

**MODIFICACION DE ASFALTO AC-10(ASTM D-3381) UTILIZANDO CAUCHO
DE LLANTA MOLIDO, DE ACUERDO A LOS REQUERIMIENTOS DE LA
NORMA ASTM D-6114-97**



LIZ YULIN IBARRA QUINTERO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA
2010**

**MODIFICACION DE ASFALTO AC-10(ASTM D-3381) UTILIZANDO CAUCHO
DE LLANTA MOLIDO, DE ACUERDO A LOS REQUERIMIENTOS DE LA
NORMA ASTM D-6114-97**

**Proyecto para optar por el título de
Ingeniero Químico**

LIZ YULIN IBARRA QUINTERO

**Director del proyecto
MSc, CRISOSTOMO BARAJAS FERREIRA**

**Tutor del proyecto
Ing. Qco ARIEL ENRIQUE BARRERA BARRERA
Superintendente de Planta MPI LTDA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
Bucaramanga**

2010

DEDICATORIA

Dedico este libro a Dios, a mis padres Ismael y Elena los cuales siempre me han brindado su amor, apoyo y sabiduría, a mi hermano Ismael Junior por sus consejos y fortaleza, a Fernando y a mi amigui Lily por creer siempre en mi.

A mis amigas Andrea, haddy, diana, laura, yas, rosa, libia, ingrit, chayo por todos los buenos momentos y a todas aquellas personas que me acompañaron en esta etapa de mi vida.

MUCHAS GRACIAS

LIZ YULIN

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi director el MSc. Crisóstomo Barajas Ferreira por su colaboración, al Ingeniero Ariel Enrique Barrera por su apoyo colaboración y confianza, al personal de los laboratorios de pavimentos y control de calidad (Jairo, Ismael, Erika, Jean, Ledis, Yessika, Edwin). Al Ingeniero Fabio Méndez por permitirme realizar la practica empresarial en las instalaciones de la organización Manufacturas y Procesos Industriales Ltda y a todo el personal administrativo y de producción.

GRACIAS

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS	18
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
2. MARCO TEORICO	19
2.1. ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO DE LLANTA	19
2.2. CAUCHO DE LLANTA MOLIDO	21
2.2.1. Composición química de las llantas	21
2.3. PROCESOS DE MODIFICACION DEL ASFALTO	22
2.3.1. Proceso por vía húmeda	22
3. METODOLOGIA	23
3.1. REACTIVOS Y PRODUCTOS	24
3.2. ETAPA DE MUESTREO	24
3.3. CARACTERIZACION DEL ASFALTO	24
3.4. ELABORACION DE LAS MEZCLAS DE ASFALTO AC-10 CON CAUCHO DE LLANTA MOLIDO.	25
3.4.1. Calentamiento moderado	25
3.4.2. Calentamiento con agitación	25
3.4.3. Calentamiento mas adición de Caucho de llanta molido	26
3.4.4. Homogenización de la mezcla	26
3.5. CARACTERIZACION DE LAS MEZCLA ELABORADAS	26

3.6. COMPARACION DE LA RESISITENCIA A LA DEFORMACION PLASTICA DE UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL CON UNA MEZCLA ASFALTICA CON ASFALTO CAUCHO	26
3.6.1. Elaboración de las mezclas asfálticas	26
3.6.2. Elaboración de las Probetas	27
3.6.3. Ejecución del ensayo	28
4. CALCULOS	29
5. RESULTADOS	30
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	35
7. CONCLUSIONES	39
8. RECOMENDACIONES	40
BIBLIOGRAFÍA	41
Anexos	45

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición y características de los diferentes tipos de neumáticos.	22
Tabla 2. Descripción de Mezclas.	25
Tabla 3. Caracterización del asfalto original AC-10.	30
Tabla 4. Cálculos realizados al Asfalto Modificado.	30
Tabla 5. Comparación de las características físicas del asfalto modificado Mezcla A-1, A- 2, A-3, con las especificaciones de la norma ASTM D-6114-67.	31
Tabla 6. Comparación de las características físicas del asfalto modificado Mezcla B-1, B-2, B-3 con las especificaciones de la norma ASTM D-6114-67.	31
Tabla 7. Comparación de las características físicas del asfalto modificado Mezcla C-1, C-2, C-3, con las especificaciones de la norma ASTM D-6114-67.	32
Tabla 8. Resultado de la deformación de las probetas	32
Tabla 9. Velocidad de deformación de las probetas elaboradas con mezcla asfáltica convencional y de las elaboradas con mezcla asfáltica modificada	33

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Caucho de llanta molido, asfalto modificado con caucho de llanta.	19
Figura 2. Estructura de la llanta.	21
Figura 3. Diagrama de Proceso Experimental.	23
Figura 4. Comparación de la deformación de la mezcla asfáltica convencional con la mezcla asfáltica modificada con caucho de llanta.	33
Figura 5. Comparación velocidad de deformación mezcla asfáltica convencional mezcla asfáltica modificada con caucho de llanta por intervalos.	34
Figura 6. Variación de la penetración del asfalto AC-10 luego de ser modificado con CLLM al 18%.	36
Figura 7. Variación del punto de ablandamiento del asfalto AC-10 luego de ser modificado con CLLM al 18%.	37
Figura 8. Variación del punto de ignición del asfalto AC-10 luego de ser modificado con CLLM al 18%.	37

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Especificaciones de asfaltos para carretera.	45
Anexo 2. Especificaciones para Asfaltos Modificados con caucho de llanta	46
Anexo 3. Comportamiento reológico de los asfaltos	47
Anexo 4. Ensayos realizados durante la elaboración del proyecto.	49
Anexo 5. Generalidades del asfalto	53

RESUMEN

TÍTULO: MODIFICACION DE ASFALTO AC-10(ASTM D-3381) UTILIZANDO CAUCHO DE LLANTA MOLIDO, DE ACUERDO A LOS REQUERIMIENTOS DE LA NORMA ASTM D-6114-97.*

AUTORES: LIZ YULIN IBARRA QUINTERO^{**}

PALABRAS CLAVES: Asfalto modificado, velocidad de deformación, pavimento, caucho de llanta.

DESCRIPCIÓN

El objetivo de la practica empresarial consistió en modificar asfalto convencional AC-10 utilizando caucho de llanta molido como aditivo modificador, con el fin de obtener un asfalto más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez. Contribuyendo, a satisfacer la demanda de pavimentos de mejor desempeño y duración que sean resistentes al agrietamiento y la fatiga.

El asfalto caucho presenta grandes ventajas competitivas pues ayuda a resolver un grave problema del país como es el impacto ambiental negativo provocado por las llantas y neumáticos quemados pues emanan vapores nocivos para la salud humana y el medio ambiente. Es de bajo costo, fácil aplicabilidad, resistente a la degradación gracias al proceso de vulcanizado y sobrecalentamiento al que es sometido para resistir el calor en altas temperaturas, mezclable con el asfalto.

Con base al análisis de resultados obtenidos se puede afirmar que las mezclas asfálticas elaboradas con asfalto-caucho presenta una velocidad de deformación de 3,3 $\mu\text{m}/\text{min}$. Debido a la capa continua y de mayor espesor de asfalto-caucho que cubre los agregados pétreos proporcionando mayor resistencia a la deformación, dichas mezclas también son mas resistente al envejecimiento esto se debe a que la cantidad de caucho introducida en el asfalto absorbe parte de los maltenos que constituyen una de las dos fracciones livianas y aromáticas del asfalto. Estas características son indispensables ya que de ellas depende el comportamiento y la durabilidad del pavimento.

Las mezclas asfálticas preparadas con asfalto-caucho son manejables y de fácil compactación en campo.

* Proyecto de Grado

^{**}Facultad de Ingeniería Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química. Director: MSc, Crisóstomo Barajas Ferreira. Co-director Ing. Ariel Enrique Barrera Barrera.

ABSTRACT

TITLE: AMENDMENT OF ASPHALT AC-10 (ASTM D-3381) USING GROUND TIRE RUBBER IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF ASTM D-6114-97

AUTHORS: LIZ YULIN IBARRA QUINTERO^{**}

KEYWORDS: Modified Bitumen, strain rate, pavement, rubber tire.

DESCRIPTION

The objective of the business practice was to modify conventional AC-10 asphalt using ground tire rubber as an additive modifier, in order to obtain more viscous asphalt at high temperatures to reduce permanent deformation of mixtures composed bearing layers, increasing stiffness. Contributing to meet the demand for better pavement performance and durability that are resistant to cracking and fatigue

The asphalt rubber has many competitive advantages as it helps to solve a serious problem for the country as the negative environmental impact caused by the rims and tires burned off vapors as harmful to human health and the environment. It is inexpensive, easy to apply, resistant to degradation by the process of vulcanization, and overheating is subject to withstand the heat at high temperatures, can be mixed with asphalt.

Based on the analysis of results obtained suggest that the asphalt mixtures made with asphalt-rubber has a strain rate of 3.3 microns / min. Due to the continuous layer of greater thickness of asphalt-rubber that covers the stone aggregates providing greater resistance to deformation, such mixtures are also more resistant to aging this is because the amount of rubber introduced into the asphalt absorbs some of the maltenos which constitute one of the light and aromatic fractions of asphalt. These characteristics are essential because of them depends on the performance and durability of the pavement.

Asphalt mixtures prepared with asphalt-rubber are manageable and easy to field compaction.

* Project Degree

**Physicochemical Engineering Faculty, School of Chemical Engineering Director: MSC, Crisóstomo Barajas Ferreira. Co-director Ing. Ariel Enrique Barrera Barrera.

GLOSARIO

Agregados pétreos: Son materiales granulares sólidos inertes que se emplean en los firmes de las carreteras con o sin adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos.

Ahuellamiento: Deformación permanente que se define como la falla causada por el efecto de esfuerzos verticales de compresión en la capa asfáltica de un pavimento, manifestada en deformación bajo la superficie de carga de las llantas.

Asfalto envejecido: Asfalto que ha sido sometido al ensayo al horno de lámina asfáltica delgada.

Cemento Asfáltico: Especialmente preparado en cuanto a calidad y consistencia para ser usado directamente en la producción de pavimentos asfálticos.

CLLM: Abreviatura utilizada para referirse al caucho de llanta molido.

Ligante Asfáltico: Es el asfalto que tiene como función aglomerar los distintos elementos del árido para alcanzar la debida resistencia de la mezcla bituminosa.

Mezcla asfáltica: Es la unión de agregados pétreos de diferente graduación o tamaño con un ligante hidrocarbonato.

Penetración Retenida: Mide que tanto se envejece el asfalto luego de ser sometido al ensayo TFOT, entre menor sea el valor de la penetración retenida mas envejecido esta el asfalto.

INTRODUCCIÓN

El uso moderno del asfalto para carreteras y construcción de calles comenzó a finales del siglo pasado y creció rápidamente con el surgimiento de la industria automotriz. Este crecimiento ha creado la necesidad de pavimentos con mejor desempeño y duración. Para esto se ha evolucionado hacia el uso de asfaltos modificados.

La modificación de asfalto es una técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. Uno de los objetivos que se persigue con la modificación de los asfaltos es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento) de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez.

Pensando en todas estas necesidades, se realizaron estudios en busca de un aditivo modificador que debía cumplir con ciertas características como: bajo costo, fácil aplicabilidad, resistente a la degradación en altas temperaturas, mezclable con el asfalto, además de proporcionar mejora de la resistencia a la fluencia a altas temperaturas de los pavimentos sin hacer que el asfalto sea demasiado viscoso a las temperaturas de mezcla y de compactación o demasiado liviano o quebradizo a bajas temperaturas.

El caucho de llanta se ha convertido en un elemento útil y económico en la elaboración de mezclas asfálticas gracias al creciente aumento de llantas desechadas en áreas metropolitanas. Algunas ventajas del uso del caucho de llanta molido en las mezclas asfálticas son, que al ser mezclado con el cemento asfáltico a altas temperaturas atrae componentes livianos de este último hasta producir una partícula hinchada que se enlaza dentro de la matriz del ligante generando un manto asfalto-caucho más resistente al fisuramiento. Además el

caucho molido al ser vulcanizado para resistir calor y sobrecalentamiento, elimina los problemas que usualmente se presentan con diferentes polímeros.

En busca de estos avances tecnológicos, Manufacturas y Procesos Industriales Ltda., una organización dedicada a la transformación y comercialización de productos asfálticos comprometida con la calidad de sus productos y servicios, implementa mejoras en el desarrollo de sus productos asfálticos y es pionero en la modificación de asfalto con caucho de llanta molido. El asfalto-caucho es una mezcla de asfalto caliente con caucho de llanta molido proveniente de neumáticos viejos y gastados con condiciones de temperatura, tiempo y agitación establecidos. Según información encontrada en la literatura el caucho debe componer el $20\pm 2\%$ del peso total de la mezcla, el tiempo de mezclado es de 40 a 60 minutos, a una temperatura de 180-190 °C [7].

Las mezclas asfálticas en las que se utiliza caucho de llanta molido tienen un significativo aumento en la resistencia al envejecimiento, comparado con las mezclas asfálticas convencionales, esto se debe a que la cantidad de caucho introducida en el asfalto absorbe parte de los maltenos que constituyen una de las dos fracciones livianas y aromáticas del asfalto. Adicionalmente la incorporación de caucho de llanta permite obtener un ligante asfáltico con adecuadas propiedades elastómericas, viscosidad adecuada a temperaturas elevadas, buena manejabilidad y que cumpla con las especificaciones de la norma ASTM-D-6114-97.

El asfalto caucho presenta grandes ventajas competitivas pues ayuda a resolver un grave problema del país como es el impacto ambiental negativo provocado por las llantas y neumáticos quemados pues emanan vapores nocivos para la salud humana y el medio ambiente.

Proporciona una reducción del espesor del pavimento, contribuyendo a una menor utilización de los agregados pétreos, de tal forma que se pueden utilizar mejor las

fuentes existentes y reduciendo por consiguiente el impacto ambiental negativo, resultante de la explotación de nuevas fuentes de material.

Este trabajo pretende determinar el porcentaje óptimo de caucho de llanta a utilizar para obtener asfalto caucho que cumpla con las especificaciones de la norma ASTM D-6114. Para esto, se prepararon mezclas con el 20 y el 18 % en peso de caucho. Pensando en reducir el consumo de materia prima (caucho de llanta), se elaboraron mezclas al 15 % para evaluar el comportamiento de la mezcla a este porcentaje y observar su viabilidad.

Para determinar la resistencia a la deformación de las mezclas asfálticas con asfalto convencional y con asfalto-caucho se fabricaron dos probetas de cada una y se halló la velocidad de deformación según las norma I.N.V.E 756-07.

El desarrollo experimental y el procedimiento que se realizó para llevar a cabo este estudio se explica detalladamente en el capítulo 3, Desarrollo Metodológico.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Contribuir en la planificación, desarrollo y mejora del asfalto modificado con caucho de llanta molido en la empresa MANUFACTURAS Y PROCESOS INDUSTRIALES Ltda, aplicando los conocimientos adquiridos en la elaboración y caracterización físico-química de asfaltos para carreteras.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar el asfalto convencional AC-10, este se debe ajustar a las especificaciones de la norma ASTM D-3381.
- Elaborar asfaltos con materias primas que contribuyan con la conservación del medio ambiente, mediante la utilización de caucho de llanta molido, que modifica el asfalto convencional AC-10 y que mejora el desempeño de las mezclas asfálticas.
- Caracterizar las mezclas de asfalto convencional AC-10 con caucho de llanta molido para garantizar su calidad y cumplimiento de las especificaciones de acuerdo a la norma ASTM D-6114-97.
- Elaborar un informe final dando a conocer el objetivo de la práctica empresarial a las partes interesadas MPI LTDA - UIS.
- Cumplir con las políticas establecidas por MPI LTDA para la protección física y confidencial de los productos a desarrollar y evaluar.

2. MARCO TEORICO

Pensando en el impacto ambiental generado por la quema ilegal de llantas de automóviles usadas debido a que emanan vapores nocivos para el medio ambiente y la salud humana y la demanda de pavimentos de mejor desempeño y duración que sean resistentes al agrietamiento y la fatiga, se ha desarrollado una nueva técnica de modificación de asfalto utilizando caucho de llanta molido.

2.1. ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO DE LLANTA

Figura 1. Caucho de llanta molido, asfalto modificado con caucho de llanta.



Fuente: ASHCROFT C.; Información General para la tecnología de asfalto caucho. Septiembre 2000, p1[7]

El asfalto- caucho es una mezcla de asfalto caliente con caucho de llanta molido provenientes de neumáticos viejos y gastados, en el cual el caucho compone el $20\pm 2\%$ del peso total de la mezcla y ha reaccionado lo suficiente con el cemento asfáltico caliente como para causar el hinchamiento de las partículas de caucho. La modificación de asfalto con caucho de llanta inicio en 1960, cuando el Ing. Charles Mc. Donald, comenzó a investigar por un método que mejorara la calidad de los pavimentos, actualmente se usa ampliamente en la industria de pavimentación de carreteras particularmente en los estados de Arizona, California y Texas en Estados Unidos [1].

2.1.1 Ventajas de la utilización del asfalto caucho. Entre las ventajas de usar asfalto modificado con caucho de llanta comparado con el asfalto convencional y asfaltos modificados con polímeros, se pueden mencionar [2]:

- Se pueden usar altos porcentajes de ripio de llanta (20 +/- 2%).
- Aumenta la resistencia al envejecimiento en las mezclas bituminosas donde es utilizado.
- Incrementa significativamente la viscosidad y propiedades elastómericas de la mezcla asfáltica.
- Proporciona mayor espesor en la película de agregados.
- Proporciona una reducción del espesor del pavimento, contribuyendo a una menor utilización de los agregados pétreos.
- Incrementa el punto de ablandamiento de la mezcla.

Beneficios del asfalto caucho en pavimentos:

- Mejora la resistencia a la abrasión.
- Reduce el envejecimiento por oxidación de la carpeta asfáltica.
- Incrementa la durabilidad.
- Mayor resistencia a la fatiga
- Aumenta la resistencia a la formación de grietas.
- Se puede reducir el espesor del pavimento.
- Incrementa la seguridad durante la construcción.
- Ahorro de energía y recursos naturales.
- Menores costos de mantenimiento.

2.1.2 Limitaciones de la utilización del asfalto caucho. El asfalto-caucho es un material muy útil, pero no soluciona todos los problemas del pavimento. Los materiales a utilizar con asfalto-caucho se deben seleccionar de acuerdo a las necesidades de la zona para proporcionar las mejoras deseadas en el comportamiento del pavimento. Las limitaciones en el asfalto-caucho incluyen:

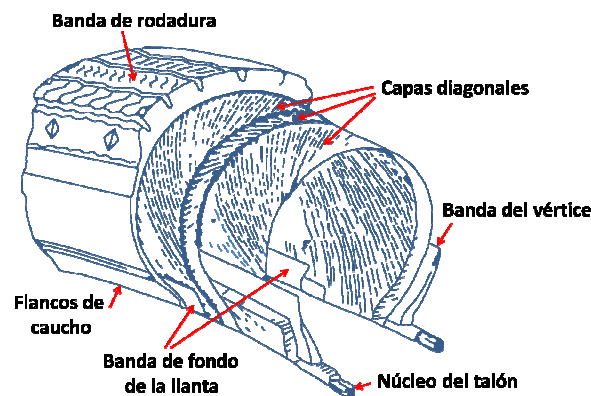
- Costos de movilización de equipos de producción de asfalto-caucho. Para grandes proyectos, este costo puede sobrepasar el tonelaje incrementando

el precio por unidad, lo cual puede compensarse por una mayor vida útil, menor costo de mantenimiento y por la reducción del espesor de la carretera. Sin embargo, para pequeños proyectos el costo es el mismo, resultando en un mayor aumento de precio por unidad que no puede compensarse totalmente [3].

- Potenciales olores y problemas con la calidad del aire.
- Para sellos en lugares remotos, los agregados caliente pueden no estar disponibles debido a que una planta de mezcla en caliente puede no estar dentro de una distancia razonable.

2.2. CAUCHO DE LLANTA MOLIDO

Figura 2. Estructura de la llanta.



Fuente: CASTELLS X.; Reciclaje de residuos industriales. Ediciones Diaz de Santos S.A. Madrid- España. 2000 p 496.[5]

El caucho de llanta molido es obtenido de las llantas en desuso de los automotores, las cuales de otra manera, no tendrían un destino diferente al de los sitios dispuestos como rellenos municipales o basureros a cielo abierto. La mayoría son quemadas de manera ilegal, lo que genera vapores altamente nocivos para el ambiente y la salud pública [11].

2.2.1. Composición química de las llantas. La llanta está compuesta principalmente de tres productos: caucho (natural y sintético), un encordado de

acero y fibra textil. A su vez, el caucho usado en la fabricación de llantas está compuesto por un grupo de polímeros (compuestos químicos de elevado peso molecular) entre los que se cuentan el polisopreno sintético, el polibutadieno y el más común que es el estireno-butadieno. [4]

Tabla 1. Composición y características de los diferentes tipos de neumáticos.

COMPONENTE	LLANTAS DE AUTOMOVILES Y CAMIONETAS	LLANTAS DE CAMIONES Y MICROBUSES
Caucho natural	14%	27%
Caucho sintético	27%	14%
Negro de humo	28%	28%
Acero	14 - 15%	14 -15%
Fibra textil, suavizantes, óxidos, etc.	16 -17 %	16 -17%
peso promedio	8,6 Kg	45,5 Kg
Volúmenes	0,06 m3	0,36 m3

Fuente: Asociación Manufacturera. [6]

2.3. PROCESOS DE MODIFICACION DEL ASFALTO

El caucho de llanta molido se incorporó a la mezcla utilizando el proceso por vía húmeda que consiste en:

2.3.1. Proceso por vía húmeda. En el proceso húmedo, el caucho de llanta molido es mezclado con el asfalto para producir una mezcla modificada asfalto-caucho que es usada de la misma manera que un ligante modificado.

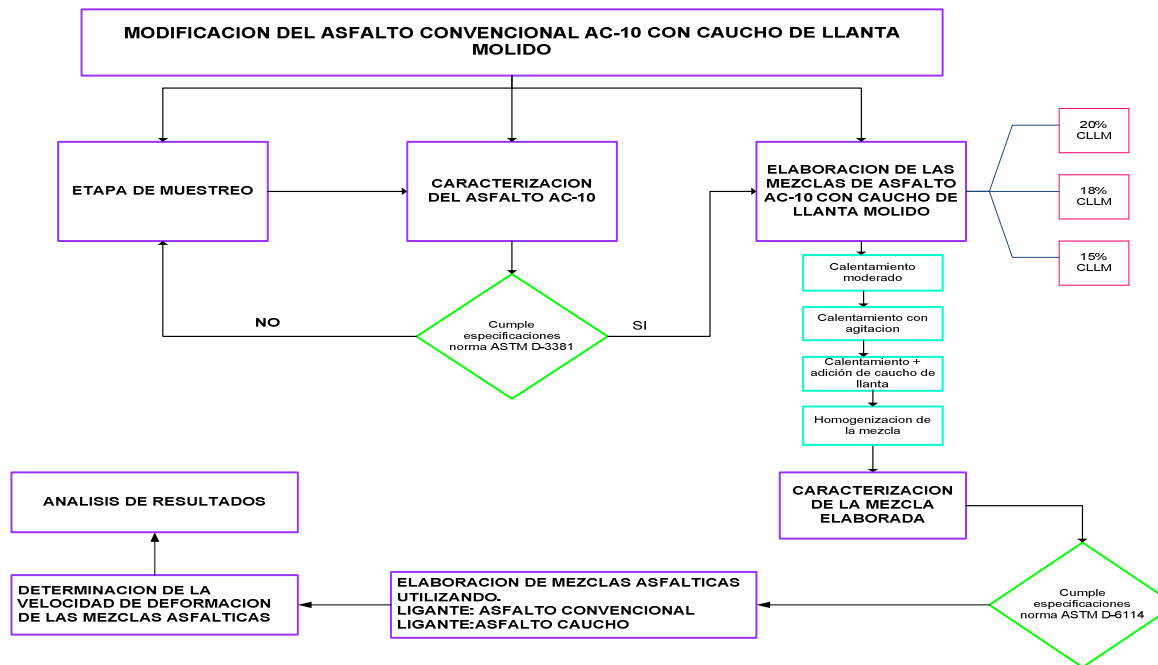
El asfalto-caucho es el resultado de la interacción del caucho de llanta molido (CLLM) con el ligante. Cuando el asfalto y CLLM se mezclan, el caucho interacciona hinchándose y ablandándose por la absorción de aceites aromáticos.

El grado de modificación del ligante depende de muchos factores entre los cuales se encuentran el tamaño, textura y proporción del CLLM, tipo de asfalto, tiempo y temperatura de mezclado, grado de agitación mecánica durante la mezcla, el componente aromático del asfalto. El caucho debe ser el $20\pm 2\%$ del peso total de la mezcla, el tiempo de mezclado es de 40 a 60 minutos a una temperatura de 180-190 °C [7].

3. METODOLOGIA

El desarrollo metodológico se llevó a cabo en seis etapas: muestreo, caracterización del asfalto original, elaboración de las mezclas de AC-10 con caucho de llanta molido, caracterización de las mezclas obtenidas de acuerdo a los requerimientos de la norma ASTM 6114-97, elaboración de mezcla asfáltica utilizando como ligante asfalto caucho, determinación de la velocidad de deformación de la mezcla asfáltica elaborada. Ver figura 3

Figura 3. Diagrama de Proceso Experimental



Fuente: El Autor.

3.1. REACTIVOS Y PRODUCTOS

- Tricloroetileno.
- Asfalto AC-10.
- Glicerina.
- Caucho de llanta molido.
- Agregados pétreos.

3.2. ETAPA DE MUESTREO

Se tomaron muestras representativas de tres diferentes clases de asfalto AC-10 proveniente de la refinería de ECOPETROL S.A. de Barrancabermeja, las cuales se obtuvieron por el método de destilación al vacío de crudo. Se garantizó que las muestras no estuvieran contaminadas y fueran homogéneas. Estas muestras se caracterizaron posteriormente para determinar sus propiedades de consistencia (viscosidad, penetración, punto de ablandamiento) y seguridad (punto de ignición).

En el presente trabajo, se estudiaron nueve diferentes mezclas las cuales se describen en la Tabla 2. El peso total de cada una de las mezclas fue de 2500 gramos.

3.3. CARACTERIZACION DEL ASFALTO

El procedimiento de caracterización de las muestras, se llevó a cabo siguiendo las especificaciones de la norma ASTM D-3381 para un asfalto AC – 10, ver anexo 1 Especificaciones de asfaltos para carretera. En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas para caracterizar las muestras estudiadas, en los cuales se puede ver que cumple con las especificaciones de la norma mencionada anteriormente. Dado que el asfalto cumplió con dichas especificaciones se procedió a la elaboración de las mezclas.

3.4. ELABORACION DE LAS MEZCLAS DE ASFALTO AC-10 CON CAUCHO DE LLANTA MOLIDO.

Las proporciones de caucho de llanta molido y de asfalto AC-10 se variaron de acuerdo a la información encontrada en la literatura [2]. A continuación se describen los porcentajes de contenido en peso del caucho de llanta molido (ver Tabla 2) y el procedimiento empleado en la elaboración de las mezclas.

Tabla 2. Descripción de Mezclas.

ASFALTO	MEZCLA	% PESO	
		CLLM	ASFALTO
ASFALTO A	A- 1	20	80
	A- 2	18	82
	A- 3	15	85
ASFALTO B	B- 1	20	80
	B-2	18	82
	B- 3	15	85
ASFALTO C	C- 1	20	80
	C- 2	18	82
	C- 3	15	85

Fuente: El Autor.

3.4.1. Calentamiento moderado. Se calentó el asfalto AC-10 durante 50 min hasta alcanzar 140°C, a esta temperatura el asfalto presenta buena manejabilidad, está en estado líquido y sin presencia de grumos. Este proceso se llevó a cabo en un horno EQ de convección natural que mantiene la temperatura constante durante un determinado tiempo, garantizando que el asfalto no se quemara.

3.4.2. Calentamiento con agitación. Se llevó el recipiente con el asfalto a una estufa de calentamiento, se introdujo un agitador de aspas y un termómetro Brand cuya temperatura máxima es de 400 °C para controlar condiciones de operación. La agitación permitió homogenizar la temperatura de la mezcla durante un tiempo de 45 minutos alcanzando valores entre 180 – 190 °C.

3.4.3. Calentamiento mas adición de Caucho de llanta molido. Cuando el asfalto AC-10 alcanzó una temperatura entre 180 -190 °C se le agregó el caucho de llanta molido de forma lenta y con agitación constante facilitando la dispersión de éste en el asfalto. Mantener la temperatura en este rango es importante debido a que el caucho de llanta molido puede sufrir cambios en sus propiedades físico-químicas si sobrepasa este rango de temperatura.

3.4.4. Homogenización de la mezcla. Se continuó con agitación constante y calentamiento durante 60 minutos a temperatura constante, con el fin de obtener una mezcla homogénea.

3.5. CARACTERIZACION DE LAS MEZCLA ELABORADAS

Las mezclas obtenidas se caracterizaron realizando los ensayos especificados en la norma ASTM D-6114-97, ver anexo 2. Especificaciones para asfaltos modificados con caucho de llanta.

3.6. COMPARACION DE LA RESISITENCIA A LA DEFORMACION PLASTICA DE UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL CON UNA MEZCLA ASFALTICA CON ASFALTO CAUCHO

Se elaboraron cuatro (4) probetas, dos con mezcla asfáltica convencional y dos con mezcla asfáltica modificada con caucho de llanta. Estas se sometieron al paso continuo de una rueda en condiciones determinadas de presión y temperatura, midiéndose periódicamente la profundidad de la deformación producida.

Se determinó la velocidad de deformación de cada una de las probetas y se evaluó según la norma I.N.V.E-756-07. El ligante empleado en las mezclas asfálticas convencionales es el asfalto B y para las mezclas asfálticas modificadas con caucho de llanta es el asfalto B-2.

3.6.1. Elaboración de las mezclas asfálticas

1. Calentar en el horno BINDER de convección forzada por un tiempo de dos horas los agregados pétreos 20°C por encima de la temperatura de mezclado.

2. Llevar el asfalto a la temperatura de mezclado obtenida mediante la curva reológica.

3. Mezclar los agregados pétreos y el asfalto en el mezclador planetario hasta que los agregados queden cubiertos por una película delgada y continua de asfalto.

El proceso de elaboración de una mezcla asfáltica utilizando como ligante asfalto-caucho, varía del descrito anteriormente en que el asfalto y los agregados pétreos deben estar a la misma temperatura (Temperatura de mezclado=180 °C), ver anexo 3, Tabla 6.1.

3.6.2. Elaboración de las Probetas. La elaboración de las probetas se realizó siguiendo el procedimiento de la norma I.N.V.E-756-07.

- Calentar la mezcla asfáltica a una temperatura superior a la de compactación como mínimo 10°C durante dos horas.
- Calentar el molde y el collarín a una temperatura superior a la de compactación en unos 15°C, durante dos horas.
- Verter en el molde la mezcla asfáltica, distribuir uniformemente y enrasar; colocar el collarín.
- Llevar el elemento compactador al Roller Compactor, realizar una pre-compactación de 75 segundos, al cabo de la cual se desmonta el collarín.
- Se compactan 3 periodos más de 75 segundos cada uno, realizados girando el elemento compactador en el mismo sentido y sucesivamente en 90° con respecto a la posición inicial.

Las probetas elaboradas presentaron valores de vacío entre 4% y 6%.

En el anexo 3 Tabla 4.1 y Tabla 6.1 se muestran los rangos de la temperatura de compactación del asfalto B y del asfalto B-2 respectivamente.

3.6.3. Ejecución del ensayo. El ensayo se realizó siguiendo las especificaciones de la norma I.N.V.E-756-07, sección 4 ítem 4.2.

- Llevar las probetas dentro del molde al horno BINDER por cuatro horas a una temperatura de 60°C.
- Encender el sistema de calefacción de cámara termostáticamente del Wheel Tracker dos horas antes de iniciar el ensayo para regular la temperatura del mismo (60°C).
- Transcurrido el tiempo se lleva el molde con la probeta al equipo se fija en los anclajes.
- Se cierra la cámara por 30 minutos, para homogenizar la temperatura.
- Seguidamente se apoya la rueda sobre la probeta, se cierra la cámara y se da inicio al ensayo, que tiene una duración de 120 minutos sin interrupciones.

3.7. DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE DEFORMACION DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS

La velocidad de deformación de las mezclas asfálticas se determinó en el intervalo comprendido entre ciento cinco y ciento veinte minutos, la cual no podrá ser mayor de 15 $\mu\text{m}/\text{min}$ [23].

5. RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados de las pruebas realizadas, siguiendo la metodología planteada para el desarrollo del proyecto, ver Figura 4.

Tabla 3. Caracterización del asfalto original AC-10.

ENSAYOS	UNIDADES	ASFALTO A	ASFALTO B	ASFALTO C
Viscosidad 60°C	Poise	1186	1106	902
Viscosidad Cinemática 135 °C	CST	312	295	267
Penetración 25 °C, 5Seg, 100 g	mm/10	84	96	125
Punto de Chispa	°C	298	296	290
Solubilidad en Tricloroetileno	%	99,48	99,29	99,18
Punto de ablandamiento	°C	47	45,8	43,8
PRUEBAS AL RESIDUO TFOT				
Viscosidad 60°C	Poise	3940	3780	2800
Ductilidad 25°C, 5cm/min	cm	120	122	142
Penetración a 4 °C del residuo TFOT.	%Po	62	59	66

Fuente: El Autor.

Tabla 4. Cálculos realizados al Asfalto Modificado.

ASFALTOS	MEZCLAS	% CLLM	PENETRACION RETENIDA
ASFALTO A	A- 1	20	82
	A- 2	18	80
	A- 3	15	78
ASFALTO B	B- 1	20	86
	B-2	18	82
	B- 3	15	79
ASFALTO C	C- 1	20	88
	C- 2	18	84
	C- 3	15	81

Fuente: El Autor.

Tabla 5. Comparación de las características físicas del asfalto modificado Mezcla A-1, A- 2, A-3, con las especificaciones de la norma ASTM D-6114-67.

ENSAYO	UNIDADES	TIPO I		TIPO II		TIPO III		MEZCLA A-1	MEZCLA A-2	MEZCLA A-3
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo			
Viscosidad aparente a 175 °C (Haake)	Cp.	1500	5000	1500	5000	1500	5000	5400	3000	1400
Penetración, 25 °C, 100 g, 5s	mm/10	25	75	25	75	50	100	45	47	50
Penetración, 4 °C, 200 g, 60s	mm/10	10	.....	15	.....	25	.....	35	38	39
Punto de ablandamiento, anillo y bola	°C	57,2	.....	54,4	.....	51,7	.....	73	69	66
Resiliencia a 25 °C	%	25	.....	20	.....	10	.....	38	36	34
Punto de Ignición, Copa abierta de Cleveland	°C	232,2	.....	232,2	.....	232,2	.....	290	294	296
PRUEBAS AL RESIDUO TFOT										
Penetración a 4 °C del residuo TFOT.	%Po	75	.....	75	.....	75	.....	82	80	78

Fuente: El Autor.

Tabla 6. Comparación de las características físicas del asfalto modificado Mezcla B-1, B-2, B-3 con las especificaciones de la norma ASTM D-6114-67.

ENSAYO	UNIDADES	TIPO I		TIPO II		TIPO III		MEZCLA B-1	MEZCLA B-2	MEZCLA B-3
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo.	Mínimo	Máximo			
Viscosidad aparente a 175 °C (Haake)	Cp.	1500	5000	1500	5000	1500	5000	5200	2600	1100
Penetración, 25 °C, 100 g, 5s	mm/10	25	75	25	75	50	100	50	54	56
Penetración, 4 °C, 200 g, 60s	mm/10	10	.....	15	.....	25	.....	30	32	34
Punto de ablandamiento, anillo y bola	°C	57,2	.....	54,4	.....	51,7	.....	72	70	62,5
Resiliencia a 25 °C	%	25	.....	20	.....	10	.....	40	37	30
Punto de Ignición, Copa abierta de Cleveland	°C	232,2	.....	232,2	.....	232,2	.....	290	292	294
PRUEBAS AL RESIDUO TFOT										
Penetración a 4 °C del residuo TFOT.	%Po	75	.....	75	.....	75	.....	86	82	79

Fuente: El Autor.

Tabla 7. Comparación de las características físicas del asfalto modificado Mezcla C-1, C-2, C-3, con las especificaciones de la norma ASTM D-6114-67.

ENSAYO	UNIDADES	TIPO I		TIPO II		TIPO III		MEZCLA C-1	MEZCLA C-2	MEZCLA C-3
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo			
Viscosidad aparente a 175 °C (Haake)	Cp.	1500	5000	1500	5000	1500	5000	4900	2400	900
Penetración, 25 °C, 100 g, 5s	mm/10	25	75	25	75	50	100	73	75	79
Penetración, 4 °C, 200 g, 60s	mm/10	10	.....	15	.....	25	.....	31	33	35
Punto de ablandamiento, anillo y bola	°C	57,2	.....	54,4	.....	51,7	.....	74	71	61
Resiliencia a 25 °C	%	25	.....	20	.....	10	.....	56	53	50
Punto de Ignición, Copa abierta de Cleveland	°C	232,2	.....	232,2	.....	232,2	.....	284	286	288
PRUEBAS AL RESIDUO TFOT										
Penetración a 4 °C del residuo TFOT.	%Po	75	.....	75	.....	75	.....	88	84	81

Fuente: El Autor.

Tabla 8. Resultado de la deformación de las probetas

PROBETA	VACIOS %	MEZCLA ASFALTICA	LIGANTE ASFALTICO	TIEMPO (min)	1	3	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120
Probeta 1	5,5	Convencional	Asfalto Convencional (Asfalto B)	DEFORMACION (mm)	0,75	1,24	1,57	2,08	2,46	2,79	3,1	3,39	3,67	3,91	4,12	4,67	5,17	5,64	6,07	6,48
Probeta 2	4,5				0,71	1,12	1,35	1,71	1,99	2,19	2,37	2,54	2,68	2,82	2,97	3,30	3,61	3,88	3,99	4,34
Probeta 3	4,5	Modificada	Asfalto modificado (Asfalto B-2)		0,45	0,69	0,82	1,00	1,11	1,18	1,24	1,29	1,33	1,37	1,41	1,50	1,58	1,65	1,70	1,75
Probeta 4	5,0				0,63	0,90	1,05	1,23	1,34	1,41	1,47	1,53	1,58	1,61	1,65	1,73	1,80	1,86	1,90	1,95

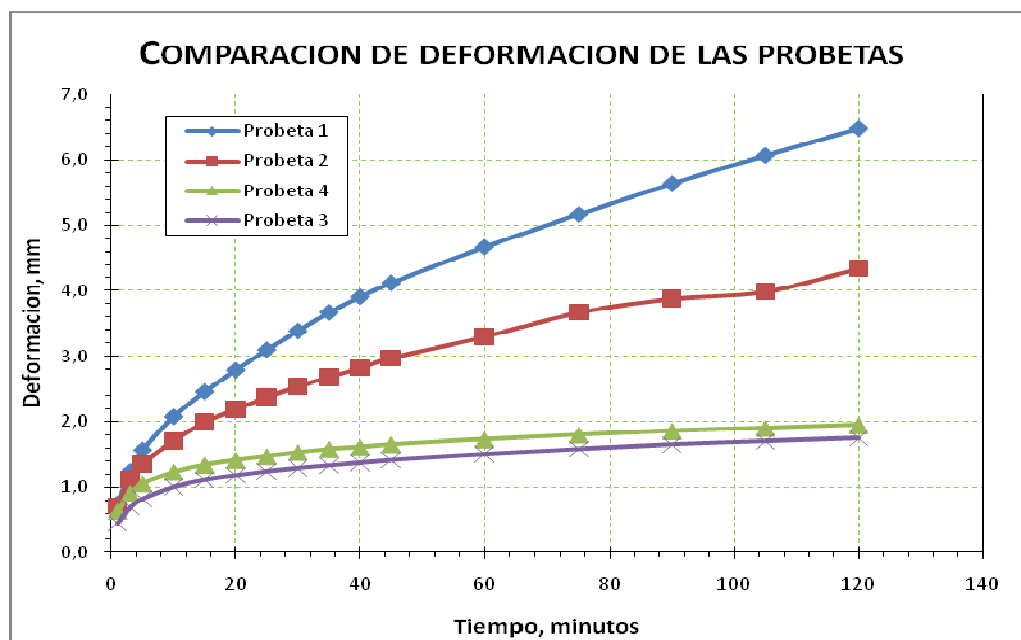
Fuente: El Autor.

Tabla 9. Velocidad de deformación de las probetas elaboradas con mezcla asfáltica convencional y de las elaboradas con mezcla asfáltica modificada

PROBETA	MEZCLA ASFALTICA	INTERVALO, min	DEFORMACION, mm	VELOCIDAD DE DEFORMACION μm
Probeta 1	Convencional	30 - 45	0,73	48,6
		75 - 90	0,47	31,3
		105 - 120	0,41	27,3
Probeta 2		30 - 45	0,43	28,6
		75 - 90	0,27	18
		105 - 120	0,35	23,3
Probeta 3	Modificada	30 - 45	0,12	8,0
		75 - 90	0,06	4,0
		105 - 120	0,05	3,3
Probeta 4		30 - 45	0,12	8,0
		75 - 90	0,07	4,6
		105 - 120	0,05	3,3

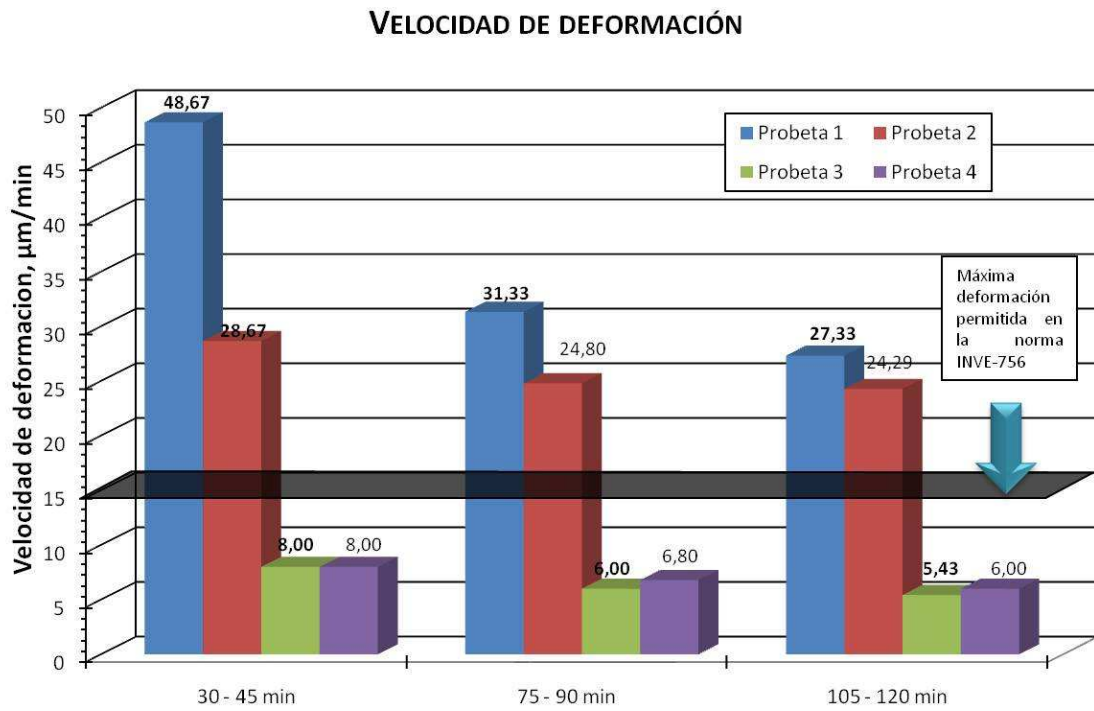
Fuente: El Autor.

Figura 4. Comparación de la deformación de la mezcla asfáltica convencional con la mezcla asfáltica modificada con caucho de llanta.



Fuente: El Autor.

Figura 5. Comparación velocidad de deformación mezcla asfáltica convencional mezcla asfáltica modificada con caucho de llanta por intervalos



Fuente: El Autor.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El asfalto que se obtuvo en la mezcla C-1 (20% caucho de llanta) cumplió con las especificaciones de la norma ASTM D-6114-97 ver Tabla 7. Sin embargo la viscosidad se encuentra muy próxima al valor máximo de la norma, si se presenta algún cambio en las propiedades del asfalto original o en el proceso de modificación, este podría sobrepasar las especificaciones permitidas (ver anexo 2 especificaciones de la norma ASTM D-6114-97) para asfaltos modificados con caucho de llanta.

En base a este resultado y a los obtenidos con las mezclas A-1, B-1 ver Tablas 5 y 6, respectivamente, donde los valores de la viscosidad de Haake superan el valor máximo permitido por la norma (5000 Cp), se determinó que los asfaltos modificados con 20 % de caucho de llanta no cumplen con las especificaciones de la norma ASTM D-6114-97. Esto ocurre porque la cantidad de caucho de llanta dispersa es elevada lo que genera una alta viscosidad y como resultado una mezcla inmanejable.

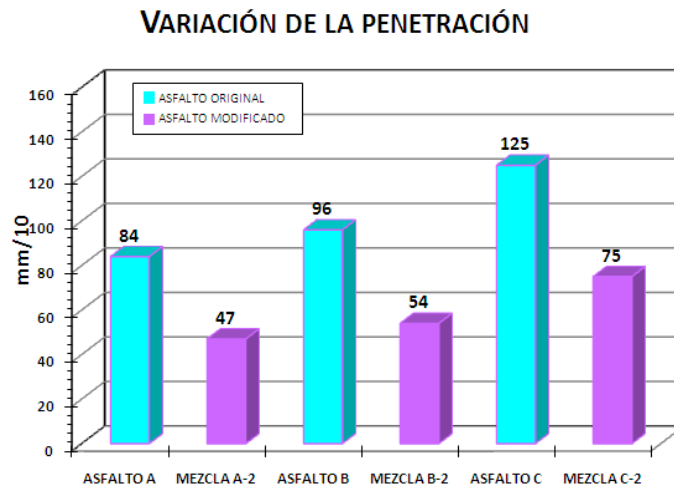
Teniendo en cuenta que este asfalto se usa para preparar mezclas asfálticas (asfalto caucho+ agregados pétreos), se debe garantizar una viscosidad menor a 5000 Cp para lograr un buen cubrimiento de los agregados y garantizar el bombeo del asfalto en campo.

Las mezclas A-3, B-3, C-3 ver Tablas 5, 6 y 7, realizadas con el 15 % de caucho de llanta molido, presentan baja viscosidad Haake, los asfaltos modificados no cumplen con el rango mínimo de viscosidad Haake establecido por la norma ASTM D-6114-97(1500 Cp). Esto ocurre porque la cantidad de caucho de llanta disperso no es suficiente para modificar por completo las propiedades del asfalto.

Se determinó el 18% de caucho de llanta como la cantidad óptima para modificar un asfalto convencional AC-10, las mezclas elaboradas con este porcentaje, presentan adecuadas propiedades elastoméricas, viscosidad adecuada a temperaturas elevadas, buena manejabilidad y cumplen con las especificaciones de la norma ASTM D- 6114-97. Por lo tanto las mezclas asfálticas preparadas con este asfalto serán manejables y de fácil compactación en campo. (Ver tablas 5, 6 y 7 mezclas A-2, B-2, C-2 respectivamente)

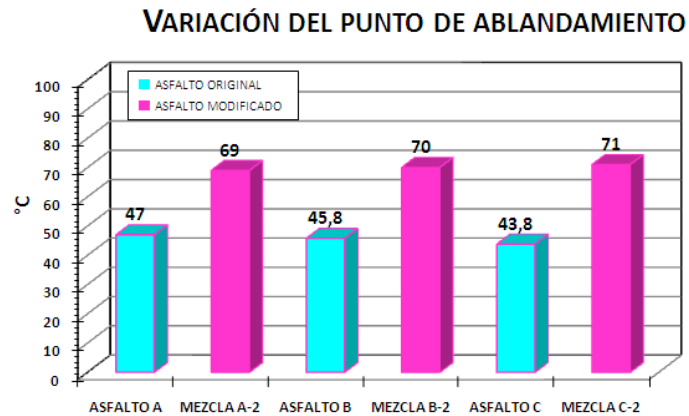
Definido el porcentaje óptimo de caucho de llanta se evaluaron las características más relevantes de los asfaltos A, B, C, (penetración, punto de ablandamiento, punto de ignición) y la variación de estas al ser modificados con caucho de llanta para determinar la influencia del mismo sobre ellas.

Figura 6. Variación de la penetración del asfalto AC-10 luego de ser modificado con CLLM al 18%.



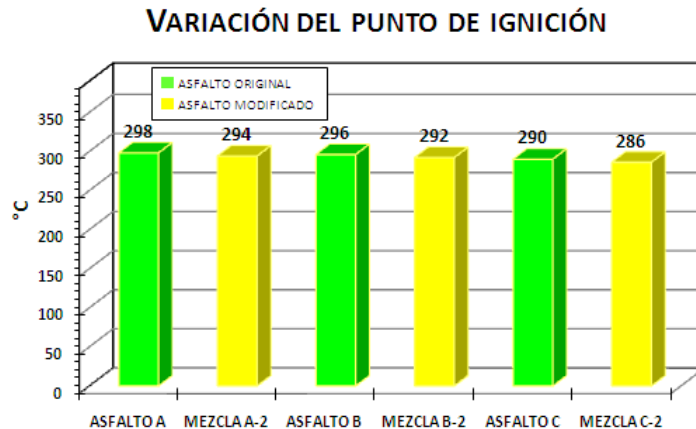
Fuente: El Autor.

Figura 7. Variación del punto de ablandamiento del asfalto AC-10 luego de ser modificado con CLLM al 18%.



Fuente: El Autor.

Figura 8. Variación del punto de ignición del asfalto AC-10 luego de ser modificado con CLLM al 18%.



Fuente: El Autor.

Como se observa en la Figura 6 la penetración disminuye aproximadamente un 43%, comparada con la penetración de los asfaltos A, B y C, es decir el asfalto se endurece, por lo tanto el punto de ablandamiento aumenta ver Figura 7 lo que indica que la resistencia del asfalto a fluir a temperaturas elevadas es mayor. La adición del caucho no disminuye significativamente el punto de ignición en promedio se encuentra en 290°C, por lo tanto la propiedad de seguridad de este producto se mantiene (Ver figura 8).

Observando la Tabla 4 mezclas (A-2, B-2 y C-2 18 % caucho), la penetración retenida presenta valores de 80, 82, 84 % respectivamente, mientras que la penetración retenida de los asfaltos originales ver Tabla 3 presentan valores más bajos. Esto quiere decir que el proceso de envejecimiento es más lento en el asfalto caucho debido a que el caucho de llanta absorbe parte de los maltenos que constituyen una de las dos fracciones livianas y aromáticas del bitumen [3].

Se determinó que la velocidad de deformación de la mezcla modificada con caucho de llanta es de 3,3 $\mu\text{m}/\text{min}$, esto se debe a que los agregados pétreos están recubiertos por una capa continua y de mayor espesor de asfalto-caucho que comparada con mezclas convencionales, proporciona mayor resistencia a la deformación [2]. Esto se debe a que el caucho de llanta se incorpora al asfalto proporcionando mayor elasticidad a la mezcla, es decir tiene mayor capacidad para regresar a su posición inicial después de aplicada la carga.

La mezcla asfáltica elaborada con un asfalto convencional presentó una velocidad de deformación de 23,3 $\mu\text{m}/\text{min}$, debido a que este asfalto sólo proporciona recubrimiento a los agregados pétreos, no posee las mismas características de recuperación del asfalto-caucho, ya que el asfalto convencional a la temperatura de realización del ensayo (60 $^{\circ}\text{C}$) presenta mayor componente viscoso, por lo tanto es mayor la deformación pues al paso de la carga no se recupera completamente [10].

En la Figura 5 se observa que la aplicación de la carga en el intervalo 30-45 minutos es la zona donde se obtiene la mayor velocidad de deformación pues es en este punto donde las mezclas se densifican más rápidamente por acomodación de los pétreos en los espacios vacíos que contenga la probeta [8]. En el intervalo de 75-90 minutos la mezcla se estabiliza y la velocidad de deformación se mantiene estable. En el intervalo de 105-120 minutos se obtiene la deformación final, la cual es decisiva para determinar si la mezcla cumple con las especificaciones de la norma I.N.V.E-756-07, y poder utilizarla en campo.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo con la investigación realizada se determinó que el porcentaje de caucho de llanta molido óptimo para la modificación de asfalto AC-10 es del 18% las 3 mezclas realizadas con este porcentaje cumplieron con las especificaciones de la norma ASTM D-6114.

El caucho de llanta es un buen aditivo modificador. Proporciona asfaltos más resistentes al envejecimiento, es de bajo costo, contribuye a reducir las deformaciones de las mezclas asfálticas.

Las mezclas asfálticas modificadas con caucho de llanta presentan mejor resistencia al envejecimiento y una excelente resistencia a la deformación. Estas características son indispensables ya que de ellas depende el comportamiento y la durabilidad del pavimento.

8. RECOMENDACIONES

La aplicación en campo de la mezcla de asfalto con ripio de caucho de llanta, se debe hacer en un periodo de tiempo no mayor a 48 horas puesto que el asfalto-caucho no presenta estabilidad al almacenamiento debido a la ausencia de agente entrecruzante. Motivo por el cual, se recomienda realizar un estudio para identificar el mejor agente entrecruzante para este tipo de asfaltos.

Para la elaboración de asfalto-caucho se debe garantizar que el grano de caucho sea uniforme, libre de metal, fibras textiles y otros contaminantes y deberá estar seco para garantizar que la calidad del producto sea la adecuada para su uso en campo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] CARLSON, Douglas. General Information For Asphalt-Rubber Technology. September, 2001. En: Asphalt-Rubber 101: The Basics or Rubberized Asphalt Specification and Information Handbook. July 24th, 2008, p.1-8.
- [2] VAN KIRK, Jack Y HOLLERAN, Glynn. Reduced Thickness Asphalt Rubber Concrete Leads To Cost Effective Pavement Rehabilitation. February, 2000. En: Asphalt-Rubber 101: The Basics or Rubberized Asphalt Specification and Information Handbook. July 24th, 2008, p.7-8.
- [3] CALTRANS, Asphalt Rubber Usage Guide [Handbook]. California. January, 2003, p.6-7.
- [4] QUESADA, Dennis. La Recolección Y Utilización De Neumáticos Desechados Como Combustible Alternativo En Fábricas De Cemento. Trabajo de grado Ingeniero Civil Industrial. Talca-Chile.: Universidad de Talca. Escuela de ingeniería civil industrial, 2001.
- [5] CASTELLS, Xavier. Reciclaje De Residuos Industriales. 1Ed. Madrid- España.: Díaz de Santos, 2000. 496p.
- [6] Rubber Manufactures Association [online]. Scrap Tires Characteristics. [Visitado 12 Enero de 2010]. Washington, DC. Disponible en internet: http://www.rma.org/scrap_tires/scrap_tire_markets/scrap_tire_characteristics/#anchor135840.
- [7] TAKALLOU, Barry. CARLSON, Douglas. Tire Recycling Contributions To Safety, Noise Reduction, And Long Term Performance In Highways Using Asphalt-

Rubber. 1999. En: Asphalt-Rubber 101: The Basics or Rubberized Asphalt Specification and Information Handbook. July 24th, 2008, p.1-10.

[8] GUTIERREZ, Libia. El Concreto Y Otros Materiales Para La Construcción. 1 ed. Manizales.: Universidad Nacional de Colombia, 2005. 231p.

[9] Romero, Carmen y Gómez, Alberto. Propiedades Físicas Y Químicas De Asfaltos Colombianos Tipo Barrancabermeja Y De Sus Respectivas Fracciones De Asfaltenos. Colombia.: Rev.Acad.Colomb.Cienc. Volumen XXIV, No. 98. Marzo, 2002. 6p.

[10] REYES, Fredy. Diseño Racional De Pavimentos, primera. 1ed. Bogota.: Centro Editorial Javeriano 2003, p. 77-87.

[11] ANGULO, Ricardo y DUARTE, José. Modificación de un asfalto con caucho reciclado de llanta para su aplicación en pavimentos. Trabajo de grado Ingeniería Química. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química, 2005. 79 p.

[12] MANUFACTURAS Y PROCESOS INDUSTRIALES: Manual de Procedimientos e instructivos laboratorio de control de calidad Tomo II.2009.

[13] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Normas técnicas de ensayos para carreteras - Penetración de los materiales asfálticos. I.N.V. E – 706, Bogotá D.C.: INVIAS, 2007. 8p.

[14] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Normas técnicas de ensayos para carreteras - Puntos de ignición y de llama mediante la copa abierta Cleveland. I.N.V. E – 709, Bogotá D.C.: INVIAS, 2007.13p.

- [15] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Normas técnicas de ensayos para carreteras - Método para determinar la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional. I.N.V. E – 717, Bogotá D.C.: INVIAS, 2007. 5p.
- [16] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Normas técnicas de ensayos para carreteras - Solubilidad de materiales asfálticos en Tricloroetileno o Tricloroetano. I.N.V. E – 713, Bogotá D.C.: INVIAS, 2007. 8p.
- [17] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Normas técnicas de ensayos para carreteras - Ductilidad de los materiales asfálticos. I.N.V. E – 702, Bogotá D.C.: INVIAS, 2007. 5p.
- [18] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Normas técnicas de ensayos para carreteras - Viscosidad cinemática de asfaltos. I.N.V. E – 715, Bogotá D.C.: INVIAS, 2007. 18p.
- [19] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Normas técnicas de ensayos para carreteras - Ensayo al horno de lámina asfáltica delgada. I.N.V. E – 721, Bogotá D.C.: INVIAS, 2007. 7p.
- [20] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Standard Specification for Asphalt-Rubber Binder. D 6114-97, Reaprobado 2002, United States.: ASTM, 1997. 4p.
- [21] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Standard Specification for Viscosity-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction. D 3114-91, United States.: ASTM, 1991. 2p.
- [22] CARREÑO, Ricardo. Evaluación del Método Normalizado en 12606-1 Betunes y Ligantes Bituminosos. Determinación del Contenido de Ceras Parafinicas:

Métodos por Destilación, en Laboratorios de Corasfaltos Utilizando un Asfalto Original Trabajo de Grado Ingeniería Química. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química, 2005. 51 p.

[23] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Normas técnicas de ensayos para carreteras - Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio. I.N.V. E – 756, Bogotá D.C.: INVIAS, 2007. 15p.

Anexo 1. Especificaciones de asfaltos para carretera.

Tabla 1. Especificaciones de la norma ASTM D-3381.

ENSAYOS	UNIDADES	A.C-2.5		A.C-5		A.C-10		A.C-20		A.C-30	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Viscosidad 60°C	Poise	200	300	400	600	800	1200	1600	2400	2400	3600
Viscosidad Cinemática 135 °C	CST	125	....	175	....	250	....	300	....	350	....
Penetración 25 °C, 5Seg, 100 g	mm/10	220	....	140	....	80	....	60	....	50	....
Punto de Chispa	°C	163	....	177	....	219	....	232	....	232	....
Solubilidad en Tricloroetileno	%	99	....	99	....	99	....	99	....	99	....
PRUEBAS AL RESIDUO TFOT											
Viscosidad 60°C	Poise	.....	1250	.....	2500	.....	5000	.....	10000	.....	15000
Ductilidad 25°C, 5cm/min	cm	100	....	100	....	75	....	50	....	40	....

Fuente: MPI Ltda.; Manual de Procedimientos e Instructivos, Laboratorio de Control de Calidad. 2009

Anexo 2. Especificaciones para Asfaltos Modificados con caucho de llanta

Tabla 2. Especificaciones de la norma ASTM D-6114-97, para Asfaltos Modificados con caucho de llanta

ENSAYO	UNIDADES	TIPO I		TIPO II		TIPO III	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Viscosidad aparente a 175 °C (Haake)	Cp	1500	5000	1500	5000	1500	5000
Penetración, 25 °C, 100 g, 5s	mm/10	25	75	25	75	50	100
Penetración, 4 °C, 200 g, 60s	mm/10	10	.....	15	.....	25	.....
Punto de ablandamiento, Anillo & Bola	°C	57,2	.....	54,4	.....	51,7	.....
Resiliencia a 25 °C	%	25	.....	20	.....	10	.....
Punto de ignición, Copa abierta de Cleveland	°C	232,2	.....	232,2	.....	232,2	.....
PRUEBAS AL RESIDUO TFOT							
Penetración a 4 °C del residuo TFOT	%Po	75	.....	75	.....	75	.....

Fuentes: ASTM; Standard Specification for Asphalt-Rubber Binder, Designation: D6114-97

Anexo 3. Comportamiento reológico de los asfaltos

Tabla 3. Curva reológica asfalto A

ASFALTO A					Viscosidad (P)			Torque (%)		
Temperatura (°C)	Torque Promedio (%)	Aguja No.	RPM	Viscosidad Promedio (P)	Determinación 1	Determinación 2	Determinación 3	Determinación 1	Determinación 2	Determinación 3
80	96,43	27	20	120,54	120,62	120,50	120,50	96,5	96,4	96,4
100	96,57	27	120	20,11	20,1	20,12	20,12	96,5	96,6	96,6
120	93,80	21	84	5,58	5,58	5,58	5,58	93,8	93,8	93,8
140	98,13	21	240	2,04	2,04	2,04	2,04	98,2	98,1	98,1

Tabla 3,1 Rango de las temperaturas de mezclado y compactación

Rango Temperatura de Mezclado °C	142 - 147
Rango Temperatura de Compactación ° C	131 - 136

Fuentes: Laboratorio de control de calidad MPI Ltda, Barrancabermeja.

Tabla 4. Curva reológica asfalto B

ASFALTO B					Viscosidad (P)			Torque (%)		
Temperatura (°C)	Torque Promedio (%)	Aguja No.	RPM	Viscosidad Promedio (P)	Determinación 1	Determinación 2	Determinación 3	Determinación 1	Determinación 2	Determinación 3
80	97,73	27	24	101,80	101,77	101,87	101,77	97,7	97,8	97,7
100	98,90	27	132	18,73	18,73	18,73	18,73	98,9	98,9	98,9
120	98,70	21	87	5,67	5,67	5,67	5,67	98,7	98,7	98,7
140	96,10	21	230	1,87	1,87	1,87	1,87	96,1	96,1	96,1

Tabla 4,1 Rango de las temperaturas de mezclado y compactación

Rango Temperatura de Mezclado °C	140 - 145
Rango Temperatura de Compactación ° C	130 - 134

Fuentes: Laboratorio de control de calidad MPI Ltda, Barrancabermeja.

Tabla 5. Curva reológica asfalto C

ASFALTO C					Viscosidad (P)			Torque (%)		
Temperatura (°C)	Torque Promedio (%)	Aguja No.	RPM	Viscosidad Promedio (P)	Determinación 1	Determinación 2	Determinación 3	Determinación 1	Determinación 2	Determinación 3
80	93,50	27	25	93,50	93,5	93,50	93,50	93,5	93,5	93,5
100	96,97	27	140	17,31	17,3	17,32	17,32	96,9	97,0	97,0
120	98,30	21	100	4,91	4,91	4,91	4,91	98,3	98,3	98,3
140	99,70	21	250	1,99	1,99	1,99	1,99	99,7	99,7	99,7

Tabla 5,1 Rango de las temperaturas de mezclado y compactación

Rango Temperatura de Mezclado °C	141 - 147
Rango Temperatura de Compactación ° C	130 - 135

Fuentes: Laboratorio de control de calidad MPI Ltda, Barrancabermeja.

Tabla 6. Curva reológica Mezcla B-2

ASFALTO B-2					Viscosidad (P)			Torque (%)		
Temperatura (°C)	Torque (%) Promedio	Aguja No.	RPM	Viscosidad Promedio (P)	Determinación n 1	Determinación n 2	Determinación n 3	Determinación n 1	Determinación n 2	Determinación n 3
100	19,67	21	1,00	98,33	98,00	98,50	98,50	19,6	19,7	19,7
110	17,53	21	1,80	48,70	48,33	48,33	49,44	17,4	17,4	17,8
120	21,00	21	5,50	19,18	19,36	19,09	19,09	21,3	21,0	21,0
130	21,57	21	12,00	8,98	9,00	9,00	8,95	21,6	21,6	21,5
140	22,07	21	20,00	5,51	5,50	5,52	5,52	22,00	22,1	22,1
150	20,50	21	25,00	4,10	4,10	4,10	4,10	20,5	20,5	20,5
160	22,70	21	35,00	3,24	3,24	3,24	3,24	22,7	22,7	22,7
170	21,50	21	45,00	2,38	2,38	2,38	2,38	21,5	21,5	21,5

Tabla 6,1 Rango de las temperaturas de mezclado y compactación

Rango Temperatura de Mezclado °C	180 - 185
Rango Temperatura de Compactación ° C	169 - 174

Fuentes: Laboratorio de control de calidad MPI Ltda, Barrancabermeja.

Anexo 4. Ensayos realizados durante la elaboración del proyecto.

Tabla 6. Ensayos realizados para la caracterización del asfalto AC-10. Especificaciones de la norma ASTM D-3381.

ENSAYOS	NORMAS INVIAS	NORMAS DE REFERENCIA	OBJETIVOS DEL ENSAYO	RESUMEN DEL METODO
PENETRACION	I.N.V.E-706-07	ASTM D 5-97 AASHTO T49-03 NLT 124/84	Determinar la consistencia de los materiales asfálticos sólidos o semisólidos en los cuales el único o el principal componente es un asfalto	La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro hasta la cual una aguja normalizada penetra verticalmente en el material en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25°C durante un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g, aunque se pueden emplear otras condiciones previamente definidas.
PUNTO DE IGNICION Y DE LLAMA MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND	I.N.V.E-709-07	ASTM D 92-02b AASHTO T 48-04	Determinar los puntos de ignición y de llama, mediante la copa abierta de Cleveland de productos de petróleo y de otros líquidos con excepción de los aceites combustibles y de los materiales que tienen un punto de ignición, en copa abierta de Cleveland por debajo de 79°C	La copa del ensayo se llena con la muestra hasta un nivel especificado. Se aumenta rápidamente la temperatura inicial de la muestra y luego a una rata constante y lenta, a medida que se aproxima al punto de ignición. A intervalos de tiempo especificados se pasa una pequeña llama de ensayo a través de la copa. La temperatura más baja a la cual la aplicación de la llama de ensayo haga que se incendien los vapores que se encuentran por encima de la superficie del líquido, se toma como el punto de ignición. Para determinar el punto de llama, se continúa la aplicación de la llama de ensayo hasta cuando ésta haga que el aceite se queme por lo menos durante 5 segundos.
MÉTODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD DEL ASFALTO EMPLEANDO EL VISCOSIMETRO ROTACIONAL	I.N.V.E-717-07	AASHTO T 316-04	Describir el procedimiento que se debe seguir para medir la viscosidad aparente del asfalto a elevadas temperaturas, desde 60° a 200°C, usando un viscosímetro rotacional equipado con un sistema termosel	Se mide el tiempo necesario, para inducir por medio del vacío, un volumen fijo de líquido a través de un tubo capilar, bajo condiciones estrechamente controladas de vacío y temperatura. La viscosidad en Poises, se calcula, multiplicando el tiempo de flujo, en segundos, por el factor de calibración del viscosímetro
SOLUBILIDAD DE MATERIALES ASFÁLTICOS EN TRICLOROETILENO	I.N.V.E-713-07	ASTM D 2042 -01 AASHTO T 44-03	Este método de ensayo se refiere a la determinación del grado de solubilidad en tricloroetileno de materiales asfálticos que tengan poco material mineral o que carezcan de él.	La muestra se disuelve en tricloroetileno y se pasa a través de un filtro de papel o almohadilla de fibra de vidrio. El material insoluble es lavado, secado y pesado.

Continuación tabla 6.

ENSAYOS	NORMAS INVIAS	NORMAS DE REFERENCIA	OBJETIVOS DEL ENSAYO	RESUMEN DEL METODO
DUCTILIDAD DE LOS MATERIALES ASFALTICOS	I.N.V.E-702-07	ASTM D 113 AASHTO T 51 NLT 126	Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la ductilidad de los materiales asfálticos, de consistencia sólida y semisólida.	Normalmente, el ensayo se realiza con una velocidad de tracción de 50 ± 2.5 mm por minuto y la temperatura de $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ($77 \pm 1.0^{\circ}\text{F}$); aunque se puede realizar en otras condiciones de temperatura, debiendo concretarse en este caso la velocidad correspondiente
VISCOCIDAD CINEMÁTICA DE ASFALTOS	I.N.V.E-715-07	ASTM D 2170-01A AASHTO T 201-03	Este método cubre procedimientos para la determinación de la viscosidad cinemática de asfaltos líquidos, aceites para carreteras, residuos de destilación de asfaltos líquidos (bitúmenes), todos a 60°C y de asfaltos sólidos a 135°C	En este método se mide el tiempo necesario para que un volumen fijo de líquido fluya, por capilaridad, a través de un viscosímetro capilar de vidrio, bajo una cabeza exactamente reproducible y a una temperatura muy bien controlada. La viscosidad cinemática se calcula multiplicando el tiempo de flujo en segundos por el factor de calibración del viscosímetro.
ENSAYO AL HORNO DE LAMINA ASFALTICA DELGADA	I.N.V.E-721-07	ASTM D 1754 -97 AASHTO T 179-05	Determinar el efecto del calor y del aire sobre una película de materiales asfálticos semisólidos. Los efectos de este procedimiento se determinan a partir de la medición de ciertas propiedades seleccionadas del asfalto, antes y después del ensayo	Se calienta una lámina de material asfáltico en un horno a 163°C durante 5 horas. Los efectos del calor y del aire se determinarán a partir de los cambios en las propiedades físicas, medidas antes y después del tratamiento en el horno. Se presenta, además, un procedimiento alternativo para determinar el cambio en la masa de la muestra

Tabla 7. Ensayos realizados para la caracterización del asfalto modificado con llanta. Especificaciones de la norma ASTM D-611497.

ENSAYOS	NORMAS INVIAS	NORMAS DE REFERENCIA	OBJETIVOS DEL ENSAYO	RESUMEN DEL METODO
PENETRACION	I.N.V.E-706-07	ASTM D 5-97 AASHTO T49-03 NLT 124/84	Determinar la consistencia de los materiales asfálticos sólidos o semisólidos en los cuales el único o el principal componente es un asfalto	La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro hasta la cual una aguja normalizada penetra verticalmente en el material en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25°C durante un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g, aunque se pueden emplear otras condiciones previamente definidas.

Continuación tabla 7.

ENSAYOS	NORMAS INVIAS	NORMAS DE REFERENCIA	OBJETIVOS DEL ENSAYO	RESUMEN DEL METODO
PUNTO DE IGNICION Y DE LLAMA MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND	I.N.V.E-709-07	ASTM D 92-02b AASHTO T 48-04	Determinar los puntos de ignición y de llama, mediante la copa abierta de Cleveland de productos de petróleo y de otros líquidos con excepción de los aceites combustibles y de los materiales que tienen un punto de ignición, en copa abierta de Cleveland por debajo de 79°C	La copa del ensayo se llena con la muestra hasta un nivel especificado. Se aumenta rápidamente la temperatura inicial de la muestra y luego a una rata constante y lenta, a medida que se aproxima al punto de ignición. A intervalos de tiempo especificados se pasa una pequeña llama de ensayo a través de la copa. La temperatura más baja a la cual la aplicación de la llama de ensayo haga que se incendien los vapores que se encuentran por encima de la superficie del líquido, se toma como el punto de ignición. Para determinar el punto de llama, se continúa la aplicación de la llama de ensayo hasta cuando ésta haga que el aceite se queme por lo menos durante 5 segundos.
MÉTODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD DEL ASFALTO EMPLEANDO EL VISCOSIMETRO ROTACIONAL	I.N.V.E-717-07	AASHTO T 316-04	Describir el procedimiento que se debe seguir para medir la viscosidad aparente del asfalto a elevadas temperaturas, desde 60° a 200°C, usando un viscosímetro rotacional equipado con un sistema termosel	Se mide el tiempo necesario, para inducir por medio del vacío, un volumen fijo de líquido a través de un tubo capilar, bajo condiciones estrechamente controladas de vacío y temperatura. La viscosidad en Poises, se calcula, multiplicando el tiempo de flujo, en segundos, por el factor de calibración del viscosímetro
PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS (APARATO DE ANILLO Y BOLA)	I.N.V.E-712-07	ASTM D 36-95 AASHTO T 53-96 NLT 125-84	Determinación el punto de ablandamiento de productos bituminosos en el intervalo de 30° a 157° C, utilizando el aparato de anillo y bola, sumergido en agua destilada (30° a 80° C), glicerina USP (encima de 80° a 157°C).	El punto de ablandamiento es útil para clasificar productos bituminosos y es un valor índice de la tendencia del material a fluir cuando está sometido a temperaturas elevadas, durante su vida de servicio. También, puede servir para establecer la uniformidad de los embarques o fuentes de abastecimiento

Continuación tabla 7.

ENSAYOS	NORMAS INVIAS	NORMAS DE REFERENCIA	OBJETIVOS DEL ENSAYO	RESUMEN DEL METODO
RESILIENCIA	.....	ASTM D 5329	Determina la recuperación elástica de asfaltos modificados con polímero de aplicación en caliente	.....
ENSAYO AL HORNO DE LAMINA ASFALTICA DELGADA	I.N.V.E-721-07	ASTM D 1754 -97 AASHTO T 179-05	Determinar el efecto del calor y del aire sobre una película de materiales asfálticos semisólidos. Durante el proceso de producción de la mezcla asfáltica.	Se calienta una lámina de material asfáltico en un horno a 163° C durante 5 horas. Los efectos del calor y del aire se determinarán a partir de los cambios en las propiedades físicas, medidas antes y después del tratamiento en el horno. Se presenta, además, un procedimiento alternativo para determinar el cambio en la masa de la muestra

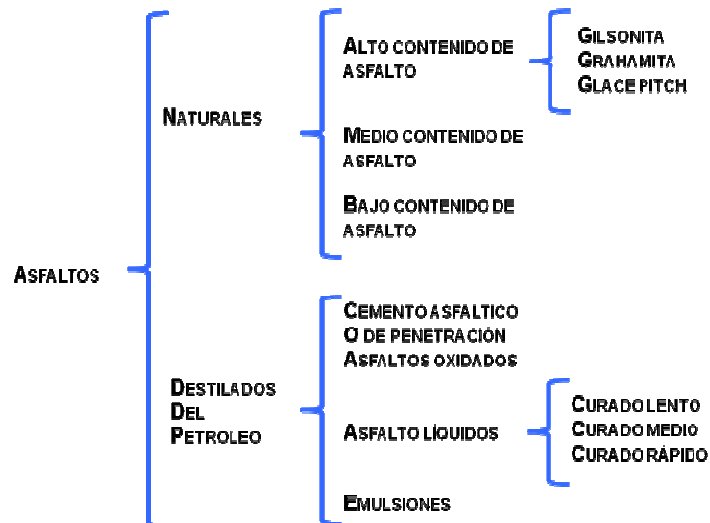
Anexo 5. Generalidades del asfalto

5.1 ASFALTO

Sustancia líquida, sólida o semisólida de color oscuro, constituida por hidrocarburos alifáticos y aromáticos pesados, por otros compuestos orgánicos y por algunos metales¹. Resistente a la acción de la mayoría de álcalis, ácidos y sales. Proveniente de yacimientos naturales o como residuo del tratamiento de algunos crudos de petróleo por destilación o por extracción. Es un material altamente adhesivo, impermeable y durable. Es una sustancia termoplástica que proporciona flexibilidad controlable a las mezclas de agregados con las cuales se combina [8]

5.1.1 CLASIFICACION DE LOS ASFALTOS

Figura 1. Esquema clasificación de los asfaltos



Fuente. GUTIERREZ L.; El concreto y otros materiales para la construcción. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.2005.[9]

¹ Romero, C.M. & Gómez, A. Propiedades físicas y químicas de asfaltos colombianos tipo Barrancabermeja y de sus respectivas fracciones de asfaltenos Rev.Acad.Colomb.Cienc. Volumen XXIV, numero 98 Marzo de 2002

Asfaltos naturales: se encuentran en depósitos naturales formados por procesos análogos de la naturaleza, si estos depósitos se encuentran dentro de la estructura de rocas porosas se conocen con el nombre de asfaltos de roca o rocas asfálticas. Estos se clasifican en [22]:

- Asfaltos con alto contenido de bitumen: En este grupo están los asfaltos sólidos o asfaltitas poseen un contenido de bitumen mayor al 80 %.
- Asfaltos con medio contenido de bitumen: contiene bitumen en proporción del 15-80%.
- Asfaltos con bajo contenido de bitumen: la proporción de bitumen varía entre un 3-15 %.

Asfalto derivado del petróleo: proviene de la refinación del petróleo, también es llamado asfalto residual por ser el residuo de la destilación del petróleo [10]

Cemento asfáltico: Es una combinación de un asfalto refinado y un aceite fluidificante, gracias a sus propiedades aglutinantes e impermeabilizantes y a sus características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia son ideales para la pavimentación.

Asfalto líquidos: También denominados asfaltos rebajados, están compuestos de por una base asfáltica (cemento asfáltico) y un fluidificante volátil (bencina, queroseno, aceite).

Emulsión asfáltica: sistema heterogéneo de dos fases inmiscibles como el asfalto y el agua, al que se le incorpora un agente activador de superficie, tensoactivo o emulsificante, básico o ácido el cual mantiene en dispersión el sistema, la fase continua es el agua, y la discontinua son los glóbulos de asfalto. De acuerdo a la velocidad de rompimiento las emulsiones pueden ser de rompimiento rápido, de rompimiento medio y de rompimiento lento.