

# Mezclas asfálticas

## Mezclas asfálticas modificadas con un elastómero (caucho) y un plastómero (tiras de bolsas de leche con asfalto 80-100)

PhD. Fredy Alberto Reyes Lizcano  
Ing. María Fernanda Madrid Ahumada  
Ing. Sandra Ximena Salas Callejas  
Pontificia Universidad Javeriana  
Bogotá, Colombia

### Resumen

La adición de productos industrializados como el caucho y el plástico podrían hacer parte constitutiva de la estructura de un pavimento al dar a las mezclas asfálticas un mejor comportamiento mecánico y por ende una mayor duración de vida. Se debe ser conscientes que se vive en la cultura del usar y tirar, y en la basura de cada día están los recursos que dentro de poco tiempo harán falta. Se trata, en definitiva, de que se ponga en práctica la consigna de las tres erres, reducir, reutilizar y reciclar, en este orden de importancia. Mediante esta investigación se puede llegar a una reducción en los residuos sólidos y adicionalmente mejorar el desempeño de los pavimentos en Colombia. En la presente investigación de la mezcla modificada con caucho y plástico, se realizó la caracterización dinámica de la mezcla asfáltica con los óptimos de adición de plástico proveniente de bolsas de leche y de caucho proveniente de las llantas usadas, logrando una reducción del ahuellamiento del 8%, un aumento del módulo dinámico del 14%, lo cual significa para un diseño mecanicista de pavimentos un incremento de la durabilidad del 25%.

**Palabras clave:** pavimento, mezcla asfáltica, mezcla asfáltica modificada, caucho, plástico.

### Abstract:

*The addition of industrial products such as rubber and plastic may constitute a pavement structure by providing asphalt mixes with better mechanical behavior and more durability. We have to be conscious that we live in the culture of using and throwing away, and in the trash of each day there are many resources that we are wasting. It is important for all of us to put in action the three "R", reduce, reuse and recycle. By carrying out this research project we hope to achieve a reduction in the solid waste residues and additionally to improve the performance of the pavements in Colombia. In this investigation of asphalt mixtures modified with rubber and plastic, we made the dynamic characterization of the mixture with the optimal addition of plastic originating from markets of milk bags and of rubber originating from used tires, achieving a reduction of rutting of 8%, an increase of the dynamic modulus of 14%, which means for a mechanistic design of pavements an increase of 25% in durability.*

**Keywords:** pavement, asphalt mix, modified asphalt mix, rubber, plastic.

### 1. Objetivos

#### *Objetivo general*

Determinar y cuantificar las mejoras de los desempeños mecánicos de mezclas asfálticas para rodadura con el uso de elastómeros (caucho) y plastómeros (tiras de bolsa de leche) y su incidencia en los módulos elásticos, fatiga y ahuellamiento.

#### *Objetivos específicos*

- Seleccionar y caracterizar el material granular y el asfalto 80/100 para la mezcla.
- Determinar el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla.
- Establecer el comportamiento dinámico de la mezcla asfáltica.
- Establecer el comportamiento dinámico de la mezcla modificada con plástico, caucho y la combinación de los dos materiales.
- Analizar químicamente el asfalto modificado y sin modificar.
- Realizar un análisis de relación beneficio/costo de los pavimentos modificados y sin modificar.

#### *Planteamiento del problema*

Actualmente es claro que existe un grave problema que debe ser resuelto, a corto o mediano plazo y es, qué hacer con los productos manufacturados cuyos componentes no son degradables. Más concretamente se está hablando de los polímeros empleados en el sector de la automoción y a los desperdicios plásticos.

Debido a los conflictos ambientales que presenta Colombia, frente a la disposición de residuos como el caucho y el plástico, surge la necesidad de crear una idea que implique la utilización de estos residuos en la construcción de pavimentos asfálticos, con el fin de aminorar el daño al medio ambiente e incorporar diferentes metodologías en la realización de estructuras de pavimentos con costos menores.

## Antecedentes y justificación

El principio de todas las investigaciones de este tipo es la eliminación de residuos, conservación del medio ambiente y ahorro de materias primas y de energía; son estos motivos que suscitan a la investigación de diferentes mecanismos que de cierta manera mitiguen los impactos ambientales ocasionados por estos desperdicios.

Fueron estos motivos que hacen que el presente trabajo abarque este tema, igualmente por los éxitos de los trabajos llevados a cabo en Colombia y en otros países y por la pretensión de encontrar dos materiales (caucho y plástico) que trabajando simultáneamente, se obtengan mejores o los mismos resultados de los trabajos antecesores donde involucraban sólo un material (caucho o plástico).

Con la adición de productos industrializados como el plástico y el caucho se pretende contribuir a la mejora de la calidad de los pavimentos asfálticos mediante la obtención de nuevos materiales por incorporación de residuos de materiales plásticos, empleados en la fabricación de neumáticos para automóviles.

Ante la necesidad de mejorar las condiciones actuales de la red vial en Colombia se inicia la búsqueda de nuevas metodologías que incluyan nuevos materiales brindando la posibilidad de tener mejores pavimentos económica y funcionalmente viables.

La idea de incluir residuos de plástico y caucho en el pavimento ayudará a reducir los niveles de plástico y caucho en el ambiente y por otra parte ayudarán a mejorar las propiedades y reducir los costos en la construcción de pavimentos asfálticos.

## 2. Caracterización de asfalto y agregado

### 2.1 Consecución y clasificación del material

#### 2.1.1 Recolección de bolsas de leche.

El tipo de bolsas recolectadas fueron bolsas de leche larga vida, este plástico es una combinación entre dos clases de polietileno de baja densidad LPDE 503 A y LDPE 6411, el plástico fue cortado en tiras de 4 cm x 1 cm.

#### 2.1.2 Solicitación del agregado y del asfalto

La solicitud de los agregados y del asfalto fue realizada a la constructora Patria S.A, quien proporcionó los materiales necesarios para la elaboración del proyecto. La cantera de la cual se extrajo el material queda ubicada a las afueras de Bogotá, vía Mosquera – La Mesa, en la hacienda Vista Hermosa y el material recogido corresponde a la nominación de Triturado # 5/8.

La granulometría empleada para este proyecto se especifica en la tabla 2.1:

Tabla 2.1

Granulometría 0/100 cerrada

Tamaño (mm)	Tamaño (in)	% Pasa	% Retenido
14	3/8	100	2,5
10	1/4	97,5	19
6,3	No 10	78,5	33,5
2	No 70	45	32
0,2	No 200	13	7,5
0,05	Pasa 200	5,5	5,5

Fuente: Manual del IDU, granulometría 0/100 cerrada

Tabla 2.2

Resultados de ensayos para caracterización del agregado

Análisis	Unidad	Valor obtenido	Especificación
Equivalente de Arena	%	64,5	I.N.V.E - 133
Densidad y absorción de agregado grueso	g/cm <sup>3</sup>	2,545	I.N.V.E - 223
Densidad y absorción de agregado fino	g/cm <sup>3</sup>	2,344	I.N.V.E - 222
Absorción de agregado grueso	%	4,5	I.N.V.E - 223
Absorción de agregado fino	%	1,5	I.N.V.E - 222
Desgaste máquina de Los Angeles	%	23	I.N.V.E - 218
Índices de aplanamiento	%	16	I.N.V.E - 230
Índices de alargamiento	%	39	I.N.V.E - 230
Porcentaje caras fracturadas	%	100	I.N.V.E - 227

Fuente: Archivo personal de los autores

### 2.2 Ensayos de caracterización de agregados

En la tabla 2.2 se relacionan los ensayos realizados con la norma utilizada y los valores obtenidos en el laboratorio.

### 2.3 Ensayos realizados al asfalto

El asfalto utilizado en esta investigación corresponde a un asfalto 80/100 producido en ECOPETROL en la refinería de Barrancabermeja y proporcionado por Patria S.A.

En la tabla 2.3 se muestran las especificaciones del asfalto, obtenidas de los ensayos de caracterización que se ejecutaron para éste.

### 3. Ensayo Marshall

El ensayo Marshall es un método ideado para dosificar las mezclas asfálticas empleando asfaltos sólidos y material granular que no supere un tamaño máximo de 2.54 cm. Mediante la prueba, se obtiene la cantidad apropiada de asfalto para poder garantizar la suficiente estabilidad y así mismo las exigencias del servicio sin desplazamientos o distorsiones, un buen recubrimiento de partículas para obtener un pavimento durable incluyendo el factor de la compactación.

Los datos más importantes del diseño de las mezclas por el método Marshall son: un análisis de densidad, relación de vacíos y una prueba de estabilidad y flujo, sobre muestras compactadas.

La finalidad del diseño Marshall es obtener las cantidades óptimas de los contenidos que hacen parte de la mezcla asfáltica, con el fin de satisfacer las exigencias de servicio teniendo en cuenta diferentes criterios de análisis como son el flujo, la estabilidad, vacíos con aire en la mezcla y vacíos en los agregados minerales, garantizando un pavimento durable, con un contenido de asfalto óptimo que recubra, impermeabilice y ligue el material pétreo.

El diseño Marshall se realizó según la norma I.N.V.E-748.

### 4. Ahuellamiento

Deformación permanente se define como la falla causada por el efecto de esfuerzos verticales de compresión en la capa asfáltica de un pavimento, manifestada en ahuellamiento bajo la superficie de carga de las llantas. Adicionalmente al esfuerzo directo vertical, también hay esfuerzos horizontales que varían desde compresión en la parte superior de la capa a tensión en la parte inferior. La magnitud de estos esfuerzos depende de varios factores incluyendo la relación de Poisson's. La magnitud de la deformación vertical depende de factores relacionados con la estructura de la estructura de los agregados.

La resistencia a la deformación permanente depende principalmente de los siguientes factores: propiedades del ligante, características del asfalto utilizado, gradación

Análisis	Unidad	Valor obtenido	Especificación
Penetración a 25 °C	mm / 10	84	I.N.V.E - 706
Ductilidad	cm	-----	I.N.V.E - 706
Peso específico	g / cm <sup>3</sup>	1,015	I.N.V.E - 706
Viscosidad	SSU	44,56	I.N.V.E - 706
Punto de ablandamiento	°C	43	I.N.V.E - 706
Punto de inflamación	°C	356	I.N.V.E - 706

Fuente: Archivo personal de los autores

y características de los agregados (forma textura, tamaño), módulo dinámico del asfalto y composición volumétrica de la mezcla.

El ensayo se realizó en la máquina ahuelladora de la Pontificia Universidad Javeriana. El principio consiste en aplicar una carga cíclica, sobre una briqueta de dimensiones 50 cm. de largo x 15 cm. de profundidad x 8.5 cm. de espesor.

Esta máquina trabaja a 42 r.p.m, aplicando sobre la briqueta que se encuentra a una temperatura de 60°C, una presión de 0.662 MPa, que es equivalente a la presión ejercida por un eje de 13 ton.

La máquina consiste en un pequeño carro de forma rectangular, éste irá unido mediante una excéntrica a un motor-reductor que produce un movimiento alternativo horizontal de vaivén. Por encima del carro está situada la rueda de ensayo, montada en un brazo que en uno de sus extremos va unido a un soporte rígido de la máquina y con su otro extremo libre, provisto de un dispositivo para colocar las pesas que producen las diferentes cargas sobre la rueda. La máquina debe permanecer con temperatura controlada, ésta debe contar con una cámara para lograr que la temperatura sea constante durante el ensayo.

#### 4.1 Prueba de Ahuellamiento

Una vez compactadas las briquetas, éstas son llevadas a una temperatura de ensayo de 60°C, durante cuatro horas como mínimo, antes de la ejecución del ensayo; transcurrido este tiempo se levanta la rueda, y se fija el molde con la probeta en los anclajes, sin que la rueda toque en ningún momento la superficie de la probeta. En estas condiciones se carga el brazo soporte con

Tabla 4.1

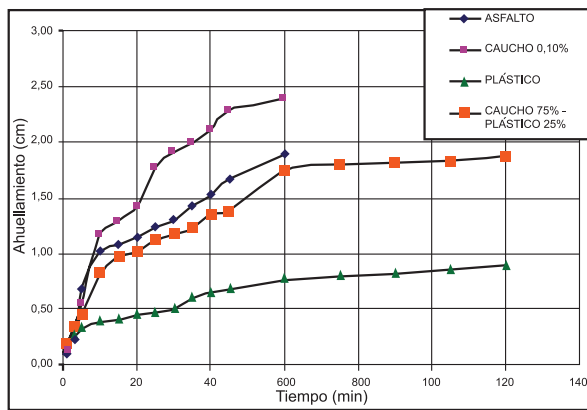
Resultados de ahuellamiento en las cuatro mezclas analizadas

ASFALTO		CAUCHO		PLÁSTICO		CAUCHO + PLÁSTICO	
Tiempo (min)	Deformación (cm)	Tiempo (min)	Deformación (cm)	Tiempo (min)	Deformación (cm)	Tiempo (min)	Deformación (cm)
1	0,10	1	0,11	1	0,19	1	0,19
3	0,22	3	0,30	3	0,28	3	0,33
10	1,02	10	1,17	10	0,38	10	0,82
15	1,08	15	1,29	15	0,41	15	0,98
20	1,15	20	1,43	20	0,45	20	1,02
25	1,243	25	1,77	25	0,47	25	1,12
30	1,30	30	1,91	30	0,49	30	1,17
35	1,44	35	1,99	35	0,61	35	1,23
40	1,53	40	2,11	40	0,66	40	1,35
45	1,68	45	2,29	45	0,68	45	1,38
60	1,89	60	2,39	60	0,77	60	1,74
-	-	-	-	75	0,80	75	1,80
-	-	-	-	90	0,82	90	1,82
-	-	-	-	105	0,86	105	1,83
-	-	-	-	120	0,89	120	1,87

Fuente: Archivo personal de los autores

Gráfica 4.1

Resultados de ahuellamiento en las cuatro mezclas analizadas



Fuente: Archivo personal de los autores

las pesas necesarias para conseguir la presión especificada, seguidamente se apoya la rueda cargada sobre la superficie de la probeta y se pone en marcha el carro, poniendo en movimiento el carro durante un período de 120 minutos sin interrupciones, haciendo periódicamente las correspondientes lecturas de la deformación.

Se determinan y anotan las deformaciones totales leídas en los minutos 1, 3 y 5 contados a partir del comienzo del ensayo; a continuación cada 5 minutos

hasta completar 45 minutos y, a partir de allí cada 15 minutos hasta finalizar los 120 minutos de la duración del ensayo.

La metodología aplicada a este ensayo se basó en la norma IVIAS E-756.

#### 4.2 Análisis y resultados

El ensayo se realiza sobre una placa de largo de 30cm, profundidad de 15cm y espesor de 8.5 cm. Bajo una presión de 0.662 MPa equivalente a 13 toneladas del eje equivalente del método racional, a una temperatura de 60°C.

La Tabla 4.1 resume los resultados obtenidos de los ensayos de ahuellamiento realizadas a las cuatro mezclas.

Las briquetas de mezcla con solo asfalto, y mezcla modificada con caucho se registraron datos hasta que la briqueta obtuviera una deformación de más o menos 2.0 cm, esto ocurrió a los 60 min; y 120 min para la mezcla asfáltica modificada con los dos materiales y mezcla modificada con plástico.

La gráfica 4.1 presenta las curvas de ahuellamiento para cada uno de los tipos de mezcla, donde se

ASFALTO		CAUCHO		PLÁSTICO		CAUCHO + PLÁSTICO	
Tiempo (min)	Deformación (cm)	Deformación (cm)	Porcentaje (%)	Deformación (cm)	Porcentaje (%)	Deformación (cm)	Porcentaje (%)
1	0,095	0,105	-10,5	0,193	-102,6	0,19	-100,0
3	0,215	0,300	-39,5	0,275	-27,9	0,33	-53,5
5	0,690	0,555	19,6	0,330	52,2	0,45	34,8
10	1,015	1,170	-15,3	0,380	62,6	0,82	19,2
15	1,080	1,290	-19,4	0,410	62,0	0,98	9,3
20	1,145	1,425	-24,5	0,446	61,0	1,02	10,9
25	1,235	1,765	-42,9	0,469	62,1	1,12	9,3
30	1,295	1,905	-47,1	0,494	61,9	1,17	9,7
35	1,435	1,990	-38,7	0,605	57,8	1,23	14,3
40	1,525	2,110	-38,4	0,658	56,9	1,35	11,5
45	1,675	2,285	-36,4	0,683	59,3	1,38	17,6
60	1,885	2,390	-26,8	0,773	59,0	1,74	7,7

Fuente: Archivo personal de los autores

puede observar que la mezcla que presenta peor comportamiento es la modificada con adición de caucho, alcanzando una deformación de 2.4 cm a los 60 min.

La mezcla asfáltica modificada con plástico posee el mejor comportamiento obteniendo no más de un centímetro (1 cm) de deformación durante dos horas (120 min) de ensayo.

Al mezclar los dos materiales (caucho 75% y plástico 25%) se obtiene una curva de menor deformación con respecto a la curva de mezcla original (sólo asfalto), lo cual indica que la mezcla modificada presenta mejor comportamiento por la adición de plástico que logra excelentes resultados en cuanto a la deformación permanente.

La norma I.N.V.E – 756 sugiere determinar las velocidades de deformación en los intervalos en los cuales se manifieste claramente el comportamiento de las mezclas en el ensayo, la velocidad de deformación se analiza para los siguientes espacios de tiempo: 30/45, 75/90 y 105/120 min. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede inferir que para las mezclas asfálticas modificadas con plástico y modificadas con los dos materiales (caucho y plástico), la velocidad de deformación en el primer intervalo de tiempo es mayor y va decreciendo a medida que transcurre el tiempo, alcanzando una velocidad de casi cero cuando termina

el ensayo, lo que indica, que una vez pasadas las dos horas, la deformación permanece casi constante.

En la tabla 4.2 se presenta el porcentaje de reducción de ahuellamiento de las mezclas asfálticas modificadas con respecto a la mezcla asfáltica sin modificar.

Las deformaciones debidas al ahuellamiento en la mezcla asfáltica modificada con plástico disminuyen en un 59 % a los 60 minutos de transcurrido el ensayo.

Esta mezcla es la que presenta mejor comportamiento a largo plazo brindando las mejores condiciones en reducción de deformaciones permanentes.

La mezcla modificada con caucho no presenta un buen comportamiento en este ensayo, alcanzando deformaciones de un 27 % por encima de la deformación de la mezcla asfáltica sin modificar, lo que indica que este material no posee condiciones favorables para brindar a la mezcla un buen desempeño en el momento de deformarse.

La mezcla modificada con los dos materiales (caucho y tiras de plástico) presenta un mejor comportamiento comparado con la mezcla sin modificar, alcanzando un 8% de reducción de ahuellamiento a los 60 min. de haber iniciado el ensayo.

## 5 Módulo dinámico elástico

### 5.1 Marco teórico:

#### 5.1.1 Módulo dinámico

Se puede considerar como la propiedad más importante debido a que suministra información sobre el comportamiento dinámico de la mezcla, básicamente es la relación entre la deformación del material bajo una carga aplicada y el esfuerzo y es la magnitud del módulo complejo de una mezcla.

Está relacionado con la temperatura y la velocidad a la que se aplica el esfuerzo, mas concretamente, a altas temperaturas y tiempos de aplicación largos el módulo es bajo, mientras que a bajas temperaturas y tiempos cortos de aplicación de la carga el módulo será alto.

### 5.2 Marco teórico de recursos

#### 5.2.1 Aplicaciones NAT

Para el desarrollo de los módulos de tensión indirecta, el laboratorio de universidad Javeriana cuenta con el NAT, equipo que fue desarrollado por Cooper Research Technology, esta prensa hidráulica es un equipo

Un computador auxiliar es utilizado para procesar los datos obtenidos mediante la implementación de un software especialmente desarrollado que guía al usuario en cada procedimiento.

#### 5.2.2 Descripción NAT

El Nottingham Asphalt Tester, consta de 4 partes principales: (A) El marco de carga, (B) El sistema hidráulico, (C) El sistema de adquisición de datos y módulo de control, (D) Cámara de temperatura controlada, (E) Alimentación eléctrica y (F) Panel de control.

#### 5.2.3 Principio de funcionamiento del NAT

El ensayo NAT debe aplicarse a muestras cilíndricas preparadas en el laboratorio con diámetros entre 100 mm y 150 mm y alturas entre 30 mm y 75 mm. A estas probetas se les aplica un pulso de carga de compresión a lo largo del diámetro vertical de la muestra a una temperatura y una frecuencia de carga establecidas, aplicando tensión y deformaciones horizontales.

### 5.3 Metodología

#### 5.3.1 Probetas NAT

Para la realización del ensayo, cuyo objetivo es la determinación de los módulos a temperaturas (10°C, 20°C y 30°C) y a frecuencias (2.5 Hz, 5.0 Hz y 10 Hz), se fabricaron 3 probetas Marshall para cada una de las mezclas analizadas, sin modificar (solo asfalto), modificadas (con plástico, con caucho, y con la combinación de los dos materiales), para un total de 12 probetas.

#### 5.3.2 Resumen del método

Las probetas se acondicionan a la temperatura del ensayo antes de ser centradas dentro de la cámara, con las caras horizontales perpendiculares a la banda de carga inferior. La banda de carga superior es colocada en el aparato centrado con respecto a la probeta.

Por cada muestra, la máxima deformación horizontal por tensión es medida en el centro de la probeta a partir de la relación de Poisson, el máximo esfuerzo por tensión es medido en el centro y el módulo de rigidez por tensión indirecta igualmente en el centro.

Fotografía 5.1 Equipo NAT



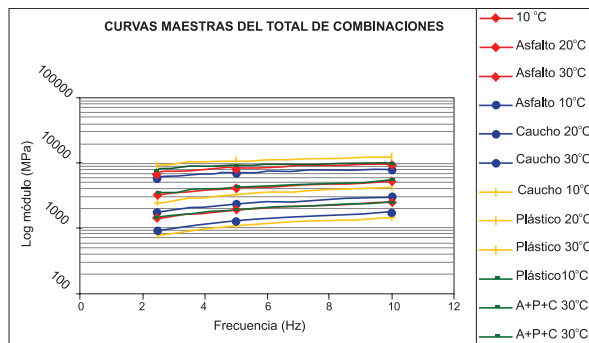
Fuente: Archivo personal de los autores

servoneumático de fácil uso permite medir y determinar las características mecánicas del asfalto, mediante pruebas como stiffness, fatiga en flexión y deformación permanente y módulo resiliente.

Se relacionan los módulos obtenidos, la frecuencia de aplicación de carga y la temperatura, con el objetivo de comparar los módulos obtenidos variando el porcentaje de polímeros aplicados (caucho y tiras de bolsas de leche), para cada caso se ensayaron 3 probetas. A partir de los resultados obtenidos es posible obtener las curvas maestras de todos los casos ensayados en el NAT, realizadas en función de la frecuencia en Hz y en escala semilogarítmica el módulo en Mpa. En la gráfica 5.1 se observan las curvas isotermas para la totalidad de casos ensayados.

Curvas isotermas para el total de combinaciones

Gráfica 5.1



Fuente: Archivo personal de los autores

En la gráfica 5.1 se puede observar que a medida que aumenta la frecuencia, los módulos aumentan, este comportamiento es común para los cuatro tipos de mezclas ensayadas.

alta (10° C), con un incremento solamente de un 4% frente a un 32 % de las briquetas sólo con adición de plástico.

La mayor magnitud, en relación con los módulos, fue obtenida para la menor temperatura (10°C), y el módulo más alto obtenido fue para las muestras con plástico a 10°C, con una frecuencia de 10 Hz, con un valor de 12553 Mpa (curva amarilla).

A 30° C es mejor el comportamiento de las briquetas combinadas, pues independiente de las condiciones, se registran módulos mucho más altos que para las briquetas sólo con adición de caucho.

Por otro lado, los módulos con valores más bajos fueron obtenidos para la temperatura más alta (30°C), y el caso más crítico fue en las briquetas con plástico, con una frecuencia de 2.5 Hz y con un valor de 781.5 Mpa.

Se puede concluir entonces que las briquetas combinadas con los dos materiales a altas temperaturas e independientes de la frecuencia tienen mejores comportamientos que las briquetas a las que se les adiciona un solo tipo de modificante.

5.4.1 Análisis de datos por frecuencia

5.4.2.1 Análisis de datos por temperatura.

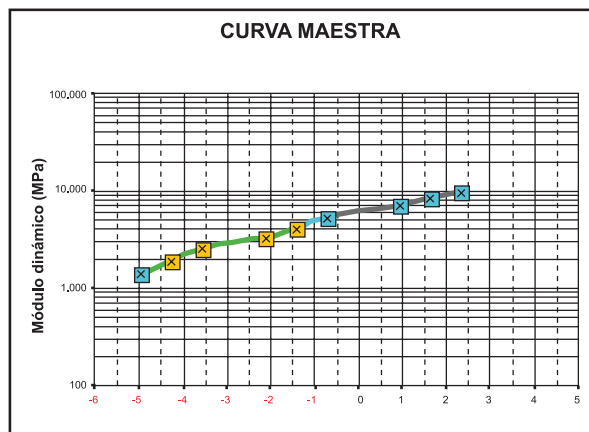
En el análisis de datos por frecuencia se fija la temperatura para obtener gráficas en función de la variación porcentual del módulo y la frecuencia de aplicación de la carga en Hz.

En el análisis de datos por temperatura se fija la frecuencia para obtener gráficas en función de la variación porcentual del módulo y la temperatura a la que fue ejecutado el ensayo.

Según los resultados obtenidos, las briquetas con adición del 0.7% de plástico tienen módulos más altos comparados con las briquetas a las que se les añadió caucho, el mejor valor de módulo en este caso se tiene para una frecuencia de la aplicación de carga de 2.5 Hz, a 20° C, en el caso del caucho los módulos disminuyeron hasta el 46% comparado con los resultados obtenidos para 10° C.

Curva maestra para mezcla asfáltica normal (sólo asfalto)

Gráfica 5.2

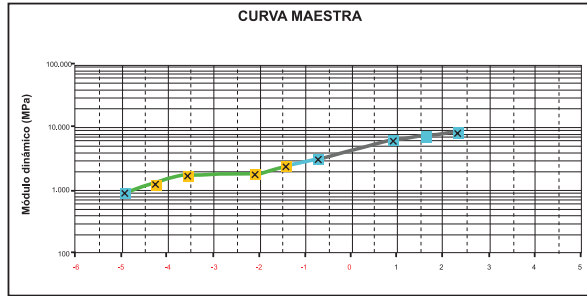


Fuente: Archivo personal de los autores

Para temperaturas de 10° C y 20° C, los mejores comportamientos se obtuvieron para las briquetas con adición de plástico.

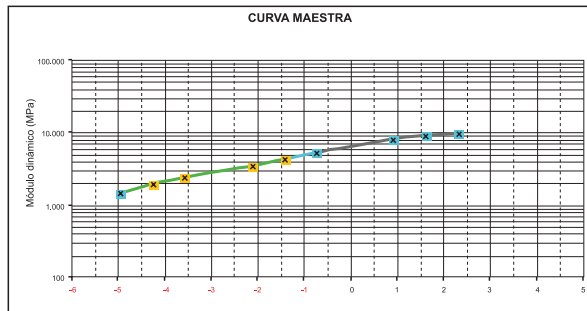
El peor resultado en cuanto a la magnitud de los módulos para las briquetas combinadas, es a la frecuencia más

**Gráfico 5.3** Curva maestra para mezcla asfáltica modificada con adición de caucho



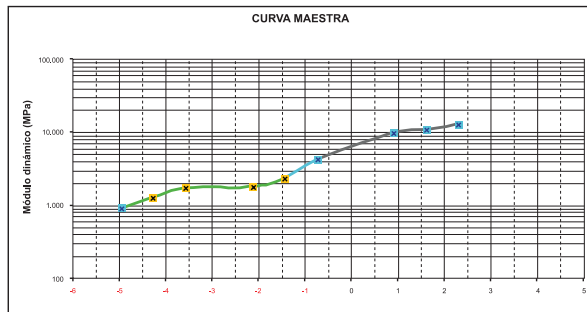
Fuente: Archivo personal de los autores

**Gráfico 5.4** Curva maestra para mezcla asfáltica modificada caucho plástico



Fuente: Archivo personal de los autores

**Gráfico 5.5** Curva maestra para mezcla asfáltica modificada con adición de plástico



Fuente: Archivo personal de los autores

Con el objetivo de comparar los valores de módulos más altos, se hace un comparativo de las variaciones porcentuales del módulo dinámico para cada combinación manteniendo constante la temperatura: de acuerdo a los resultados obtenidos de la comparación porcentual realizada, en los que es constante la frecuencia, se infiere que el mejor módulo obtenido para una frecuencia de 2.5 Hz, se da en el caso de las briquetas con adición de plástico, con un incremento porcentual de 41% para una temperatura de 10<sup>0</sup> C.

Para una frecuencia de 5 Hz, existe un comportamiento en las briquetas con adición de plástico, se registró un incremento de un 30% para una temperatura de 10<sup>0</sup> C. Para completar y organizar los resultados obtenidos, se realizaron las curvas maestras para cada tipo de mezcla,.

Las curvas maestras para cada mezcla se muestran a continuación:

## 6. Ensayo Sara - características químicas del cemento asfáltico

### 6.1 Marco teórico

#### 6.1.1 Caracterización química del cemento Asfáltico

Los diversos métodos utilizados para la caracterización química de los cementos asfálticos, se basan en la facilidad que tienen para ser separados en un gran número de clases o grupos genéricos, usando precipitación por solventes de diferentes grados de aromaticidad y cromatografía líquida.

Los componentes del asfalto pueden ser separados y evaluados usando la solubilidad de sus moléculas en diferentes disolventes. Los métodos más usados son el método cromatográfico de Corbett (usado por la ASTM) y el método de precipitación de Rostler. Las fracciones genéricas determinadas en estos métodos son mezclas complejas con propiedades variables y no son especies químicas discretas.

La estructura molecular del asfalto es extremadamente compleja y varía en tamaño y tipo de enlace químico con cada fuente o mezcla. Hay tres tipos básicos de moléculas: cíclicas, acíclicas y aromáticas. Los acíclicos o parafínicos son lineales, en tres dimensiones, en forma de cadena y son grasos por naturaleza. Los cíclicos o nafténicos, son anillos de carbono saturados, tridimensionales. Los aromáticos son planos, anillos estables de carbono que se agrupan fácilmente y tienen un fuerte olor. Todos estos tipos interactúan para manejar el comportamiento físico-químico del asfalto.

#### 6.1.2 Distribución por tamaño de las moléculas

La cromatografía líquida de alta presión ha sido usada para determinar la distribución de los tamaños de las moléculas en el asfalto. Esto es análogo a la determinación de la distribución de los tamaños en un agregado pétreo. Un cromatograma con la distribución



de las moléculas grandes, medianas y pequeñas es el resultado de este análisis.

El procedimiento consiste en pasar una solución del asfalto a través de una columna de filtración. El sistema permite que las moléculas más grandes pasen rápidamente la columna retardando el proceso de las más pequeñas.

Un sistema electrónico permite detectar y cuantificar la cantidad de moléculas para la definición del cromatograma. Jennings ha clasificado las moléculas eluidas durante el primer tercio del período de elusión como moléculas grandes (LMS), las eluidas durante el segundo tercio como moléculas de tamaño medio (MMS) y las eluidas en el último tercio del período como moléculas pequeñas (SMS). La distribución de tamaños moleculares es diferente en los cromatogramas obtenidos de dos asfaltos, por lo que se espera un comportamiento en servicio diferente, (gráfica 6.1).

## 6.2 Análisis de resultados

En el asfalto, los diferentes constituyentes siguen una ley coloidal expresada por la siguiente relación:

$$\frac{\text{IC} = \text{constituyentes floculados} = \text{saturados} + \text{asfaltenos}}{\text{constituyentes dispersados} = \text{aromáticos} + \text{resinas}}$$

### Ecuación 6.1

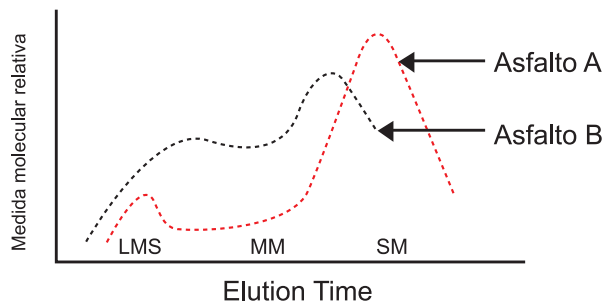
Siendo IC el índice de inestabilidad coloidal, el cual da una idea del grado de gelificación de los asfaltos o del cambio de la estructura coloidal y de la susceptibilidad térmica, experimentalmente se ha determinado un valor máximo de 0.6; si este valor es mayor, el asfalto se comporta como del tipo gel y es más pobre su estabilidad coloidal, sin embargo no se conoce un valor óptimo de inestabilidad coloidal para los asfaltos en general.

Los resultados del análisis SARA para la muestra de asfalto 80 – 100 y de asfalto modificado son las indicadas en las tablas 6.1 y 6.2:

Como se observa en las tablas 6.1 y 6.2, el índice de inestabilidad coloidal es el mismo (0.30), de aquí se infiere que el ensayo SARA no es útil para sacar las variaciones químicas del asfalto, pues la modificación que se da por el caucho y el plástico, sólo es posible medirla mediante ensayos mecánicos, comprobando las variaciones de las propiedades mecánicas de cada muestra.

Cromatograma típico de los cementos asfálticos

Gráfica 6.1



Resultados análisis SARA asfalto 80 - 100

Tabla 6.1

Fracción (% peso)				Índice de inestabilidad coloidal IC
Saturados	Aromáticos	Resinas	Asfaltenos	
16.29 ± 1.28	50 ± 2.28	27.08 ± 1.3	6.64 ± 1.1	0.3

Fuente: Archivo personal de los autores

Resultados análisis SARA asfalto modificado

Tabla 6.2

Fracción (% peso)				Índice de inestabilidad coloidal IC
Saturados	Aromáticos	Resinas	Asfaltenos	
13.32 ± 1.28	49.79 ± 2.28	27.01 ± 1.3	9.88 ± 1.1	0.3

Fuente: Archivo personal de los autores

## 7. Conclusiones

- La caracterización del asfalto realizada en los laboratorios de la universidad, mediante los ensayos de penetración, ductilidad, peso específico, viscosidad, punto de ablandamiento y punto de inflamación, son coherentes con los resultados de caracterización entregados por Patria S.A. realizados en la refinería de Barrancabermeja.
- Por medio de la metodología Marshall se determinó el contenido óptimo de asfalto sobre la mezcla sin modificar, dando como contenido de asfalto recomendable 6.3%, el análisis del diseño se rige por el artículo 400 de las normas INVIAS, siguiendo el criterio de diseño sugerido por NAPA.
- La selección de los porcentajes óptimos de caucho, plástico y combinación de los dos materiales se realizó mediante un análisis de relación estabilidad/flujo, teniendo como principio que un buen comportamiento de una mezcla asfáltica tiene valores de esta relación entre

300 a 500 consiguiendo que la mezcla tenga un mejor desempeño a la hora de ser funcional, manteniendo unas características de rigidez ideales, de acuerdo a este análisis. Los porcentajes óptimos de los materiales que fueron utilizados para la modificación de asfalto son los siguientes: caucho 0.10 %, tiras de plástico 0.70 % y para la combinación de los dos materiales fue caucho 75 % y tiras de plástico 25 %

- En el caso de mezclas modificadas (con caucho o con plástico) se puede concluir que a medida que el porcentaje de caucho y plástico aumenta, el porcentaje de vacíos en la mezcla también, lo que indica que al aumentar las proporciones de los modificantes en la mezcla, se dificulta la unión entre el agregado y asfalto.

- El comportamiento de la mezcla asfáltica modificada con plástico presentó mejora en ahuellamiento, alcanzando una deformación de no más de 1 cm a los 120 min de haber iniciado el ensayo. Las deformaciones en la mezcla asfáltica modificada con plástico disminuyen en un 59 % (a 60 min.) comparada con la mezcla sin modificar.

- La mezcla modificada con adición de caucho presentó el peor comportamiento, deformándose aproximadamente 2.4 cm (a 60 min), concluyendo que el caucho no tiene un buen comportamiento cuando se analiza en ensayos de ahuellamiento, obteniendo deformaciones superiores con respecto a las demás mezclas, esta mezcla alcanzó deformaciones de un 27 % por encima de la deformación de la mezcla asfáltica sin modificar.

- En cuando a la mezcla asfáltica modificada con caucho y plástico, esta presenta un mejor comportamiento que la mezcla sin modificar (sólo asfalto), lo cual muestra que el plástico logra excelentes resultados en cuanto a la deformación permanente. Esta mezcla presentó un 8% de reducción de ahuellamiento a los 60 min de haber iniciado el ensayo.

- La mayor magnitud en relación con los módulos fue obtenida para la menor temperatura (10°C), y el módulo más alto obtenido fue para las muestras con plástico a 10°C, con una frecuencia de 10 Hz, con un valor de 12553 Mpa.

- De acuerdo a las variaciones porcentuales obtenidas se observa que la mayor variación porcentual negativa (-46%), es en las probetas con adición de

caucho para 20 °C y 2.5 Hz.

- Para las briquetas con adición de 25% del óptimo de caucho y 75% del óptimo de plástico, se obtuvieron incrementos porcentuales del módulo, el más alto (14%) a 2.5 Hz y 10 °C.

- En el análisis de datos por temperatura el mejor módulo obtenido para una frecuencia de 2.5Hz, se da en el caso de las briquetas con adición de plástico, con un incremento porcentual de 41% para una temperatura de 10° C, sin embargo, es el único incremento que hay bajo estas condiciones, luego para las briquetas con adición de plástico el módulo disminuye, y a pesar de que en estas se registra un incremento del módulo, también en estas se encuentra el valor más crítico.

- El ensayo SARA no es útil para sacar las variaciones químicas del asfalto modificado, pues la modificación que se da por el caucho y el plástico, sólo es posible medirla mediante ensayos mecánicos.

## 8. Bibliografía

1. Arenas H. 2000. Tecnología del cemento asfáltico. Fundación para actividades de investigación y desarrollo. Calif.
2. COOPER RESEARCH TECHNOLOGY LIMITED. HY10 Users Manual. 1999.
3. Desarrollo de tecnologías para el uso de asfaltos y mezclas asfálticas modificadas. 1994. México. Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicio Conexos.
4. Ecopetrol. 1999. Cartilla práctica para el manejo de los asfaltos colombianos. Instituto Colombiano del Petróleo.
5. Figueroa A.S. y Reyes F.A. 2004. Universidad de La Salle, Asfaltos modificados con poliestireno, Bogotá D.C. CECATA – INDETEC.
6. Reyes F.A. 2004. Mejoramiento de las mezclas drenantes utilizando como ligante el asfalto-caucho. Grupo CECATA. Universidad Javeriana.
7. Reyes F.A. 2005. Uso de desperdicio plástico para mejorar las propiedades mecánicas de la estructura del pavimento. Universidad Javeriana.
8. Instituto Nacional de Vías. 1998. Especificaciones generales de construcción de carreteras. Santa Fé de Bogotá D.C. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
9. Instituto Nacional de Vías. 1997. Normas de ensayo de materiales para carreteras. Santa Fé de Bogotá D.C. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.