTAL		2996,25		

Analisis Granulométrico



ANEXO B. NORMA DEL ENSAYO PARA SIMULAR LA PÉRDIDA DE AGREGADOS EN LA CAPA DE RODADURA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A CAUSA DE CARGAS DE VEHICULOS PESADOS.

1. OBJETO

1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la pérdida de agregados de especímenes cilíndricos de mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, empleando el aparato péndulo de impacto con adaptaciones para generar rozamiento sobre los especímenes. El método es aplicable a mezclas elaboradas con cemento asfáltico tipo 60-70 ó 80-100 y agregados pétreos gradación para MDC - 2 (mezclas densas en caliente tipo 2).

1.2 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.

2. RESUMEN DEL METODO

2.1 El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101.6 mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2 ½ ") de altura, preparadas como describe la norma INV E 748-07, ensayándolas posteriormente en el péndulo de impacto con adaptaciones para generar rozamiento sobre los especímenes y determinando la cantidad de material perdido a causa del rozamiento.

2.2 El procedimiento inicia con la elaboración de las probetas de ensayo, para lo cual los materiales propuestos deben cumplir con las especificaciones de granulometría y demás, fijadas para el proyecto.

3. EQUIPO Y MATERIALES NECESARIOS

3.1 *Dispositivo para moldear probetas* - consiste en un molde cilíndrico con un collar de extensión y una placa de base plana. El molde deberá tener un diámetro interior de 101.6 mm (4") y una altura interna aproximada de 76.2 mm (3"); la placa de base y el collar de extensión deberán ser intercambiables, es decir ajustable en cualquiera de los extremos del molde.

3.2 *Extractor de probetas* – elemento de acero en forma de disco con diámetro de 100mm (3.95") y 12.7mm (1/2") de espesor, utilizado para extraer la probeta compactada del molde, con la ayuda del collar de extensión se requiere un elemento adecuado para transferir la carga a la probeta, de manera que esta pase suavemente del molde al collar.

3.3 *Martillo de compactación* – consiste en un dispositivo de acero formado por una base plana circular de 98.4mm (3 7/8") de diámetro y un pistón deslizante de 4536 ± 9 gr (10 ± 0.02 lb) de peso total, montado en forma que proporcione una altura de caída de 457.2 ± 1.524 mm (18 ± 0.06 ").

3.4 *Pedestal de compactación* – consiste en una pieza prismática de madera de base cuadrada de 203.2 mm de lado y 457.2 mm de altura (8" x 8" x 18") y provista en su cara interior de una platina cuadrada de acero de 304.8 mm de lado x 25.4mm de espesor (12" x 12" x 1"), firmemente

sujeta en la misma. La madera será roble u otra clase cuya densidad seca sea de 0.67 a 0.77 g/cm³ (42 a 48 lb/pie³). El conjunto se fijara firmemente a una base de concreto, debiendo quedar la platina de acero en posición horizontal.

- 3.5** *Sujetador para el molde* - Consistente en un dispositivo con resorte de tensión diseñado para centrar rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal. Deberá asegurar el molde completo en su posición durante el proceso de compactación.
- 3.6** *Tamices* – Los necesarios para reproducir en el laboratorio la granulometría exigida por la especificación a los agregados para la mezcla que se va a diseñar.
- 3.7** *Termómetros blindados* - De 9.9° C a 204° C (50° F a 400° F) para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 2.8°C. Para la temperatura del baño de agua se utilizará un termómetro con escala de 20°C a 70°C y sensibilidad de 0.2°C (68° F a 158° F ± 0.4°F).
- 3.8** *Balanzas* – Una de cinco (5) kg de capacidad, sensible a un (1) g para pesar agregados y asfalto; otra de dos (2) kg de capacidad, sensible a 0.1 g para las probetas compactadas.
- 3.9** *Guantes* - De soldador para manejar equipo caliente y de caucho para sacar las muestras del baño de agua.

3.10 *Crayolas* – Para identificar las probetas.

3.11 *Bandejas metálicas* – De fondo plano para calentar agregados y cubetas metálicas redondas de 4 litros (1 galón) de capacidad, para mezclar asfalto y agregados, cucharones, recipientes, espátulas, papel de filtro, etc.

3.12 *Máquina para generar rozamiento sobre los especímenes* – se empleara la máquina de péndulo de impacto con adaptaciones (caucho y molde).

3.13 *Molde para fijar los especímenes* – molde e de 95 mm (3.74”) diámetro interno y 40mm (1.57”) de altura.

3.14 *Caucho de llanta de camión* - sin labrado y de 20mm (0.78”) de espesor.

4. PREPARACION DE PROBETAS

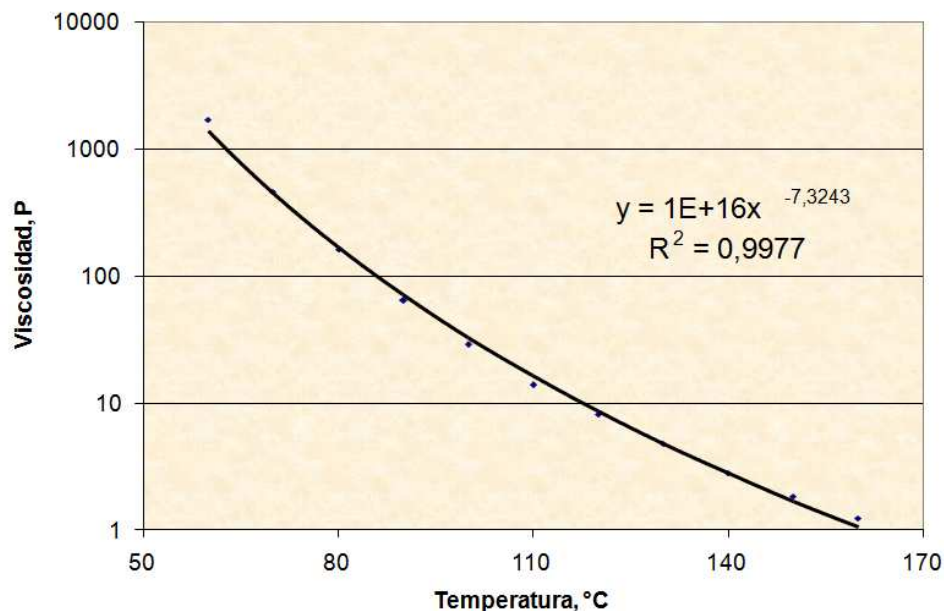
4.1 *Número de Probetas* – Para una gradación particular del agregado, original o mezclada, se preparará una serie de probetas con diferentes contenidos de asfalto (con incrementos de 0.5% en peso, entre ellos); de tal manera que los resultados se puedan graficar en curvas que indiquen un valor "óptimo" definido, con puntos de cada lado de este valor. Como mínimo, se prepararán tres probetas para cada contenido de asfalto.

4.2 Cantidad de materiales – para cada probeta se necesitaran 1200 gr de ingredientes (asfalto y agregados). Se requiere además una cantidad extra de materiales para análisis granulométricos y para la determinación de las gravedades específicas.

4.3 Preparación de los agregados – Los agregados se deberán sacar hasta masa constante a una temperatura entre 105°C y 110 °C (221°F y 230°F) y se separarán por tamizado en los tamaños deseados.

4.4 Determinación de las temperaturas de mezcla y compactación – La temperatura a la cual se debe calentar el cemento asfáltico para las mezclas, esta se obtendrá de las figuras siguientes.

Determinación de las temperaturas optimas de mezclado y compactación (curva reológica)



Método para determinar las temperaturas optimas de mezclado y compactación del

	Viscosidad, Poises
Temperatura de Mezclado, °C	1,5 – 1,9
Temperatura de Compactación, °C	2,5 – 3,1

$$V = 10^{16} * T^{(-7,3243)}$$

4.5 Preparación de las mezclas – En bandejas taradas, separadas para cada fracción de la muestra, se pesarán sucesivamente las cantidades de cada porción de agregados, previamente calculadas de acuerdo con la gradación necesaria para la fabricación de cada probeta, de tal forma que ésta resulte con una altura de 63.5 ± 1.3 mm (Ver Nota). Se calentarán los agregados en una plancha de calentamiento o en el horno a una temperatura de 28°C (50°F) por encima de la temperatura de mezcla. Se transfieren los agregados al recipiente de mezclado donde se mezclan en seco y se forma a continuación un cráter en su centro, dentro del cual se vierte la cantidad requerida de asfalto, debiendo estar ambos materiales en ese instante a temperaturas comprendidas dentro de los límites establecidos para el proceso de mezcla en el numeral 4.4. A continuación se mezclan los materiales lo más rápidamente posible hasta obtener una mezcla completa y homogénea.

Nota. .- Para conseguir la altura adecuada de las probetas para el ensayo, es conveniente elaborar una probeta de prueba. Para ello, se tomará una cantidad de agregados de 1200 g, corrigiéndose luego para la altura debida, con la expresión, en el sistema Internacional SI:

$$\text{Masa correcta del agregado (g)} = \frac{63.5 \times \text{Masa usada de agregados (g)}}{\text{Altura obtenida de la probeta (mm)}}$$

4.6 Compactación de las Probetas – Simultáneamente con la preparación de la mezcla, el conjunto de molde, collar, placa de base y la base del martillo de compactación, se limpian y calientan en un baño de agua o en el horno a una temperatura comprendida entre 93.3° C y 148.9° C (200° F y 300° F).

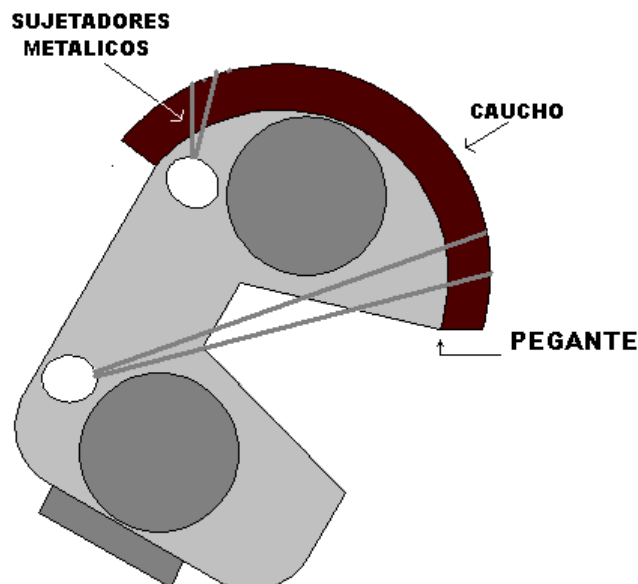
Se arma el conjunto del dispositivo para moldear las probetas y se coloca un papel de filtro en el fondo del molde antes de colocar la mezcla. A continuación, se coloca toda la mezcla recién fabricada en el molde y se la golpea vigorosamente con una espátula o palustre caliente, 15 veces alrededor del perímetro y 10 sobre el interior. Se quita el collar y se alisa la superficie hasta obtener una forma ligeramente redondeada. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación deberá hallarse dentro de los límites de temperatura de compactación establecidos en el numeral 4.4.

Se vuelve a poner el collar y se coloca el conjunto en el sujetador sobre el pedestal de compactación. Se coloca otro papel filtro sobre la superficie de la mezcla y se aplican 50 o 75 golpes según se especifique, de acuerdo con el tránsito de diseño, empleando para ello el martillo de compactación una caída libre de 457.2 mm (18"), manteniendo el eje del martillo perpendicular a la base del molde durante la compactación. Se retiran la placa de base y el collar, se colocan en los extremos opuestos del molde; se vuelve a montar éste en el pedestal y se aplica el mismo número de golpes a la cara invertida de la muestra.

Después de la compactación, se retira la base y se deja enfriar la muestra al aire hasta que no se produzca ninguna deformación cuando se la saque del molde. Se pueden utilizar ventiladores de mesa cuando se desee un enfriamiento más rápido, pero en ningún caso agua, a menos que la muestra se coloque dentro de una bolsa plástica. Se saca cuidadosamente la probeta del molde por medio del extractor, se identifica con la crayola, se mide su espesor y se coloca sobre una superficie plana, lisa, donde se deja en reposo durante una noche.

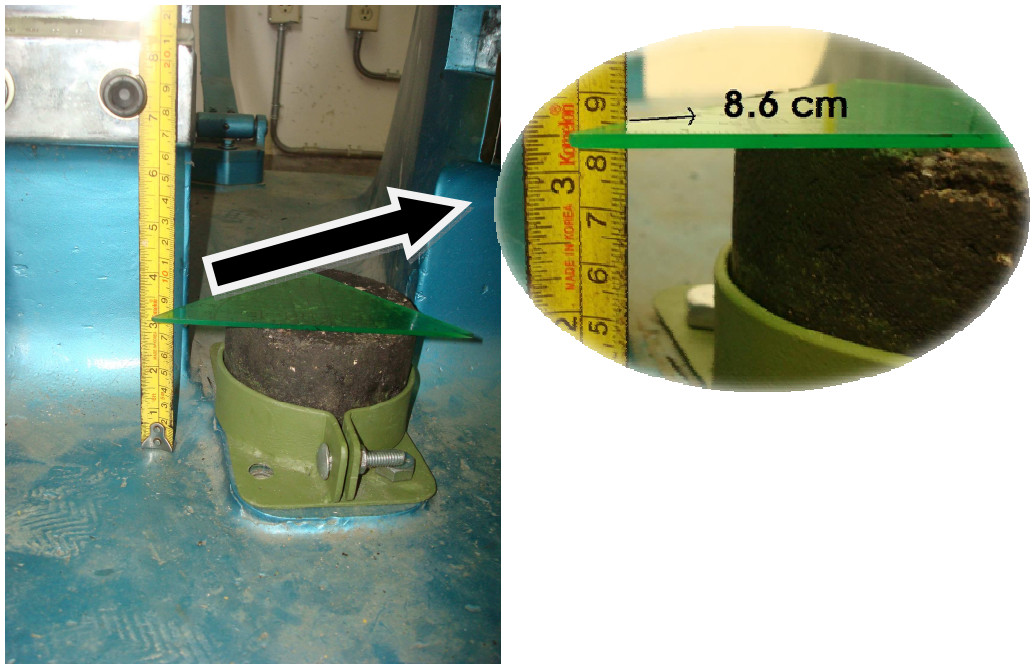
5. ENSAYO PARA SIMULAR EL DESPRENDIMIENTO DE MATERIALES DE LA CAPA DE RODADURA

5.1 Adaptar el caucho de camión al péndulo usando un pegante adecuado para adherir caucho a hierro (acero) y reforzándolo con sujetadores metálicos, como muestra la figura.



5.2 Luego de retirar la probeta del molde con ayuda del extractor y marcarla se procede a pesar la probeta para saber su peso inicial antes de realizar el ensayo.

5.3 se coloca la probeta en el molde y se ajusta de modo que esta no se pueda mover. Se verifica que la probeta quede a una altura de 86mm (3.38") medidos desde la base del péndulo como muestra la figura.



5.4 Se eleva el péndulo hasta su máxima altura 1700mm (66.93") y se asegura por medio del seguro lateral del péndulo, luego se procede a retirar el seguro para generar el lanzamiento del péndulo que produce el rozamiento sobre la probeta. Se repite este lanzamiento 10 veces y se procede a pesar la probeta.

5.5 Luego de realizado el ensayo se procede a pesar la probeta para tener su peso final y saber cuánto agregado perdió durante el rozamiento.

Nota: realizar un análisis visual a la probeta luego de ensayada para verificar que la pérdida de material haya sido a causa del rozamiento, mas no por algún otro factor de afectación.

6. INFORME

El informe contendrá la siguiente información:

6.1 Tipo de muestra ensayada.

6.2 Peso inicial de la probeta.

6.3 Peso final de la probeta.

6.4 Porcentaje de material perdido.