

## Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia

Ing. Hugo Alexander Rondón Quintana  
Universidad Católica de Colombia  
harondon@ucatolica.edu.co

Ing. Edgar Rodríguez Rincón  
Universidad Católica de Colombia  
erodriguezr@ucatolica.edu.co

Ing. Fredy Alberto Reyes Lizcano  
Universidad Javeriana, Colombia  
fredy.reyes@javeriana.edu.co

Ing. Claudia Marcela Real Triana  
Universidad Católica de Colombia  
claurealt@gmail.com

Ing. Ana Sofía Figueroa Infante  
Universidad de La Salle, Colombia  
afigueroa@lasalle.edu.co

Ing. Tito Alexander Montealegre Elizalde  
Universidad Católica de Colombia  
titomontealegre@gmail.com

Fecha de recepción: 02 de octubre del 2007

Fecha de aprobación: 23 de noviembre del 2007

### Resumen

En el mundo, la tecnología de los asfaltos modificados ha sido una técnica ampliamente utilizada para mejorar las características que presentan las mezclas asfálticas convencionales cuando son sometidas a niveles elevados de tránsito y de gradientes de temperatura. En Colombia, los desarrollos investigativos en el área de los asfaltos y las mezclas asfálticas modificadas son extensos en comparación con la cantidad de estructuras de pavimentos flexibles construidas con esta tecnología. El artículo presenta el estado del conocimiento de los estudios que han desarrollado diversos grupos e instituciones de investigación en el área de los asfaltos y las mezclas asfálticas modificadas en Colombia.

**Palabras clave:** Mezcla asfáltica, pavimento flexible, asfaltos modificados.

### Abstract

*In the world, the technology of modified asphalts has been a widely used technique to improve the characteristics that reveal the conventional asphalt mixtures when they are put at elevated levels of traffic and gradients of temperature. In Colombia, the research developments in the area of asphalts and the modified asphalt mixtures are extensive in comparison with the amount of constructed structures of flexible pavements using this technology. The article presents the state of the knowledge of the studies that have been developed with diverse groups and institutions of investigation in the modified area of asphalts and asphalt mixtures in Colombia.*

**Keywords:** Asphalt mixtures, flexible pavement, modified asphalts.

### 1. Introducción

El desarrollo de este estudio se basa en el análisis de documentos consultados de diferentes instituciones que han desarrollado investigación en el área de la modificación de asfaltos y de las mezclas asfálticas.

Se determinaron puntos claves del desarrollo de las investigaciones como son objetivos, problema de investigación, tipos de aditivos, metodología, ensayos realizados, resultados, recomendaciones y conclusiones. Una vez determinados estos puntos claves se procedió a consignarlos en cuadros resumen para poder tener

una idea más clara del desarrollo de dichos proyectos. Los resúmenes pueden ser consultados en [1].

Luego de tener la totalidad de los proyectos resumidos, se procedió a realizar el análisis del estado del conocimiento de los desarrollos realizados en el área de los asfaltos y las mezclas modificadas en Colombia.

En total fueron consultados en las distintas entidades 40 documentos como tesis de pregrado, tesis de posgrado, Simposios y Jornadas del asfalto y de pavimentos. Estos documentos pertenecen a un período comprendido entre 1979 y 2005.

### 2. Análisis

#### 2.1 Entidades

Debido a su capacidad en cuanto a infraestructura, personal y equipos de laboratorio ciertas instituciones han realizado mayor investigación con respecto a otras en el área de los asfaltos modificados. Muchas de estas instituciones comenzaron a realizar investigación desde hace muy poco tiempo (menos de 5 años) y han conseguido obtener resultados valiosos que motivan a continuar con este tipo de proyectos.

En total fueron consultados 40 proyectos de investigación. En la Gráfica 1 se presentan los valores porcentuales del número de proyectos consultados sobre mezclas asfálticas modificadas de cada institución con respecto al total de la muestra estudiada. En la gráfica se puede observar que de la muestra de instituciones consultadas, las que más han realizado investigación en el área de los asfaltos modificados son la Pontificia Universidad Javeriana, Universidad Industrial de Santander, Universidad del Cauca, Universidad de los Andes, Universidad Militar y la Universidad Católica de Colombia. El resto de instituciones han realizado un número menor de investigaciones pero con la misma importancia que las anteriores.

## 2.2 Volumen de investigaciones anuales

En la Gráfica 2 se puede observar el número de investigaciones por año que se realizaron sobre asfaltos modificados (basados en la muestra consultada). En la gráfica se puede observar que en los últimos 4 años ha existido mayor continuidad de las investigaciones, en su mayoría realizadas por la Pontificia Universidad Javeriana, Universidad Militar, Universidad del Cauca, Universidad de los Andes y la Universidad Católica de Colombia.

## 2.3 Objetivos de investigación

Estos se encuentran enfocados dependiendo de la capacidad técnica y financiera de la institución o grupo que realizó la investigación. Los principales objetivos que se encontraron dentro de los proyectos de investigación consultados se han concentrado en medir (ver Gráfica 3):

- Deformación permanente (Ahuellamiento).
- Desgaste (Cántabro).
- Resistencia (Estabilidad Marshall).
- Envejecimiento.
- Comportamiento térmico.
- Fatiga.
- Adherencia.
- Costos de la mezcla convencional vs. la modificada (economía).
- Beneficios ambientales.
- La influencia de adicionar nuevos materiales al asfalto.

En la gráfica 3 se observa que el objetivo mas perseguido por los diferentes grupos de investigación ha sido medir cómo influye en la resistencia obtenida por medio del ensayo de estabilidad Marshall, la adición de polímeros al asfalto.

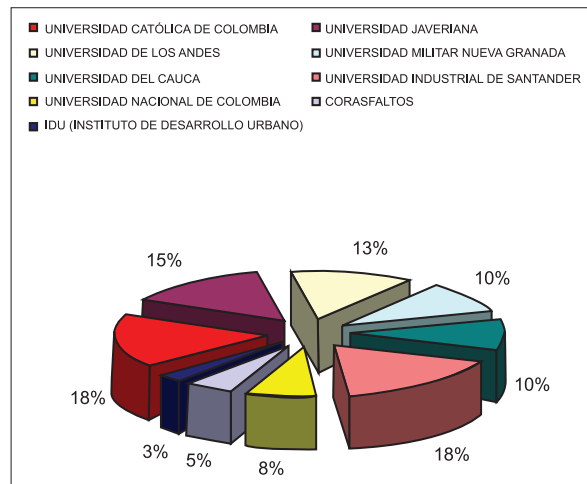
## 2.4 Polímeros

En la Gráfica 4 se presentan los polímeros utilizados en las investigaciones consultadas. La mayoría de polímeros utilizados son por lo general producto del reciclaje o de desecho industrial. Otros por el contrario, como la asfaltita y el látex, se fabrican de materiales naturales.

Los documentos consultados muestran claramente que los polímeros con los que más se trabaja en las

Instituciones que realizan investigación sobre asfaltos modificados en Colombia

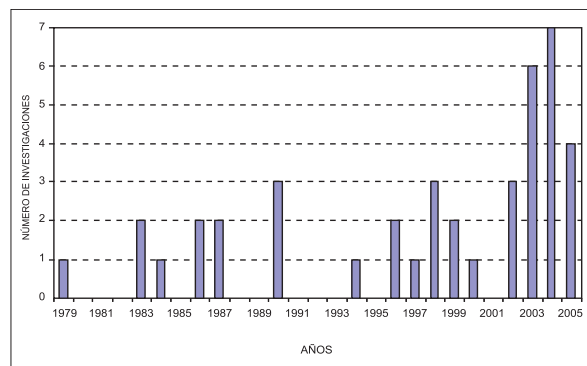
Gráfica 1



Fuente: Autores

Años vs. cantidad de investigaciones realizadas

Gráfica 2



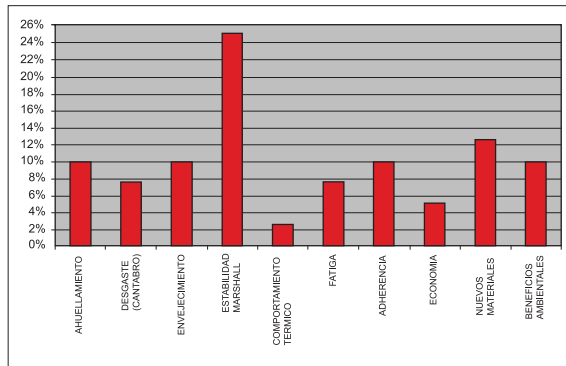
Fuente: Autores

investigaciones fueron los que se encuentran dentro del grupo de los elastómeros (Gráfica 5).

## 2.5 Metodología

A continuación se enuncian los pasos metodológicos generales que utilizan los investigadores para el desarrollo de los proyectos sobre modificación de asfaltos:

1. Recopilación de información referente al tema.
2. Selección de material.
3. Caracterización de los materiales.
4. Ensayos de laboratorio para agregados y cemento asfáltico.
5. Diseño y ensayos de laboratorio sobre la mezcla convencional.



Fuente: Autores

6. Determinación del porcentaje óptimo de asfalto.
7. Ensayos de laboratorio al cemento asfáltico modificado.
8. Diseño de la mezcla con adición de polímero o material modificador.
9. Ensayos de laboratorio sobre la mezcla modificada.
10. Conclusiones y recomendaciones.

Dependiendo del año en que estos pasos fueron desarrollados, la investigación se basaba en la especificación que regía en ese momento. Por ejemplo, un proyecto desarrollado en el año de 1985 se basaba en las especificaciones del MOPT (Ministerio de Obras Públicas y Transporte), mientras que un proyecto de investigación realizado en el año 2003 se encuentra basado en las especificaciones del INVIAS (2002)<sup>1</sup>. En otros casos, el investigador era obligado a trabajar con especificaciones internacionales, especialmente en proyectos sobre mezclas drenantes donde se empleaba la NLT (Norma del Laboratorio de Transporte de España) ya que la norma para este tipo de mezcla se implementó en Colombia sólo hasta las especificaciones INVIAS del año 2002. En algunas ocasiones se trabajaban dos metodologías (Metodología mixta).

En la Gráfica 6 se presentan las especificaciones más consultadas por los investigadores para el desarrollo de sus trabajos. En esta gráfica se observa que la especificación más consultada es la del INVIAS.

## 2.6 Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio más utilizados para caracterizar el agregado pétreo son los siguientes:

- Porcentaje de caras fracturadas en los agregados.
- Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños

1. Instituto Nacional de Vías – INVIAS. Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras. Bogotá D.C. (Colombia), 2002.

menores de 37.5 mm (1½") por medio de la máquina de Los Ángeles.

- Resistencia al desgaste de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (¾") por medio de la máquina de Los Ángeles.
- Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio.
- Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras.
- Equivalente de arena de suelos y agregados finos.
- Contenido de impurezas en agregados gruesos.

Estos ensayos se realizan con el fin de determinar si los agregados con los que se realizará el diseño en el laboratorio cumplen con las especificaciones que se exigen para la conformación de la mezcla asfáltica en estudio.

A continuación se encuentran los ensayos más utilizados sobre el asfalto:

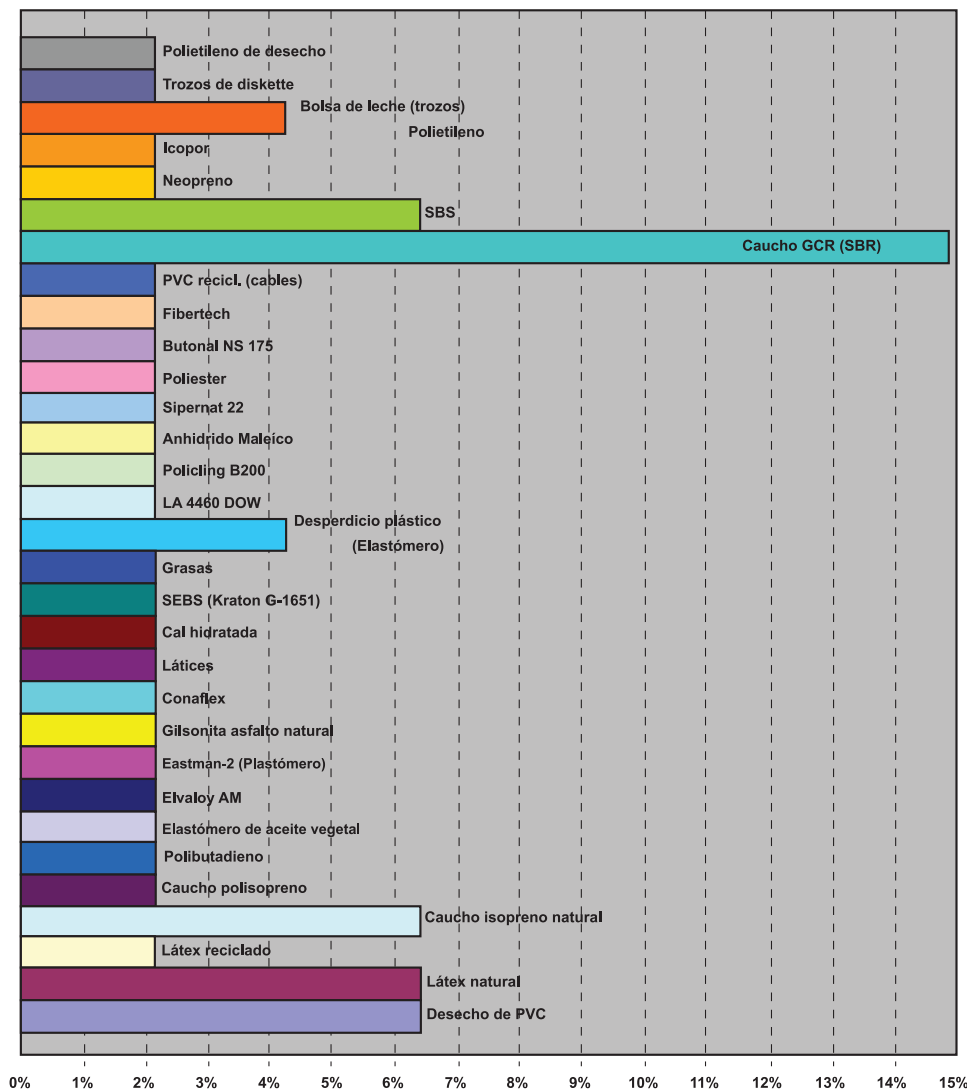
- Ensayo de penetración.
- Ensayo de punto de ablandamiento (Método de anillo y bola).
- Viscosidad.
- Punto de ignición y de llama mediante la copa abierta de Cleveland.
- Ensayo de ductilidad.
- Peso específico.
- Envejecimiento.

Estos determinan la calidad del cemento asfáltico que se está utilizando. Además sus resultados sirven como referencia para compararlos con los resultados del asfalto modificado.

Los siguientes ensayos de laboratorio realizados sobre mezclas asfálticas dependen de los objetivos del proyecto y del tipo de mezcla que se esté trabajando:

- Ensayo Marshall.
- Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo Cántabro.
- Ensayo de permeabilidad.
- Módulo dinámico.
- Deformación permanente (Ahuellamiento).
- Fatiga.
- Adherencia.

En la Gráfica 7 se observa que el ensayo Marshall es el más utilizado para investigar el comportamiento de mezclas asfálticas modificadas. Ensayos para medir



comportamiento dinámico o de envejecimiento no son tan utilizados puesto que no en todas las instituciones se cuenta con los equipos para medir estas propiedades.

**2.7 Resultados y conclusiones de los proyectos:**

A continuación se realiza un breve resumen de los resultados y conclusiones más importantes que se han obtenido de los documentos consultados.

- Estabilidad Marshall**

Las mezclas densas diseñadas por el método Marshall, experimentan una reducción en el contenido óptimo de asfalto cuando se agrega policling B-200. Además incrementa notablemente la estabilidad. Comparando la mezcla convencional y la modificada, se tiene para

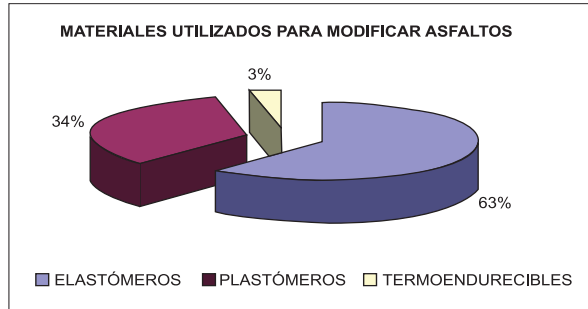
el asfalto sin aditivo una estabilidad máxima de 3250 lbs, correspondiente a un porcentaje de asfalto del 6%, mientras que para el asfalto con aditivo la estabilidad es de 4100 lbs. Con este aditivo se puede observar una reducción en el flujo de 27%. [2].

Cuando se adiciona SIPERNAT 22 al asfalto, las mezclas modificadas no presentan mejoras significativas en la estabilidad y el flujo. [3].

Resultados no muy alentadores en cuanto a estabilidad y flujo se obtuvieron cuando se adicionó Anhídrido Maleico y L. A. 4460 DOW a las mezclas asfálticas en caliente. Con respecto a la mezcla convencional, la modificada presentó comportamiento similar en cuanto a estabilidad y flujo. [4].

Gráfica 5

Grupos de elementos modificadores de asfaltos



Fuente: Autores

Santander y sur del César, produce un aumento de la estabilidad Marshall entre 40 y 50%. [5].

Cuando se adicionan fibras de poliéster al asfalto se produce una disminución de la estabilidad en las mezclas, debido a que la fibra no presenta resistencia significativa a cargas de compresión. Se observa además un ligero aumento del peso unitario con la adición de las fibras. Contrario a la estabilidad, adicionar poliéster a las mezclas produce un aumento del 139% de la resistencia última en el ensayo de tracción indirecta. [6].

Adiciones de asfalto - caucho en mezclas drenantes producen una disminución del porcentaje óptimo de asfalto de 5.1% (asfalto convencional) a un 4.6% (asfalto modificado). Además eleva la estabilidad en un 25%, sin presentar diferencias considerables en las otras propiedades. Se puede afirmar que la adición de caucho mediante el proceso por vía húmeda permite mejorar la resistencia a las cargas producidas por el tráfico, utilizando una menor proporción de ligante. [7].

De acuerdo con [8], adicionar desperdicios elastoméricos a una mezcla asfáltica produce un aumento de la estabilidad y densidad.

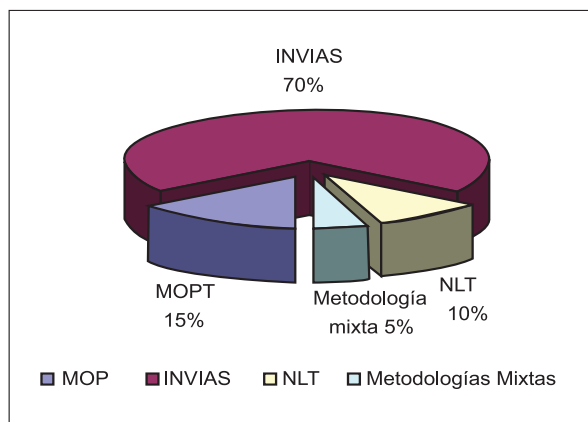
Adicionar FIBERTECH (polvo, fibra y polvo-fibra) a una mezcla asfáltica 0/10 por vía seca, produce un aumento del 74% en el valor de la estabilidad cuando las briquetas se compactan a 50 golpes por cara y del 16% cuando se compactan a 75 golpes empleando CA 60-70. Cuando se emplea CA 80-100 este aumento en la estabilidad es de 33% cuando se compacta a 50 golpes y de 16% cuando se compacta a 75 golpes. Contrario a lo anterior las mezclas presentaron una pequeña disminución de su peso unitario en un rango entre 4 y 0.1%. Las mezclas drenantes convencionales y modificadas presentaron un comportamiento similar en el flujo [9].

Según [10], cuando se adiciona por vía seca al agregado pétreo tiras de bolsas plásticas, caucho molido y trozos de diskette, la estabilidad de las mezclas modificadas disminuye con respecto a la convencional. Se observó además que el porcentaje de vacíos y el flujo de las mezclas modificadas incrementan. Los autores recomiendan en fases posteriores de la investigación, agregar los aditivos al asfalto (vía húmeda).

Mezclas asfálticas (MDC-2) modificadas con látex natural presentan un aumento de la estabilidad en un 29% con respecto a la mezcla convencional en el

Gráfica 6

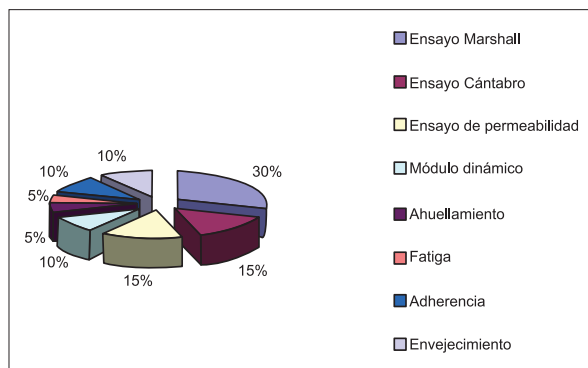
Norma utilizada en los proyectos consultados



Fuente: Autores

Gráfica 7

Ensayos de laboratorio



Fuente: Autores

La modificación del asfalto de la refinería de Barrancabermeja con asfaltita de la zona del norte de

porcentaje óptimo de asfalto y aditivo. Este tipo de mezcla muestra una tendencia a mejorar las propiedades de peso unitario y porcentaje de vacíos a medida que se adiciona el látex al asfalto. [11].

Con respecto a la modificación de mezclas asfálticas con caucho reciclado la literatura es ambigua. Según [12], cuando se adiciona caucho reciclado se presenta en las mezclas asfálticas una reducción en la estabilidad y un aumento del flujo y de los vacíos de la mezcla. De acuerdo con [13], mezclas asfálticas (MDC-2) modificadas con caucho reciclado presentan comportamiento similar a la de la mezcla asfáltica convencional, pero se observa una tendencia de mejorar las propiedades de peso unitario y porcentaje de vacíos a medida que se adiciona caucho reciclado al asfalto. De acuerdo con [14], las mezclas asfálticas modificadas con caucho reciclado presentan un aumento de estabilidad (entre 14 y 17% cuando se compacta a 75 golpes y 50 golpes respectivamente) y densidad independientemente de la forma del aditivo (grano, fibra y polvo). Cuando la adición del caucho se realiza por vía seca a la mezcla, el contenido de vacíos y el flujo aumentan y la estabilidad y el peso unitario disminuyen [40].

Según [15], a medida que incrementa el porcentaje de adición de Icopor a mezclas asfálticas 0/10, la densidad descende, la estabilidad aumenta y el flujo permanece constante con respecto a las mezclas sin Icopor.

De acuerdo con [16], las mezclas asfálticas modificadas con desecho de policloruro de vinilo (PVC), látex natural y caucho reciclado, presentan mejor comportamiento que la convencional (especialmente en estabilidad). El mejor comportamiento de las mezclas asfálticas se obtiene cuando se mejora el asfalto con desecho de PVC. En el porcentaje óptimo de esta mezcla el peso unitario es similar, el porcentaje de vacíos es menor y la estabilidad es 1.76 veces mayor que el de la mezcla convencional.

Mezclas asfálticas (MDC-1) modificadas con desecho de polietileno de alta densidad (PEAD) presentan mejor comportamiento que las convencionales, especialmente en rigidez, resistencia a la deformación y peso unitario [16] y [17].

- *Deformación permanente (Ahuellamiento)*

Según [18], cuando se modifica el asfalto de Apiay con elastómero obtenido a partir de aceite vegetal,

las mezclas asfálticas modificadas presentan mayor deformación permanente que las convencionales.

Cambiar el llenante mineral de mezclas asfálticas por fino-cemento produce un aumento en la resistencia a la deformación permanente. [19].

Modificación de mezclas drenantes con adición de desperdicio plástico (trozos de bolsa de leche) produce una disminución del 30% de la deformación permanente con respecto a la mezcla original. Una disminución mayor de la deformación se observa cuando se adiciona Icopor a la mezcla. [20]. Igualmente, [15] también demostró que cuando se adiciona Icopor a las mezclas asfálticas cerradas 0/10, se observa una disminución de la deformación permanente.

Cuando se adiciona fibras de FIBERTECH a la mezcla asfáltica se reduce la deformación permanente aproximadamente entre un 15 y 25% cuando se compactan las briquetas a 50 golpes y esta disminución está entre 20 y 30% cuando se compactan a 75 golpes [9].

Al igual que en el ensayo de estabilidad Marshall la literatura no es muy clara reportando el efecto que tiene el caucho molido en la resistencia a la deformación permanente. De acuerdo con [14], la deformación permanente de mezclas asfálticas descende hasta un 13% cuando se adiciona polvo de llanta a las mezclas y de 23% cuando se adiciona fibras de llanta. En [21] se demuestra que al incorporar caucho como material granular fino a una mezcla MDC-2, la deformación permanente de las mezclas modificadas es mayor en comparación con la convencional. Cuando la adición del caucho al asfalto se realiza por vía seca, se observa en mezclas (MDC-1 y MDC-2) un incremento de la deformación permanente [40].

En una prueba realizada en el "Carrusel de Fatiga" de la Universidad de Los Andes, donde se comparó el comportamiento de una mezcla asfáltica con y sin caucho molido, se pudo observar que la estructura de pavimento que más se deformó fue aquella que no empleó caucho como aditivo (es decir, la mezcla convencional) [40].

- *Desgaste*

De acuerdo con [22], la pérdida por desgaste disminuye cuando se adiciona BUTONAL NS 175 al asfalto.

Según [23], en el diseño de una mezcla asfáltica drenante con tiras de bolsa de leche se presenta disminución del desgaste con respecto a las briquetas sin adición. Similares resultados son presentados por [20] donde se observa una disminución del 31,5% en la pérdida por desgaste cuando se adiciona trozos de bolsa de leche a mezclas drenantes.

Cuando se utiliza asfalto – caucho para modificar mezclas drenantes los resultados indican un pequeño mejoramiento en la pérdida por desgaste al Cántabro. Con el asfalto - caucho las pérdidas oscilan entre el 9 y el 13 % mientras que con el asfalto convencional son del 10 al 15 % [7].

De acuerdo con [24], cuando se modifica la mezcla drenante con desecho de látex, el desgaste es similar en comparación con la mezcla original.

Cuando se adiciona desecho de PVC (en porcentajes de 0.5, 1.0 y 1.5% con respecto al peso de las briquetas) al asfalto con el fin de modificar mezclas drenantes, se genera una pérdida por desgaste Cántabro mayor que cuando se utiliza mezcla convencional. Los autores tienen como hipótesis que adiciones menores de desecho de PVC mejorarían el comportamiento de las mezclas drenantes [25].

Al realizar el ensayo Cántabro después de incorporar elastómero en mezclas drenantes, se observó una significativa disminución del desgaste de la briqueta. [39].

- *Envejecimiento*

Cuando se adiciona POLICLING B-200 al asfalto, las pérdidas por calentamiento son casi nulas [2].

Según [5], cuando se modifican mezclas asfálticas con asfaltitas las muestras no sufren cambios apreciables luego del ensayo de película delgada.

Asfaltos modificados con polímero SEBS (KRATONG-1651), presentan una disminución notable del punto de ablandamiento cuando se envejecen. Contrario a lo anterior, el asfalto sin modificador aumenta el punto de ablandamiento después del envejecimiento. Sin embargo, después de la prueba de envejecimiento a corto plazo, el asfalto modificado sigue mostrando un módulo complejo mayor que el del asfalto sin modificar [26].

Los asfaltos modificados con polímeros tipo homopolímero (forma esférica con diámetro aproximado de 3 milímetros en una mezcla asfáltica cerrada) siguen un patrón de oxidación similar al del asfalto original del cual provienen. Se encuentran diferencias en las propiedades reológicas en el largo plazo de oxidación, pero no significativas como para esperar cambios drásticos en el comportamiento del ligante [27].

De acuerdo con [28], modificar asfaltos con PVC reciclado de cables en pequeñas proporciones no contribuye en el mejoramiento de la resistencia al envejecimiento. Un mejor desempeño con respecto a esta propiedad se logra cuando se emplean altos porcentajes de aditivo (5 – 7% del peso de la muestra).

La resistencia al envejecimiento de asfaltos con adición de látex es superior al asfalto original [30].

Para el envejecimiento PAV la incorporación de tierras diatomáceas al asfalto no resulta en una modificación favorable [31].

Cuando se modifica cemento asfáltico con caucho molido por vía húmeda se observa una disminución del 50% de la pérdida por envejecimiento en RTFO con respecto al cemento asfáltico convencional [40].

- *Comportamiento térmico*

Adicionar POLICLING B-200 al asfalto genera una disminución de la viscosidad y aumento de la penetración. El punto de inflamación para el asfalto sin aditivo es de 298 °C y para el asfalto modificado es de 339 °C, representando mayor seguridad cuando se utilizan los asfaltos con aditivo por existir menor riesgo de inflamación al preparar la mezcla [2].

Según [32], los ligantes asfálticos modificados con CONAFLEX presentan disminución en la susceptibilidad térmica. Similares observaciones se presentan en [23], cuando se adiciona polietileno al asfalto.

De acuerdo con [33], la modificación de crudo con desechos plásticos mejora sus características haciendo posible su comparación con un asfalto convencional. Al modificar el crudo se obtiene un cemento asfáltico, que le imprime a la mezcla características superiores a los asfaltos convencionales. La mezcla asfáltica con crudo modificado presenta una menor susceptibilidad térmica y aumenta la resistencia al ahuellamiento a altas temperaturas en comparación a la mezcla sin aditivo.

Según [3], adicionar SIPERNAT 22 al cemento asfáltico genera aumento de la ductilidad, reducción de la penetración e incremento en el punto de ablandamiento. De igual forma, se observa que el asfalto con el aditivo, es menos susceptible a los cambios de temperatura. De acuerdo con el autor, la presencia del aditivo protege a la carpeta de posible rigidización al ser expuesta a bajas temperaturas.

Cuando se adiciona ANHÍDRIDO MALEICO y L.A. 4460 DOW al asfalto, se genera un aumento del punto de ablandamiento y disminución de la penetración, del punto de chispa, del punto de llama y de la ductilidad. El índice de penetración se hace menos negativo a medida que el porcentaje de mezcla (asfaltos + LA 4460 DOW) aumenta [4].

Según [5], la modificación de asfaltos con asfaltita produce una disminución en la penetración y un incremento del punto de ablandamiento. Además se observa un incremento del índice de penetración con la incorporación de porcentajes crecientes de asfaltita y una disminución en los valores del punto de chispa.

Cuando se comparan asfaltos convencionales y modificados con BUTONAL NS 175, se observa en el modificado un incremento en la consistencia y adhesión, aumento de resistencia a altas temperaturas y flexibilidad a bajas temperaturas aumentando su rango de trabajo [22].

La modificación de asfaltos con SBS, ELVALLOY AM, EASTMAN EE-2 y asfalto natural Gilsonita, genera una disminución del grado de manejabilidad. La viscosidad a una temperatura promedio de manejo se incrementa con la adición del modificador. La penetración se reduce en un mayor o menor grado dependiendo del tipo de modificador [34].

Según [23], modificar asfaltos con tiras de bolsa de leche disminuye la susceptibilidad térmica debido a que la adición del plástico (polietileno de baja densidad) tiene buena resistencia térmica, así como también buen comportamiento a bajas temperaturas.

Modificación de asfalto con caucho produce un material menos quebradizo a bajas temperaturas y el punto de ablandamiento incrementa mejorando la resistencia a la deformación plástica a temperaturas elevadas [7]. Según [29], al adicionar caucho reciclado al asfalto el punto de ablandamiento aumenta en un 22.04%. Los autores concluyen que el asfalto modificado con caucho

presenta una mayor rigidez a bajas temperaturas debido a la disminución de la penetración (aumento de su consistencia) con respecto al asfalto convencional. Según [13] y [16], valores similares de penetración, punto de ablandamiento y viscosidad a distintas temperaturas se obtuvieron, cuando se analizaron asfalto convencional y modificado con caucho molido. De acuerdo con [40], adiciones de caucho al asfalto producen un aumento de la viscosidad, rigidez y componentes elásticas superiores que los ligantes convencionales. Además la ductilidad decrece en casi un 90%, la penetración disminuye en un 50% y el punto de ablandamiento aumenta.

Modificar mezclas asfálticas con SEBS (KRATONG-1651) genera aumento de la viscosidad y del punto de ablandamiento [26].

Según [30], adicionar látex al asfalto genera una leve disminución de la penetración y de la susceptibilidad térmica.

De acuerdo con [16] y [35], disminución de la susceptibilidad térmica se presenta cuando se modifica asfalto con desecho de PVC, manifestada a través de los cambios que en penetración se obtuvieron a distintas temperaturas. Además presenta un valor aproximado de 3 veces mayor viscosidad que el asfalto convencional, es decir, permite predecir menor ahuellamiento a altas temperaturas de servicio.

Cuando se adiciona EASTMAN (EE-2) al asfalto, se observa un aumento significativo en el punto de ablandamiento y una reducción notoria en la penetración. En cuanto a la viscosidad presenta una mínima variación [36].

- *Fatiga y módulo dinámico*

Mezclas asfálticas modificadas con CONAFLEX exhiben mayor resistencia a fatiga y elevación del módulo dinámico a diferentes temperaturas, en relación con muestras convencionales [32]. Similares observaciones fueron observadas por [9] cuando se adiciona polvo, fibra, polvo-fibra y FIBERTECH a las mezclas asfálticas, y por [38] cuando se emplea BUTONAL NS-175/ SBR.

De acuerdo con [19], cuando se modifica la composición del llenante convencional por finos – cemento, se observa un incremento en el módulo dinámico de las mezclas modificadas de 73% para una temperatura de 20°C y de 121% para una temperatura de 30°C.



Además se observó que la resistencia a fatiga se eleva.

Según [7], mezclas drenantes utilizando como ligante asfalto – caucho, presentan un comportamiento similar a la mezcla convencional a las temperaturas de 10 y 20°C. A una temperatura de 30°C el módulo de rigidez de la mezcla con asfalto – caucho es superior en un 32% respecto a la convencional. En general, para las diferentes frecuencias, los módulos de rigidez de la mezcla con caucho incrementan con respecto a los módulos de las mezclas con asfalto convencional a medida que se aumenta la temperatura. Por lo anterior, los autores concluyen que la adición de caucho en el asfalto mejora levemente la susceptibilidad térmica de la mezcla asfáltica. Contrario a lo anterior y de acuerdo con [21], el módulo dinámico disminuye considerablemente a medida que se adiciona caucho a la mezcla asfáltica (MDC-2). En general, concluyen los autores que al incorporarle caucho como material granular fino a una mezcla tipo MDC-2 no se presentan ventajas con relación a las mezclas convencionales a temperaturas normales después de realizarse una caracterización dinámica que comprendió ensayos de módulos dinámicos, deformación permanente (ahuellamiento) y fatiga.

Cuando se modifican por vía seca mezclas densas en caliente (MDC-1 y MDC-2) con caucho molido, se observa una disminución en el módulo dinámico para diferentes temperaturas. Sin embargo, cuando esta modificación se realiza por vía húmeda se observa un aumento del módulo. A pesar que los resultados obtenidos para mezclas asfálticas modificadas con caucho por vía seca no fueron muy alentadores, una leve mejoría de la resistencia a fatiga se observa cuando se utiliza 1% de adición de caucho. Cuando la modificación se realiza por vía húmeda un fuerte incremento de la resistencia a fatiga se observa en las mezclas modificadas [40].

En una prueba realizada en el “Carrusel de Fatiga” de la Universidad de Los Andes para comparar el comportamiento de mezclas con y sin aditivo, se pudo observar que la capa asfáltica con mayor fisuración fue la que se conformó con la mezcla asfáltica sin caucho. En esta prueba se demostró que adiciones por vía seca o húmeda de caucho a las mezclas asfálticas mejoran su comportamiento in situ [40].

Según [37], mezclas cerradas modificadas con plásticos del tipo homopolímero presentan incremento

de los módulos dinámicos (a temperaturas de 10°, 20° y 30°C) a medida que se aumenta el porcentaje de aditivo. Similares observaciones fueron realizadas por [8] cuando se emplean desperdicios elastoméricos para mejorar las propiedades mecánicas de una mezcla cerrada 0/10, y por [20] cuando se adicionan desechos plásticos a mezclas drenantes.

Según [31], la incorporación de tierras diatomáceas al asfalto no resulta en una modificación favorable. El ligante presenta fallas por fisuramiento por fatiga a bajas temperaturas.

La modificación de crudo con desechos plásticos produce valores de módulos dinámicos similares a los obtenidos con mezclas elaboradas con cemento asfáltico [33].

- *Adherencia*

Según [3] al modificar mezclas asfálticas adicionando SIPERNAT 22 se obtuvo un aumento en la adherencia. Similares observaciones fueron presentadas por [4], [5], [6], [9], [22] y [23] cuando se modificaron las mezclas con ANHÍDRIDO MALEICO y L.A. 4460 DOW, asfaltita, fibras de poliéster, FIBERTECH, BUTONAL NS 175 y tiras de bolsa de leche respectivamente.

### 3. Conclusiones

Se observa un notable desarrollo académico e investigativo en el área de la modificación de asfaltos y mezclas asfálticas en Colombia. Sin embargo, la práctica de estos desarrollos es casi nula y en la actualidad a escalas moderadas, sólo las plantas de SHELL venden comercialmente asfalto modificado.

Pocos desarrollos investigativos del comportamiento dinámico de mezclas modificadas se han realizado en comparación con los de resistencia bajo carga monotónica o de comportamiento térmico (p.e., penetración, punto de ablandamiento y viscosidad). Lo anterior es debido a que no todas las instituciones cuentan con los equipos necesarios para medir propiedades dinámicas.

El comportamiento químico y mecánico de mezclas modificadas se ha estudiado de manera separada, lo cual no es lo ideal.

Por lo general los aditivos con los que se ha trabajado son materiales de desecho o del reciclaje. La utilización

de este tipo de materiales para modificar o mejorar alguna de las propiedades del asfalto o las mezclas, contribuiría al ambiente reduciendo el impacto negativo que producen y podría llegar a generar cultura del desarrollo sostenible en el área de los pavimentos.

De la bibliografía consultada, solo una investigación se realizó en una pista de prueba a escala [40]. Futuras investigaciones de este tipo se deben realizar con el fin de poder observar in situ los mecanismos de degradación de mezclas asfálticas convencionales y modificadas.

Esfuerzos conjuntos deben desarrollarse en un futuro con el fin de crear un gran centro de investigación sobre asfaltos y mezclas asfálticas modificadas.

### Referencias bibliográficas

1. Real, C. M. "Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia". Tesis de Grado, Universidad Católica de Colombia. Bogotá D.C., 2006.
2. Acevedo, P. y Munevar, H. "Los asfaltos en Colombia y el uso de aditivos". Tesis de Grado, Universidad Industrial de Santander 1979. 115p.
3. Rojas, H. "Mejoramiento de mezclas asfálticas". Tesis de Grado, Universidad Nacional de Colombia. 1987. 136p.
4. Amaya, J. y Rueda, C. "Análisis de mezclas asfálticas en caliente utilizando ANHÍDRIDO MALEICO y L.A. 4460 DOW, como modificadores de asfalto". Tesis de Grado, Universidad Industrial de Santander. 1996. 102p.
5. Saltarín, A y Acevedo, L. "Modificación del asfalto de la refinera de Barrancabermeja con asfaltita de la zona norte de Santander y sur del César". Tesis de Grado, Universidad Industrial de Santander. 1998. 158p.
6. Laguado, L. "Estudio del comportamiento de fibras sintéticas de poliéster como refuerzo en mezclas asfálticas". Tesis de Grado, Universidad Industrial de Santander. 1998. 135p.
7. Estrada, J. y González, A. "Mejoramiento de las mezclas asfálticas drenantes utilizando como ligante el asfalto – caucho". Tesis de Grado, Pontificia Universidad Javeriana. 2002. 128p.
8. Argoti, P. "Empleo de elastómeros para mejora de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica". Tesis de Grado, Universidad Militar Nueva Granada. 2003. 135p.
9. Martínez, M. "Incidencia del tipo de asfalto en las propiedades mecánicas y dinámicas de una mezcla asfáltica". Tesis de Grado, Universidad Militar Nueva Granada. 2004. 130p.

10. Téllez, A. y Montoya, C. "Estudio del comportamiento de las mezclas asfálticas con adiciones de desechos plásticos". Tesis de Grado, Universidad Católica de Colombia. 2004. 150p.
11. Díaz, F. y Ladino, C. "Comportamiento del asfalto agregando látex natural líquido como aditivo". Tesis de Grado, Universidad Católica de Colombia. 2004. 96p.
12. Gamarra, C. y Olarte, C. "Estudio de mezclas asfálticas con adición de caucho". Tesis de Grado, Universidad Industrial de Santander. 1984. 78p.
13. Gutiérrez, A. y Díaz, D. "Estudio del comportamiento del cemento asfáltico modificado con la adición de caucho molido". Tesis de Grado, Universidad Católica de Colombia. 2004. 108p.
14. Reyes, O., Camacho, J., Troncoso, J. y Ospina, L. "Efecto en las propiedades dinámicas de una mezcla asfáltica por adicionar desperdicio de llanta usada". 4<sup>as</sup> Jornadas Internacionales del Asfalto, Cartagena (Colombia). 2004. 26p.
15. Reyes, F. y Hernández, D. "Estudio comparativo de las propiedades dinámicas de una mezcla cerrada 0/10 con y sin adiciones de Icopor". 4<sup>as</sup> Jornadas Internacionales del Asfalto, Cartagena (Colombia). 2004. 24p.
16. Rondón H., Herrera O., Caicedo L., Díaz D., Gutiérrez A., Ladino C., Díaz, F. "Estudio del comportamiento de mezclas densas en caliente elaboradas con asfaltos modificados con policloruro de vinilo, látex natural y caucho reciclado". 4<sup>as</sup> Jornadas Internacionales del Asfalto, Cartagena (Colombia). 2004. 20p.
17. Mojica, Á. y Hernández, H. "Estudio del comportamiento de mezclas densas en caliente tipo 1 (MDC – 1) empleando asfalto modificado con Polietileno de desecho". Tesis de Grado, Universidad Católica de Colombia. 2005. 142p.
18. Barrera, R., Bello, A. y Delgado, R. "Modificación del asfalto de Apiay con elastómero obtenido a partir de aceite vegetal". Tesis de Grado, Universidad Industrial de Santander. 1999. 153p.
19. Candela, D. e Hincapié, A. "Mejoramiento de mezclas asfálticas modificando la composición del llenante convencional por finos – cemento". Tesis de Grado, Pontificia Universidad Javeriana. 2001.
20. Mantilla, L. "Caracterización dinámica de una mezcla asfáltica drenante con adición de desechos plásticos mediante técnicas de banco de fatiga". Tesis de Pregrado, Universidad Javeriana. Bogotá D.C. (Colombia). 2003. 160p.
21. Camacho, M y Rojas, H. "Mejoramiento de mezclas asfálticas a partir de la implementación de caucho como material granular fino". Tesis de Grado, Pontificia Universidad Javeriana. 2002. 111p.

22. Juyar, G. y Pérez, G. "Comparación de mezclas asfálticas drenantes fabricadas con asfaltos modificados y sin modificar". Tesis de Grado, Universidad Militar Nueva Granada. 1997. 128p.
23. Méndez, L y Vargas, J. "Diseño de una mezcla asfáltica drenante con tiras de bolsa de leche". Tesis de Grado, Universidad Javeriana. Bogotá D.C. (Colombia). 2002. 140p.
24. Girón, W. "Estudio del comportamiento del látex reciclado en las mezclas asfálticas drenantes". Tesis de Grado, Universidad Católica de Colombia. 2004. 152p.
25. Montealegre, T. y Salazar, J. "Estudio del comportamiento de mezclas asfálticas drenantes (MD) modificando el cemento asfáltico con desecho de policloruro de vinilo (PVC)". Tesis, Universidad Católica de Colombia. 2005. 135p.
26. Lozano, L. "Estudio preliminar de los efectos modificadores poliméricos en las características reológicas de los asfaltos para pavimento". Universidad de Los Andes. 2002. 132p.
27. Rangel, A. "Evaluación del perfil de oxidación en asfaltos modificados". XIV Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos. 2003.
28. Lozano, S. "Asfaltos modificados con PVC reciclado de cables". Tesis de grado, Universidad de Los Andes. 2005. 133p.
29. Castro, Y., y Vargas, O. "Influencia de la adición de caucho reciclado sobre las propiedades físicas del asfalto". Tesis de Grado, Universidad Nacional de Colombia 2003. 100p.
30. Gutiérrez, G. "Evaluación de las propiedades físicas y reológicas de los asfaltos para pavimentos, al implementar látices como agentes modificadores". Universidad de los Andes. 2004. 118p.
31. Cárdenas, A. "Evaluación de las propiedades físicas y reológicas de asfaltos al utilizar las tierras diatomáceas, subproducto de la industria de las grasas, como agentes modificadores". Universidad de los Andes. 2005. 70p.
32. Avalos, L., y Narvaez, M. "Efecto del modificador de asfaltos CONAFLEX en el comportamiento reológico del cemento asfáltico de Barrancabermeja". Tesis de Postgrado, Universidad del Cauca. 1996. 120p.
33. Chiman, A., Sanabria, L., Chiman, L. y Hernández, L. "Caracterización de crudo de castilla modificado con desechos plásticos". XIV Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos. 2003.
34. Arenas, H., y Gómez, L. "La modificación de los asfaltos colombianos: una respuesta al deterioro prematuro de los pavimentos". Universidad del Cauca. 2000. 79p.
35. Caicedo, L., y Herrera, O. "Estudio del comportamiento de mezclas densas en caliente elaboradas con asfaltos modificados con desechos de policloruro de vinilo". Tesis de Grado, Universidad Católica de Colombia. 2004. 80p.
36. Rosero, A., y Solarte, R. "Cambios en la estabilidad química durante el almacenamiento a corto plazo de un asfalto modificado con el plastómero EASTMAN (EE-2), para uso vial". Tesis de Grado, Universidad del Cauca 2005. 150p.
37. Reyes, O., Argoti, P. y Reyes, F. "Efecto de los polímeros en las mezclas asfálticas". XIV Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos. 2003.
38. Reyes, M., y Macia, J. "Análisis comparativo del látex natural y el látex artificial como mejoradores de asfaltos y mezclas asfálticas". Tesis de Grado, Universidad Nacional de Colombia. 2003. 137p.
39. Riaño, C., y Rivas, A. "Empleo de elastómeros para mejorar las propiedades mecánicas en mezclas asfálticas drenantes". Tesis de Grado, Universidad Militar Nueva Granada. 2003. 116p.
40. Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) – Universidad de Los Andes. "Estudio de las mejoras mecánicas de mezclas asfálticas con desechos de llantas". 2002- 303p.