

**COMPORTAMIENTO DE TEJAS DE CUBIERTA TIPO MULTICAPA
FABRICADAS CON ASFALTO CRUDO Y MODIFICADO CUANDO SON
SOMETIDAS A CARGAS CONSTANTES**

PEDRO JAVIER LÓPEZ BULA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD EAFIT
MEDELLÍN
2011

**COMPORTAMIENTO DE TEJAS DE CUBIERTA TIPO MULTICAPA
FABRICADAS CON ASFALTO CRUDO Y MODIFICADO CUANDO SON
SOMETIDAS A CARGAS CONSTANTES**

PEDRO JAVIER LÓPEZ BULA

Proyecto de grado para optar al título de ingeniero civil

Asesor Metodológico

JUAN CAMILO MUNERA OSSA

Especialista en materiales

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD EAFIT

MEDELLÍN

2011

Nota de Aceptación

Firma Presidente del Jurado

Firma de Jurado

Firma de Jurado

Medellín, Octubre 14 de 2011

DEDICATORIA

A mis padres, compañeros y profesores de la Universidad EAFIT, que me ayudaron con grandes aportes y conocimientos para el desarrollo de todas las actividades académicas con el fin de lograr esté gran objetivo, ser ingeniero civil de tan prestigiosa Universidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a todas las personas que de una u otra manera participaron y aportaron a éste proyecto: Juan Camilo Munera Ossa, Alexander Ossa. Personal del Laboratorio de Concretos, Suelos y Pavimentos, Universidad EAFIT. Especialmente a Vladimir Rodríguez Useche Universidad EAFIT. Coordinador del Laboratorio de Materiales, Universidad EAFIT. Especialmente a Juan Carlos Duque, técnico de laboratorio de materiales, Carolina Londoño Hernández, técnica de laboratorio de materiales y Jhon Fredy Gonzales Bernal, analista laboratorio de suelos, concreto y pavimento, Universidad EAFIT.

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	13
1. OBJETIVOS	15
1.1 OBJETIVO GENERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2. ALCANCE DEL TRABAJO	16
3. MARCO REFERENCIAL	17
3.1 DEFINICIÓN DE ASFALTO	17
3.2 USOS MÁS COMUNES DEL ASFALTO	19
3.2.1 Concreto asfáltico	19
3.2.2 Sello con lechada de emulsión asfáltica	19
3.2.3 Sello negro de asfalto	19
3.2.4 Carpeta asfáltica de nivelación	19
3.2.5 Carpeta asfáltica de recubrimiento	19
3.2.6 Pavimentos asfálticos	20
3.2.7 Capa de imprimación asfáltica	20
3.2.8 Capa de sello asfáltico	20
3.2.9 Tratamientos asfálticos superficiales	20
3.2.10 Capa de pega asfáltica	20
3.3 TIPOS DE ASFALTO	21
3.3.1 Asfaltos naturales	21
3.3.2 Asfaltos artificiales	22
3.3.3 Asfaltos para pavimentar	23

3.3.3.1 Cementos asfálticos.....	23
3.3.3.2 Asfalto líquido	24
3.3.4 Asfaltos para Entechar.....	25
3.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y FÍSICA.....	27
3.4.1 Propiedades físicas del asfalto	28
3.4.2 Composición química del asfalto	28
3.5 REOLOGIA DE LOS ASFALTOS	30
3.6 PRODUCCIÓN DE ASFALTO	32
3.6.1 La destilación atmosférica.....	35
3.6.2 La destilación al vacío.....	35
3.6.3 Los procesos de desparafinado.....	35
3.6.4 Los procesos de desasfaltado	35
3.6.5 Los procesos de oxidación o “blowing”	36
3.6.6 Los procesos de modificación o uso de mejoradores	36
3.7 ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO	38
3.7.1 Tipos de modificadores.....	40
3.7.2 Fundamentos de la modificación	41
3.7.3 Problemática en el empleo de asfaltos modificados	41
3.7.4 Caracterización de los asfaltos modificados	42
3.8 ENSAYOS CREEP	43
3.8.1 Concepto y definición de creep.....	44
3.8.2 Generalidades al comportamiento al creep.....	44
3.8.3 Mecanismos de creep.....	44
3.8.4 Propiedades de las curvas de creep.....	46
3.9 ESTADO DEL ARTE.....	48
4. METODOLOGÍA	51

4.1 MATERIALES	51
4.2 FABRICACIÓN DE MEZCLAS.....	52
4.3 CONSTRUCCIÓN DE PROBETAS	53
4.4 ENSAYOS MECÁNICOS.....	56
4.4.1 Maquina universal.....	59
4.4.2 Ensayo creep (condiciones de ensayo)	60
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	62
5.1 COMPORTAMIENTO DE LOS ASFALTOS SOMETIDOS A EMPERATURA AMBIENTE.....	62
5.1.1 Velocidades de deformación del asfalto crudo y los modificados	62
5.1.2 Análisis del comportamiento a la fluencia del asfalto crudo y modificado	65
5.1.2.1 Esfuerzos y velocidades de deformación del asfalto modificado con SBS	65
5.1.2.2 Esfuerzos y velocidades de deformación del asfalto modificado con CERA	66
5.1.2.3 Esfuerzos y velocidades de deformación del asfalto modificado con CR	67
5.1.3 Comportamiento general a la fluencia de los asfaltos modificados y crudo, evaluados a temperatura ambiente	68
5.1.3.1 Análisis de mezclas al 3 %	68
5.1.3.2 Análisis de mezclas al 6 %	70
5.2 COMPORTAMIENTO DE MATERIALES SOMETIDOS A 30 °C.....	71
5.2.1 Velocidades de deformación del asfalto crudo y los modificados	71
5.2.2 Análisis del comportamiento a la fluencia del asfalto crudo y modificado	73
5.2.2.1 Esfuerzos y velocidades de deformación del asfalto modificado con SBS	73

5.2.2.2 Esfuerzos y velocidades de deformación del asfalto modificado con CERA	74
5.2.2.3 Esfuerzos y velocidades de deformación del asfalto modificado con CR	76
5.2.3 Comportamiento general a la fluencia de los asfaltos modificados evaluados a 30 °C y crudo a temperatura ambiente	77
5.2.3.1 Análisis de mezclas al 3 %	77
5.2.3.2 Análisis de mezclas al 6 %	78
5.3 COMPORTAMIENTO DE MATERIALES SOMETIDOS A 40°C	80
5.3.1 Análisis del comportamiento a la fluencia del asfalto crudo y modificado	80
5.3.1.1 Esfuerzos y velocidades de deformación del asfalto modificado con SBS	80
5.3.1.2 Esfuerzos y velocidades de deformación del asfalto modificado con CERA	81
5.3.1.3 Esfuerzos y velocidades de deformación del asfalto modificado con CR	82
5.3.2 Comportamiento general a la fluencia de los asfaltos modificados evaluados a 40 °C y crudo a temperatura ambiente	83
5.3.2.1 Análisis de mezclas al 3 %	83
5.3.2.2 Análisis de mezclas al 6 %	84
5.4 COMPORTAMIENTO GENERAL DE MATERIALES SOMETIDOS A ENSAYO A DIFERENTES TEMPERATURAS.....	86
5.4.1 Comportamiento a la fluencia de acuerdo a la temperatura para el asfalto modificado con SBS.....	86
5.4.1.1 Comportamiento a la fluencia del asfalto con 3 % de SBS	86
5.4.1.2 Comportamiento a la fluencia del asfalto con 6 % de SBS	87
5.4.2 Comportamiento a la fluencia de acuerdo a la temperatura para el asfalto modificado con CERA	88
5.4.2.1 Comportamiento a la fluencia del asfalto con 3 % de CERA	88

5.4.2.2 Comportamiento a la fluencia del asfalto con 6 % de CERA	89
5.4.3 Comportamiento a la fluencia de acuerdo a la temperatura para el asfalto modificado con CR.....	90
5.4.3.1 Comportamiento a la fluencia del asfalto con 3 % de CR	90
5.4.3.2 Comportamiento a la fluencia del asfalto con 6 % de CR	91
6. PERTINENCIA.....	94
7. CONCLUSIONES	96
8. RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFÍA.....	99

RESUMEN

El presente trabajo, analiza las propiedades viscoelásticas de diferentes materiales asfálticos después de ser sometidos a cargas permanentes y a diferente temperatura. Estas cargas simulan las que eventualmente se pueden presentar en la aplicación y fabricación de productos asfálticos ampliamente utilizados en el sector de la construcción. Para este estudio se utilizó asfalto crudo y modificado con diferentes polímeros: Cera de polietileno (CERA), caucho molido de llanta (CR), copolímero de estireno – butadieno - estireno (SBS), fueron los aditivos poliméricos utilizados como modificadores del asfalto, tanto el asfalto crudo como las diferentes mezclas fueron sometidas a ensayos creep con cargas constantes de 10 N, 60 N, 110 N, 160 N y 210 N.

Con el fin de determinar la dependencia del comportamiento del asfalto crudo y modificado respecto a la temperatura, se desarrollaron ensayos a tres diferentes temperaturas: Ambiente (aprox. 23°C), 30°C y 40°C. Entre los resultados obtenidos, se destaca que la menor deformación de los materiales en cuestión la presentó el asfalto modificado con CERA al 6 %, seguido del asfalto modificado con CERA al 3 %, asfalto modificado con SBS al 6 %, asfalto modificado con SBS al 3 %, asfalto modificado con CR al 3 % y finalmente, el asfalto modificado con CR al 6 % a temperatura ambiente.

Mientras, que al aumentar la temperatura a 30 °C y 40 °C, se presenta el caso contrario en cuanto a deformación de los materiales, siendo los asfaltos CR 6 % y SBS 3 % los que mejor comportamiento presentaron durante todo el ensayo. Los materiales con mejor comportamiento serán propuestos como material base para la fabricación de prototipos de tejas a nivel industrial.

ABSTRACT

The present work, analyzes changes in the behavior bitumen viscoelastic, when these have been subjected to permanent loads to different temperatures. These loads have simulated which eventually be present in the use and manufacture of these materials used in the construction sector. Where studied, the crude and modified asphalt with different polymers: polyethylene wax (CERA), ground rubber tire (CR), styrene - butadiene - styrene (SBS), which were subjected to creep tests with loads of 10 N, 60 N, 110 N, 160 N and 210 N.

With a view to determine the dependence of the behavior of crude and asphalt modified with respect to temperature, tests were developed at three different temperatures: Ambient, 30 ° C and 40 ° C. Between the results obtained emphasizes that the less deformation of the material in question was presented by the modified asphalt with wax to 6 %, followed by wax-modified asphalt to 3 %, SBS-modified asphalt to 6 %, SBS-modified asphalt to 3 %, CR-modified asphalt to 3 % and finally, the CR-modified asphalt to 6 % at room temperature.

While, that increasing the temperature to 30 ° C and 40 ° C, is presented the opposite case in terms of deformation of materials, with the asphalt CR 6 % and 3 % SBS that presented better performance during the test. The with the best performance materials will be proposed as base material for the fabrication of prototypes of tiles at industrial level.

INTRODUCCIÓN

La utilización de polímeros en la preparación de mezclas asfálticas, para la fabricación de tejas y cubiertas de alta durabilidad, se viene haciendo hace más de medio siglo en los países con mayor avance tecnológico. Es por eso, que los países en desarrollo como Colombia han querido incursionar en tales avances, haciendo necesario desarrollar trabajos investigativos que ayuden tanto a ingenieros como constructores, a comprender cada día más el comportamiento de los asfaltos modificados en diversas situaciones, en este caso en particular a través de un análisis de deformaciones obtenidas mediante ensayos de fluencia lenta (creep).

El interés de desarrollar este trabajo, surge de la necesidad creciente del sector de la construcción de contar con productos asfálticos, que cada día presenten un mejor desempeño bajo diferentes factores, tales factores pueden ser ambientales como las altas temperaturas, haciendo necesario desarrollar procesos y mecanismos que permiten la obtención de asfaltos de mayor durabilidad bajo condiciones extremas. El uso de polímeros como modificadores de asfalto, es una interesante técnica mundialmente utilizada y ha permitido obtener materiales de alta resistencia y calidad, ampliando el rango de aplicación de los asfaltos.

Es por eso, que la utilización de asfalto en las actividades de la construcción ha tenido un gran desarrollo y se cuenta con nuevos tipos de asfaltos, que pueden ser utilizados en la fabricación de diversos productos para el sector de la construcción. Donde la innovación e implementación de métodos de mezclado y el uso de diferentes aditivos, hacen que los productos finales basados en asfalto sean mucho más resistentes y de mejor calidad. Sin embargo son escasos los estudios sobre asfalto modificado que se han hecho en Colombia, haciendo más atractivo lo analizado en este trabajo.

Si bien se debe considerar que el empleo de asfaltos modificados con polímeros tiene un costo adicional sobre las mezclas y procesos de fabricación,

los costos de mantenimiento se reducen al ser materiales más duraderos. Por lo tanto, es de saber que los asfaltos modificados poseen propiedades satisfactorias, tanto mecánicas como de adherencia en una amplia gama de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de medio ambiente. Sin embargo, la creciente utilización de dicho material en la industria de la construcción, hacen necesario desarrollar trabajos de investigación de este tipo que contribuyan al entendimiento de las propiedades viscoelásticas del asfalto, que luego irán hacer usados como materia prima en la fabricación de tejas u otras aplicaciones convencionales.

En tal sentido, el presente trabajo pretende dar a conocer los resultados de las deformaciones obtenidas mediante pruebas de ensayo creep, que se le realizaron a un asfalto de origen Colombiano antes y después de ser modificado con tres diferentes polímeros: Cera de polietileno (CERA), caucho molido de llanta (CR), copolimero de estireno – butadieno - estireno (SBS). Con el objeto de identificar cambios en sus comportamientos que permitan establecer niveles de modificación de los polímeros sobre el asfaltos.

Los resultados obtenidos en este trabajo servirán para orientar y documentar el proceso de fabricación de cubiertas y tejas con asfalto a nivel industrial.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los esfuerzos máximos de fluencia a un producto para cubierta multicapa, fabricadas con diferentes tipos de asfalto, cuando se somete a cargas constantes a diferentes temperaturas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir un método constructivo para la elaboración de las probetas tipo multicapa, con asfalto crudo y modificado.
- Implementar un ensayo de fluencia lenta (creep) para este tipo de producto.
- Determinar e identificar los esfuerzos máximos de fluencia del prototipo multicapa, desarrollado con cada uno de los tipos de asfaltos, a diferentes cargas y temperaturas.
- Establecer qué tipo de asfalto utilizado en los prototipos multicapa presenta mejor comportamiento a la fluencia.

2. ALCANCE DEL TRABAJO

- Este proyecto se hace con el fin de caracterizar asfaltos modificados utilizados para la fabricación de tejas o cubierta multicapa, tal que permita conocer sus propiedades mecánicas, como esfuerzos de fluencia, capacidades de carga y soporte, para que el proveedor y fabricante tenga información técnica del producto.
- Los prototipos que presenten los mejores comportamientos serán utilizados en ensayos a mayor escala, para posteriormente, si presentan un buen comportamiento, ser comercializados.
- Este trabajo hace parte del proyecto cofinanciado Universidad EAFIT – Colciencias establecido en el contrato No 577 2009, titulado “Desarrollo de materiales con propiedades de aislamiento térmico y acústico para la aplicación en el sector de la construcción” trabajo de maestría del estudiante Juan Camilo Múnera Ossa.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 DEFINICIÓN DE ASFALTO

El termino Asfalto, ampliamente utilizado por las empresas constructoras de vías y otras, es usado de forma similar con el de Bitumen especialmente en los Estados Unidos. En el lenguaje Europeo se usa para denotar la impureza de un material genérico; aunque también se usa por parte de los industriales para nombrar a los pavimentos como mezcla de componentes. Bitumen genéricamente se refiere a una mezcla de hidrocarburos pesados libre de impurezas orgánicas.

La ASTM (según norma D 8 - 55) le dio la siguiente definición:

A) Relativo a materiales bituminosos: Bitumen es una mezcla de hidrocarburos de origen natural, frecuentemente acompañado de derivados no metálicos. Pueden ser gaseosos, líquidos, semisólidos o sólidos, y son completamente solubles en disulfuro de carbono.

B) Relativo a asfaltos del petróleo: Asfalto es un material pegajoso de color marrón oscuro a negro, de consistencia sólida o semisólida, cuyos principales componentes son los bitúmenes. Las connotaciones del término asfalto implica también la mezcla de bitúmenes con impurezas como sales, arcillas o algún otro material mineral u orgánico; por eso se habla del asfalto de “trinidad lake” que contiene el 54 % de bitumen, siendo lo demás material insoluble.¹

El término de “asfalto natural” es también empleado para llamar depósitos de materiales bituminosos encontrados en la naturaleza como los de “trinidad lake” o los del “mar muerto” y que contienen impurezas inorgánicas. En general, el

¹ CAPACITACIÓN, Sena-Corasfaltos. “Tecnología del Asfalto, Reología y Productos Para Optimizar su uso Grupo Medellín - SENA, Corporación para la Investigación y Desarrollo en Asfaltos en el Sector Transporte e Industrial-CORASFALTOS”. (2009).

termino asfalto ha sido muy usado cuando se refiere a los residuos del petróleo que en la mayoría de los casos es 100 % soluble en disulfuro de carbono.²

Los asfaltos son constituidos por la fracción más pesada, obtenida de la destilación al vacío del crudo reducido (fondos de la destilación atmosférica del petróleo). Normalmente son hidrocarburos pesados, solubles de color oscuro, y pueden ser líquidos o sólidos. EL uso principal de los asfaltos es la construcción y conservación de vías. Pueden aplicarse de diferentes formas, tales como emulsiones asfálticas, asfaltos líquidos o directamente como cemento asfáltico.³

El material base para el presente trabajo es un asfalto con un grado de penetración 80/100, de origen Colombiano fabricado en la refinería de Barrancabermeja. Cuyas especificaciones se presentan a continuación:

Tabla 1. Producto : Asfalto 80/100				
Grado	Asfalto Líquido			
Referencia	ASTM D 1437			
Actualización	Marzo 1, 2005			
Características	Unidades	Métodos	Mínimo	Máximo
Ductibilidad a 25 °C, 5 cm/min	cm	D 113	100	
Penetración a 25 °C, 100 g 5 s	mm/10	D 5	80	100
Punto de ablandamiento	°C	D 36	42	53
Punto de inflamación	°C	D 92	232	
Solubilidad en Tricloroetileno	g/100g	D 2042	99	
Pérdida de masa	g/100	D 2872		1,0

FUENTE: <<http://portal.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?conID=37385&catID=222>>

² Ibid.

³ Artículo [On line] <<http://portal.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?conID=37385&catID=222>>

3.2 USOS MÁS COMUNES DEL ASFALTO

3.2.1 Concreto asfáltico

Es una mezcla en caliente, de alta calidad y perfectamente controlada, de cemento asfáltico y agregados de buena calidad bien gradados, que se debe compactar perfectamente para formar una masa densa y uniforme, tipificada por las mezclas tipo IV del Instituto del Asfalto.

3.2.2 Sello con lechada de emulsión asfáltica

Es una mezcla de asfalto emulsionado de rotura lenta, agregado fino y un mineral de relleno, a la que se le añade agua para darle consistencia de lechada.

3.2.3 Sello negro de asfalto

Es una aplicación ligera de emulsión asfáltica de rotura lenta diluida en agua. Se utiliza para renovar superficies asfálticas viejas y para sellar grietas y pequeños vacíos de la superficie.

3.2.4 Carpeta asfáltica de nivelación

Es una capa (mezcla de agregado y asfalto) de espesor variable utilizada para eliminar irregularidades de la superficie existente antes de cubrirla con un tratamiento nuevo o con una carpeta de recubrimiento.

3.2.5 Carpeta asfáltica de recubrimiento

Consiste en una o más capas asfálticas aplicadas sobre el pavimento existente. La carpeta de recubrimiento generalmente consiste de una carpeta de nivelación, para corregir las irregularidades del pavimento viejo, seguida por una o varias carpetas de grosor uniforme, hasta obtener el espesor total necesario.

3.2.6 Pavimentos asfálticos

Son pavimentos compuestos por una capa superficial de agregado mineral recubierto y aglomerado con cemento asfáltico, colocada sobre superficies de apoyo tales como bases asfálticas, piedra triturada o grava; o sobre un pavimento de concreto de cemento Portland, de ladrillo o bloques.

3.2.7 Capa de imprimación asfáltica

Se llama así a la aplicación de un asfalto líquido de baja viscosidad a una superficie absorbente. Se suele utilizar para preparar una base no tratada que baya a ser recubierta con una carpeta asfáltica.

3.2.8 Capa de sello asfáltico

Es un tratamiento superficial consistente en la aplicación de una capa delgada de asfalto para impermeabilizar y mejorar la textura de la carpeta asfáltica superficial.

3.2.9 Tratamientos asfálticos superficiales

Son aplicaciones a cualquier tipo de carretera, superficie o pavimento, de materiales asfálticos con o sin recubrimiento de agregado mineral, de espesor no mayor de 25 cm.

3.2.10 Capa de pega asfáltica

Es una aplicación muy ligera de asfalto líquido sobre una superficie de cemento Portland. El tipo de asfalto preferido es la emulsión asfáltica diluida en agua. Se emplea para asegurar la adhesión de la nueva carpeta de la superficie que se va a pavimentar.⁴

⁴ INSTITUTO DE ASFALTO. Manual para el Mantenimiento de los pavimentos. Colegios de Ingenieros de Venezuela, 1976.

3.3 TIPOS DE ASFALTO

Los asfaltos se encuentran en cualquier parte del mundo, en cualquiera de las siguientes formas:

A) Están presentes en estratos geológicos como bitúmenes blandos y duros, bitúmenes negros en formaciones rocosas o impregnando arenas de formación. Los materiales bituminosos blandos como los crudos pesados se presentan como en el lago Trinidad, en la isla de Trinidad; en el lago Bermúdez, en Venezuela y en el área “tar-sands” cerca al lago Athabasca en Canadá.⁵

B) En el petróleo crudo en forma de dispersiones coloidales.

Por lo anterior se tienen dos tipos de asfaltos: Los naturales (A) que incluyen bitúmenes sólidos, y los artificiales (B) provenientes de la destilación del crudo.

3.3.1 Asfaltos Naturales

Los asfaltos naturales, se han producido a partir del petróleo, pero por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles, dejando las asfálticas solamente. Estos pueden encontrarse como escurrimientos superficiales en depresiones terrestres, dando origen a lagos de asfalto, como los de las islas Trinidad y Bermudas. También aparecen impregnando los poros de algunas rocas, denominándose rocas asfálticas, como la gilsonita.

Así también, se encuentran mezclados con elementos minerales, como pueden ser arenas y arcillas en cantidades variables, debiendo someterse a posteriores procesos de purificación, para luego poder ser utilizadas en pavimentación. En la actualidad, no es muy utilizado este tipo de asfalto por cuanto adolece de uniformidad y pureza. Estos asfaltos pueden clasificarse como:⁶

⁵ TELFORD, Thomas Ltd “The Shell Bitumen Handbook”, Fifth Edition. Published September 2003.

⁶ Ibid.

A) Puros o casi puros: Asfalto del lago Bermúdez.

B) Bitúmenes con impurezas inorgánicas: Trinidad refina cerca del 50 % al 57 % del bitumen; el remanente es arcilla coloidal de origen volcánico con algún material inerte. Cuba tiene bitúmenes con el 80 % a 90 % de pureza y Venezuela los posee con un 85 % a 92 % de pureza.

C) Asociados con materia mineral: Entre los que se encuentran, asfaltos del lago Trinidad, asfaltos del Irak, Boeton y Selenitza, asfaltos de roca europeos y americanos.

D) Los llamados depósitos de rocas asfálticas: areniscas impregnadas como las de Kentucky, Oklahoma y Medio Oriente; rocas asfálticas con o sin calizas como las de Athabasca, los de Uvalde y Texas y en Europa los de Silicia, Limmer y Lobsann.

3.3.2 Asfaltos artificiales

Los asfaltos más utilizados en el mundo hoy en día, son los derivados de petróleo, los cuales se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo. Representan más del 90 % de la producción total de asfaltos. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto y a veces casi en su totalidad. Sin embargo existen algunos petróleos crudos, que no contienen asfalto. En base a la proporción de asfalto que poseen, los petróleos se clasifican en:

Petróleos crudos de base asfáltica.

Petróleos crudos de base parafínica.

Petróleos crudos de base mixta (contiene parafina y asfalto).

El asfalto procedente de ciertos crudos ricos en parafina no es apto para fines viales, por cuanto precipita a temperaturas bajas, formando una segunda fase discontinua, lo que da como resultado propiedades indeseables, tal como la

pérdida de ductilidad. Con los crudos asfálticos esto no sucede, dada su composición. El petróleo crudo extraído de los pozos, es sometido a un proceso de destilación en el cual se separan las fracciones livianas como la nafta y kerosene de la base asfáltica mediante la vaporización, fraccionamiento y condensación de las mismas. En consecuencia, el asfalto es obtenido como un producto residual del proceso anterior.

El asfalto es además un material bituminoso pues contiene betún, el cual es un hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono (CS₂). El alquitrán obtenido de la destilación destructiva de un carbón graso, también contiene betún, por lo tanto también es un material bituminoso pero no debe confundirse con el asfalto, ya que sus propiedades difieren considerablemente. El alquitrán tiene bajo contenido de betún, mientras que el asfalto está compuesto casi enteramente por betún, entre otros compuestos.⁷

El asfalto de petróleo moderno, tiene las mismas características de durabilidad que el asfalto natural, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños.

3.3.3 Asfaltos para pavimentar

Estos corresponden al llamado asfalto destilado o cemento de asfalto, el cual se usa principalmente para pavimentar caminos, pistas de aeropuertos y estacionamientos. El asfalto refinado para cumplir con las especificaciones para pavimentos se llama cemento asfáltico. A las temperaturas normales es semisólido y su grado de solidez se mide con una prueba de penetración. Se calienta hasta que se licua, antes de incorporarle el agregado en las mezclas para pavimentos.

3.3.3.1 Cementos asfálticos: se designan generalmente por las letras AC y son asfaltos refinados o una combinación de un asfalto refinado y un aceite fluidificante (gasóleo), de una viscosidad apropiada para los trabajos de pavimentación. Es considerado como un material ideal para los trabajos de

⁷ Op. Ibid

pavimentación, pues además de sus propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, posee características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la acción de la mayoría de ácidos, sales y alcoholes.

Si el asfalto es tan blando que la prueba de penetración no es adecuada para medir su consistencia, se le denomina asfalto líquido.

3.3.3.2 Asfalto líquido: También denominados asfaltos rebajados o “cut backs”, se define según el Instituto de Asfalto como: “Material asfáltico cuya consistencia blanda o fluida hace que se salga del campo en que se aplica el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300”

Están compuestos por una base asfáltica (cemento asfáltico) y un fluidificante volátil que puede ser bencina, kerosene ó aceite. El fluidificante se agrega con el propósito de proporcionar al asfalto la viscosidad necesaria para poderlo mezclar y trabajar con los agregados de baja temperatura. Una vez elaborada la mezcla de solventes o fluidificantes se evaporan (proceso de curado), quedando el residuo asfáltico el cual envuelve y cohesiona las partículas de agregado.⁸ Según el proceso de curado se producen varios tipos de asfalto líquido:

- Asfalto de curado rápido, que se designan por las letras RC (rapid curing), seguido por un número que indica el grado de viscosidad cinemática en centiestokes, que se licua con nafta o gasolina, ambas muy volátiles y que al evaporarse con rapidez lo que queda es el cemento asfáltico; en Colombia, el más utilizado es el RC - 250
- Asfalto de curado mediano, que se designan por las letras MC (médiun curing), seguido por un número que indica el grado de viscosidad cinemática medido en centiestokes, que es el cemento asfáltico licuado con un diluyente a base kerosene; en Colombia, el más utilizado es el MC - 70

⁸ Op. Cit

- Asfalto de curado lento, que se designan por las letras SC (slow curing), seguido por el respectivo número de viscosidad cinemática que tienen, que se mezcla con un aceite de baja volatilidad; en Colombia no se produce en la actualidad.
- Asfalto emulsificado - emulsiones asfálticas, el cual se produce al mezclar agua con un agente emulsificador y cemento asfáltico. Este sistema heterogéneo de dos fases normalmente inmiscibles de glóbulos esféricos en el medio acuoso, se endurece cuando se evapora el agua.
- Cuando la emulsión se pone en contacto con el agregado se produce un desequilibrio eléctrico que rompe la emulsión, llevando a las partículas de asfalto a unirse a la superficie del agregado; el agua fluye o se evapora separándose de las partículas pétreas recubiertas por el asfalto. Existen emulsificantes que permiten que esta rotura sea instantánea y otros que retardan este fenómeno.

De acuerdo a la velocidad de rotura, las emulsiones asfálticas pueden ser: de rompimiento rápido, que se designa por las letras RS (rapid setting), de rompimiento medio, que se designa por las letras MS (médium setting), de rompimiento lento, que se designa por las letras SS (slow setting).⁹

3.3.4 Asfaltos para entechar

Estos corresponden al llamado asfalto soplado u oxidificado, los cuales tiene un punto alto de ensuavizarse y se usa principalmente en los techos, cubiertas de tubería, y en situaciones parecidas.

Estos asfaltos son sometidos a un proceso de deshidrogenación y luego a un proceso de polimeración. A elevada temperatura se le hace pasar una corriente de aire con el objetivo de mejorar sus características y adaptarlos a

⁹ MERRIT, Frederick S. Manual del Ingeniero Civil. McGraw -Hill. Abril de 1998.

aplicaciones más especializadas, como fabricación de materiales para techados, revestimientos de tubos, inyección bajo pavimento de concreto hidráulico, membranas envolventes y aplicaciones hidráulicas. El proceso de oxidación produce en los asfaltos las siguientes modificaciones físicas: aumento del peso específico, aumento de la viscosidad.

3.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y FÍSICA DEL ASFALTO

Antes que el intercambio de crudo, en el mercado, fuera algo corriente; las refinerías rara vez cambiaban sus fuentes de abastecimiento de crudo. Esto llevo a que las fuentes de asfalto tuvieran, también, propiedades consistentes. Al integrarse el cambio del abastecimiento de crudo de las refinerías se crearon más variaciones en las propiedades del asfalto, tanto físicas como químicas.

De estas variaciones, salió la necesidad de poderse evaluar el comportamiento del asfalto ante condiciones particulares y predecir su rendimiento en términos de conocidas formas de esfuerzo. Aun así, algunas propiedades físicas y químicas siguen siendo constantes en todos los tipos de asfaltos. El método para medir cuantitativamente la composición de un asfalto, se llama SARA y se basa en la cromatografía líquida para hacer la separación de los componentes.

Las propiedades físicas de los asfaltos dependen de la concentración y del grado de dispersión de los asfáltenos en los máltenos. De acuerdo con las últimas investigaciones adelantadas por el grupo SHRP de los Estados Unidos, describe a los asfáltenos como material sólido, altamente aromático, que por su solidez le dan la dureza al asfalto lo mismo que su color.

Existen otros componentes y características del asfalto que influyen en su comportamiento como pavimento o cuando se fabrican emulsiones asfálticas. Estos son la parafina, la sal y la acidez del asfalto. La parafina le aumenta la susceptibilidad térmica al asfalto, volviéndolo muy duro en climas fríos (ocasionando agrietamientos) y muy blando en climas cálidos (ocasionando deformaciones); los niveles máximos permisibles varían entre 2 % y 3 %.

El contenido de sal es importante para la industria de emulsificantes; sus niveles varían entre 25 ppm y 200 ppm; la viscosidad de la emulsión aumenta con los niveles más altos de sal. La acidez del asfalto se mide a través de su número ácido, propiedad que al ser más alta favorece la fabricación de las

emulsiones, cuando se preparan de tipo aniónico, obteniéndose de buena calidad y óptima viscosidad; generalmente el número ácido varía entre 0.1 y 2.0. Los asfaltos, además de su composición orgánica tienen otros materiales inorgánicos que afectan su desempeño como pavimento y se conocen con el nombre de heteroátomos. Estos materiales son el azufre, nitrógeno, oxígeno, vanadio, níquel y otros. ¹⁰

3.4.1 Propiedades físicas del asfalto

El asfalto es un material aglomerante, resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero; capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de calor o cargas permanentes. Componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución y que se obtiene como residuo de la destilación al vacío del crudo pesado.

Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se le combina usualmente. Su color varía entre el café oscuro y el negro; de consistencia sólida, semisólida o líquida, dependiendo de la temperatura a la que se exponga o por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

3.4.2 Composición Química del Asfalto

Es de mucha utilidad un amplio conocimiento de la constitución y composición química de los asfaltos, para el control de sus propiedades físicas y así obtener un mejor funcionamiento en la pavimentación y en cualquier otro proceso o uso. Al igual que el petróleo crudo, el asfalto, es una mezcla de numerosos hidrocarburos parafínicos, aromáticos y compuestos heterocíclicos que contienen azufre, nitrógeno y oxígeno; casi en su totalidad solubles en disulfuro de carbono. La mayoría de los hidrocarburos livianos se eliminan durante el proceso de refinación, quedando los más pesados y de moléculas complejas.

¹⁰ Op. Cit

La composición química de los asfalto depende del tipo de crudo del cual provienen; los crudos pueden ser de tipo nafténico, intermedio o parafinico, siendo los nafténicos los que producen los mejores asfaltos, porque además de brindar un buen equilibrio entre las resinas y asfaltenos poseen los hidrocarburos más resistentes al envejecimiento (oxidación).

3.5 REOLOGIA DE LOS ASFALTOS

La viscosidad es una de las propiedades más importantes de los asfaltos y con ella se tiene una idea de su consistencia y propiedades de flujo. Esta propiedad se usa para especificar, evaluar, construir y determinar el desempeño del pavimento, es decir, tiene importancia directa sobre el comportamiento del mismo. El asfalto es un producto viscoelástico, varía su consistencia y su viscosidad en función de la temperatura; a mayor temperatura menor viscosidad y viceversa.

A altas temperaturas, el asfalto fluye con características normales de los productos del petróleo y a bajas temperaturas tiene propiedades elásticas, es decir, tiende a recuperar su forma después de sufrir deformación. Por tanto tiene un componente viscoso y un componente elástico. Una medida indirecta de la viscosidad de los asfaltos es la penetración. Ambas propiedades se utilizan para clasificar o especificar los asfaltos; últimamente la más usada es la viscosidad.

Cuando se evalúa un asfalto es necesario conocer sus características de comportamiento a diferentes temperaturas y la mejor forma de determinarlo es midiendo sus propiedades reológicas. Con las curvas de viscosidad versus temperaturas de los asfaltos, se determina la susceptibilidad térmica; las temperaturas de mezclado de los agregados (cuando se fabrican pavimentos) y la compactación de los mismos, indispensable para la buena calidad de las vías. Las curvas de viscosidad permiten seleccionar los mejores asfaltos y los crudos que lo producen.¹¹

¹¹ Op. Cit

En la caracterización de un asfalto se halla la viscosidad a 60 °C y 135 °C, por ser la máxima temperatura que alcanza como pavimento en una vía y la temperatura promedio a la cual se prepara una mezcla asfáltica, respectivamente.

Existen asfaltos que tienen un comportamiento reológico irregular, lo que los hace complicados de manejar al someterlos a calentamiento, pues normalmente requieren altas temperaturas con riesgo a sufrir rompimiento térmico y envejecimiento prematuro.

3.6 PRODUCCIÓN DEL ASFALTO

El petróleo finalmente llega a las refinerías en su estado natural para su procesamiento. Aquí prácticamente lo que se hace es cocinarlo. Por tal razón es que al petróleo también se le denomina "crudo". Una refinería es un enorme complejo, donde ese petróleo crudo se somete en primer lugar a un proceso de destilación o separación física y luego a procesos químicos, que permiten extraerle buena parte de la gran variedad de componentes que contiene.

El petróleo tiene una gran variedad de compuestos, al punto que de él se pueden obtener por encima de los 2000 productos. El petróleo se puede igualmente clasificar en cuatro categorías: parafínico, nafténico, asfáltico o mixto y aromático. Los productos que se sacan del proceso de refinación se llaman derivados y los hay de dos tipos: los combustibles, como la gasolina, ACPM, etc.; y los petroquímicos, tales como polietileno, benceno, etc.

Las refinerías son muy distintas unas de otras, según las tecnologías y los esquemas de proceso que se utilicen, así como su capacidad. Las hay para procesar petróleos suaves, petróleos pesados o mezclas de ambos. Por consiguiente, los productos que se obtienen varían de una a otra. La refinación se cumple en varias etapas. Es por esto que una refinería tiene numerosas torres, unidades, equipos y tuberías.

Es algo así como una ciudad de plantas de proceso. En Colombia hay dos grandes refinerías: el Complejo Industrial de Barrancabermeja y la Refinería de Cartagena. A la primera se le llama complejo porque también posee procesos petroquímicos. El principal producto que sale de la refinación del petróleo es la gasolina motor. El volumen de gasolina que cada refinería obtiene es el resultado del esquema que utilice.

En promedio, por cada barril de petróleo que entra a una refinería se obtiene 40 y 50 por ciento de gasolina. El gas natural rico en gases petroquímicos también se puede procesar en las refinerías para obtener diversos productos de uso en la industria petroquímica. Los siguientes son los diferentes productos derivados del petróleo y su utilización: (Tabla 2.)

Tabla 2. Derivados y usos del petróleo	
Gasolina motor corriente y extra:	Para consumo en los vehículos automotores de combustión interna, entre otros usos.
Turbocombustible o turbosina:	Gasolina para aviones jet, también conocida como Jet-A.
Gasolina de aviación:	Para uso en aviones con motores de combustión interna.
ACPM o Diesel:	De uso común en camiones y buses.
Queroseno:	Se utiliza en estufas domésticas y en equipos industriales. Es el que comúnmente se llama "petróleo".
Cocinol:	Especie de gasolina para consumos domésticos. Su producción es mínima.
Gas propano o GLP:	Se utiliza como combustible doméstico e industrial.
Bencina industrial:	Se usa como materia prima para la fabricación de disolventes alifáticos o como combustible doméstico
Combustóleo o Fuel Oil:	Es un combustible pesado para hornos y calderas industriales.
Disolventes alifáticos:	Sirven para la extracción de aceites, pinturas, pegantes y adhesivos; para la producción de thinner, gas para quemadores industriales, elaboración de tintas, formulación y fabricación de productos agrícolas, de caucho, ceras y betunes, y para limpieza en general.
Asfaltos:	Se utilizan para la producción de asfalto y como material sellante en la industria de la construcción.
Bases lubricantes:	Es la materia prima para la producción de los aceites lubricantes.

Ceras parafínicas:	Es la materia prima para la producción de velas y similares, ceras para pisos, fósforos, papel parafinado, vaselinas, etc.
Polietileno:	Materia prima para la industria del plástico en general
Alquitrán aromático (Arotar):	Materia prima para la elaboración de negro de humo que, a su vez, se usa en la industria de llantas. También es un diluyente
Acido nafténico:	Sirve para preparar sales metálicas tales como naftenatos de calcio, cobre, zinc, plomo, cobalto, etc., que se aplican en la industria de pinturas, resinas, poliéster, detergentes, tensoactivos y fungicidas
Benceno:	Sirve para fabricar ciclohexano.
Ciclohexano:	Es la materia prima para producir caprolactama y ácido adípico con destino al nylon.
Tolueno:	Se usa como disolvente en la fabricación de pinturas, resinas, adhesivos, pegantes, thinner y tintas, y como materia prima del benceno.
Xilenos mezclados:	Se utilizan en la industria de pinturas, de insecticidas y de thinner.
Ortoxileno:	Es la materia prima para la producción de anhídrico ftálico.
Alquilbenceno:	Se usa en la industria de todo tipo de detergentes, para elaborar plaguicidas, ácidos sulfónicos y en la industria de curtientes. El azufre que sale de las refinerías sirve para la vulcanización del caucho, fabricación de algunos tipos de acero y preparación de ácido sulfúrico, entre otros usos.

Fuente: Elaborada por el autor

En Colombia, de otro lado, se extrae un petróleo pesado que se llama Crudo de Castilla, el cual se utiliza para la producción de asfaltos y/o para mejoramiento directo de carreteras, así como para consumos en hornos y calderas.

Teniendo en cuenta que la mayor parte de asfaltos utilizados provienen de procesos de refinación del petróleo, destacaremos los procesos de refinación del crudo en relación a la producción del asfalto.¹²

3.6.1 La destilación atmosférica

Como proceso indispensable en la refinación de los crudos, en algunos casos es suficiente para la producción de asfaltos dependiendo de la naturaleza de los crudos que se destilen (contenido de asfáltenos). Con el Crudo de Castilla se obtienen asfaltos en especificaciones, para climas cálidos.

3.6.2 La destilación al vacío

Es necesaria para la obtención de los asfaltos con la mayor parte de los crudos, pues en su mayoría son de tipo medio, con rendimientos de fondos (asfaltos) entre el 15 % al 30 %.

3.6.3 Los procesos de desparafinado

Se utilizan cuando los fondos para la producción de asfaltos, provenientes de otros procesos, tienen altos contenidos de parafinas, que deben ser eliminadas por ser perjudiciales para los asfaltos como pavimentos. Pues como se comentó anteriormente, el alto contenido de ceras aumenta la susceptibilidad térmica de los asfaltos.

3.6.4 Los procesos de desasfaltado

Se utilizan cuando los fondos provenientes de la destilación al vacío se requieren para los procesos de FCC; en esta etapa se les elimina básicamente los asfáltenos y las resinas, productos que tienden a formar coque con la ruptura catalítica, pero indispensables para la buena calidad de los asfaltos. Por tanto, de éste proceso se obtiene asfalto de buena calidad.

¹² Op. Cit

3.6.5 Los procesos de oxidación o “blowing”

Generalmente se utilizan cuando los fondos, por su alto contenido de parafinas, no son aptos para asfaltos; por tanto se utiliza este proceso para deshidrogenar y transformar las moléculas saturadas en aromáticos, resinas y asfáltenos. Este proceso mejora considerablemente la susceptibilidad térmica al asfalto.

3.6.6 Los procesos de modificación o uso de mejoradores

son muy utilizados para poder utilizar asfaltos que por sí solos no son recomendables para usarse como pavimentos, ya sea por su alta susceptibilidad térmica, por su tendencia a envejecerse prematuramente o por su alto contenido de parafinas. La modificación de asfaltos se puede realizar mediante la mezcla simple de asfalto-polímero o mejor aún, buscando la reacción química entre asfalto-polímero; en cualquiera de los casos, el asfalto se apropia parcialmente de las propiedades del polímero con el cual se combine, siendo la más significativa cuando se lleva a cabo la reacción química.

Es indudable que uno de los adelantos más significativos es el de lograr la reacción química entre las moléculas polares de los asfaltos y ciertos polímeros, porque se ha obtenido un producto que cumple con las expectativas de los diseñadores de vías con altas especificaciones y de los vehículos de alto tonelaje.¹³

En este caso, las vías aumentan considerablemente su vida útil al tomar las propiedades de los plásticos cuya composición es muy estable, mejorando sus propiedades mecánicas como la elasticidad, resistencia a la tensión, a la compresión, la flexibilidad, etc., a la vez que aumenta su resistencia al envejecimiento. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climáticos

¹³ Op. Cit

Los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes mas viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento), de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez. En la realización de este proyecto los modificadores poliméricos utilizados son: caucho molido de llanta con un tamaño malla 25, caucho de butadieno estireno (SBS) comercial, referencia solprene® 411; cera de polietileno (CPE) referencia THP, suministrada por la empresa Alphamin S.A.

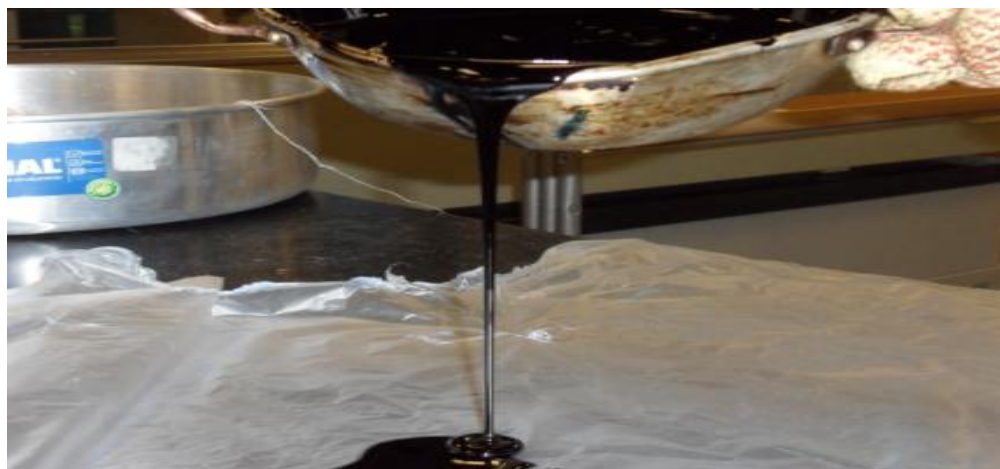
3.7 ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO

Es un asfalto con propiedades físicas y reológicas mejoradas, se consigue con la integración de moléculas de polímeros en la estructura del asfalto. Los asfaltos modificados con polímeros se constituyen de dos fases; al agregar pequeñas partículas de polímero hinchado y la otra por asfalto. Esta micromorfología bifásica y las interacciones existentes entre las moléculas del polímero y los componentes del asfalto son la causa del cambio de propiedades que experimentan los asfaltos modificados con polímeros.

El efecto principal de mezclar polímeros con los asfaltos es mejorar la relación viscosidad-temperatura, permitiendo mejorar de esta manera el comportamiento del asfalto tanto a altas como a bajas temperaturas.

El asfalto es un material interesante que ha sido usado para construcción de pavimentos desde muchos años atrás, sin embargo, dependiendo de su fuente de origen, tiene un intervalo definido de temperatura donde muestra su mejor desempeño. Este intervalo de forma práctica se define en temperaturas positivas por arriba de 10 °C y hasta 60 °C, ya que por arriba de este intervalo el asfalto comienza a ablandarse, adquiriendo un comportamiento plástico. (Imagen 1)

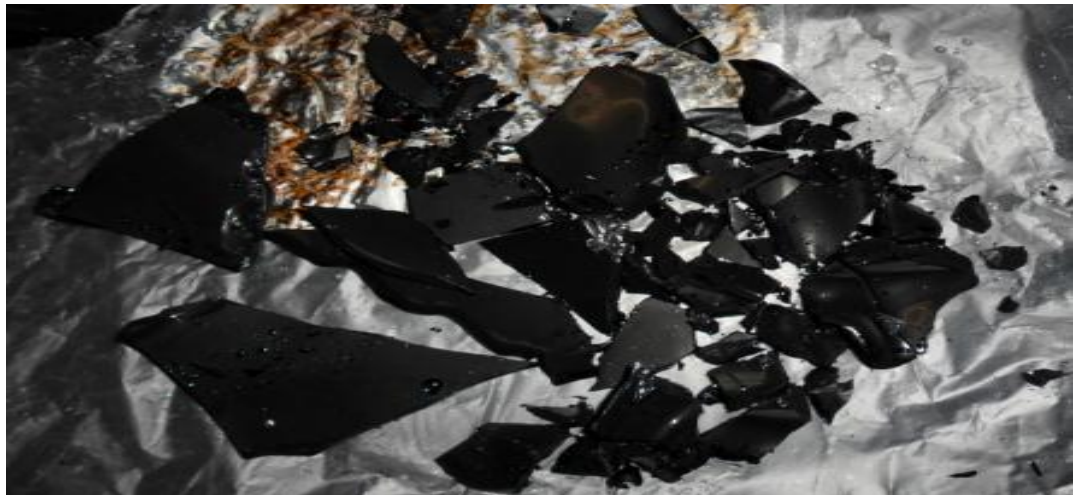
Imagen 1. Deformación que experimenta el asfalto cuando empieza a ablandarse por efecto de la temperatura.



Fuente: Fotografía realizada por el autor

Por el otro lado, cuando el asfalto experimenta temperaturas menores a los 10 °C y particularmente temperaturas negativas, el asfalto se convierte en un sólido rígido, que puede ser tan duro que no resiste deformaciones y puede sufrir fallas como fracturas cuando experimenta dichas deformaciones. (Imagen 2)

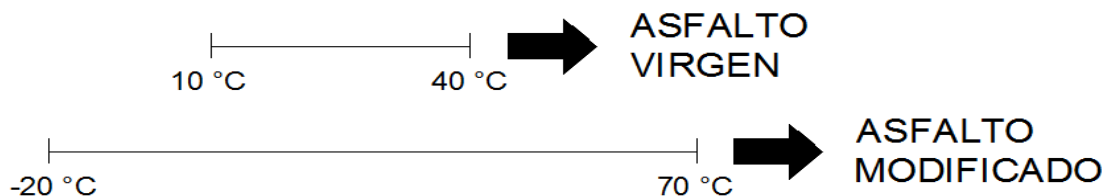
Imagen 2. Comportamiento rígido del asfalto cuando se somete a temperaturas menores a los 0 °C y se somete a deformaciones.



Fuente: Fotografía realizada por el autor

Aquí es donde conviene preguntar: ¿Cómo mejorar el intervalo de temperatura de desempeño del asfalto con objeto de hacerlo más versátil a cambios climáticos y condiciones variadas de deformación? ¿Porque modificar las propiedades del asfalto? (Figura 1)

Figura 1. Temperatura de desempeño en pavimentos



Fuente: Elaborado por el autor

La respuesta a la pregunta del párrafo de arriba se contesta con el uso de aditivos modificadores del asfalto. En el mercado existen diferentes agentes modificadores del asfalto. La mayoría de estos son de naturaleza polimérica y entre otras cosas, permiten extender la temperatura de efectividad del asfalto como agente ligante en el diseño de pavimentos.¹⁴

3.7.1 Tipos de modificadores

A) Polímero tipo 1: Mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Son polímeros elastómeros radiales a base de estireno, se usa en carpetas delgadas y estructurales de pavimentos con alto índice de tránsito, con vehículos pesados y climas fríos o cálidos.

B) Polímero tipo 2: Mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Son polímeros elastoméricos lineales, con una configuración de caucho de estireno, butadieno látex o neopreno látex. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas en las que se requiera mejorar su comportamiento en climas fríos.

C) Polímero tipo 3: Mejorar la resistencia al ahuellamiento de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es un polímero tipo plastomero, se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales y alto índice de tránsito.

D) Hule molido de neumáticos: Mejora la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición de grietas por fatiga o cambios de temperatura. Es fabricado con base en la molienda de neumáticos. Se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta y tratamientos superficiales.

¹⁴ MAXIL Coyopotl, Roberto y Salinas Hernández, Marco Antonio. "Ventajas y Desventajas del Uso de Polímeros en el Asfalto" Cholula, Puebla, México. 10 de enero de 2006

3.7.2 Fundamentos de la modificación

Los pavimentos sufren deterioro. Los tres principales factores que influyen en este deterioro son: 1. Clima, 2. Deformaciones por tránsito, 3. Tiempo. El clima tiene que ver fundamentalmente con la temperatura promedio a la que se ve expuesto el pavimento y variaciones de temperatura por cuestiones climáticas y humedad propiciada por lluvia, así como las bajas temperaturas en los meses de invierno. Las deformaciones se deben al tránsito vehicular. Los pavimentos se diseñan para una carga promedio que genera una deformación debida a la circulación de vehículos.¹⁵

El tiempo se relaciona fundamentalmente con el envejecimiento térmico del pavimento ya que a medida que transcurre el tiempo posterior a su aplicación el asfalto se va degradando. Las principales fallas que sufren los pavimentos en esta clasificación, se mencionan a continuación.

3.7.3 Problemática en el empleo de asfaltos modificados

1- Aun cuando se han incrementado las instalaciones para efectuar la incorporación de polímeros o hule molido de llanta a los cementos asfálticos, el tipo de equipo, la tecnología empleada, no siempre son los adecuados.

2.- En muchas de las plantas de emulsiones no cuentan con la tecnología para hacer las modificaciones.

3.- Falta implementar más laboratorios con equipo adecuado para el control de calidad de campo.

4.-Prácticamente no existen laboratorios equipados para desarrollar las pruebas de calidad completas, que incluyan la reología del asfalto.

¹⁵ SÁNCHEZ González Ángel. "ASFALTOS MODIFICADOS (Conceptualización, aplicación, control y pruebas)" Quintana Roo – México. 2005

3.7.4 Caracterización de los asfaltos modificados

Los asfaltos modificados con polímeros, pueden ser sometidos a cinco tipos de ensayos, con el objetivo de revisar sus características físicas y químicas con la intención de lograr buenas mezclas:

Ensayo de penetración: Este tipo de ensayo es utilizado para la clasificación de los asfaltos, se considera como un método antiguo y empírico que aun se utiliza en la actualidad.

Ensayo de punto de ablandamiento: El punto de reblandecimiento se determina usualmente por el método de ensayo arbitrario de anillo y bola, es empleado frecuentemente para caracterizar los materiales más duros empleados en otras aplicaciones e indica la temperatura en la cual los asfaltos se hacen fluidos.

Ensayo de ductilidad: Esta prueba de ductilidad se realiza en los cementos asfálticos con un ensayo del tipo “de extensión”, en el cual se mide la resistencia a la ruptura por medio de alargamiento de una probeta de cemento asfáltico, estirada en sus extremos a una velocidad constante.

Ensayo de recuperación elástica: Este ensayo está basado en el ensayo de ductilidad ya que se utiliza el mismo equipo, sin embargo el procedimiento para evaluar esta propiedad es distinto.¹⁶

¹⁶ Ibid

3.8 ENSAYOS CREEP

3.8.1 Concepto y definición de creep

Se llama creep a la relación entre la deformación permanente y el tiempo que sufren los materiales que están en servicio por lo general a elevadas temperaturas y expuestos a tensiones mecánicas estáticas. En muchas aplicaciones los componentes se ven obligados a soportar cargas constantes durante lapsos prolongados. En tales circunstancias el material puede continuar deformándose hasta que su utilidad se ve seriamente perjudicada.

Tales tipos de deformaciones dependientes del tiempo pueden ser casi imperceptibles, pero crecen durante toda la vida útil del material y llevan a la rotura, aún sin que la carga haya aumentado. Con cargas aplicadas por corto tiempo, como en un ensayo de tracción estático, hay una deformación inicial que aumenta simultáneamente con la carga. Si, bajo cualquier circunstancia, la deformación continúa mientras la carga se mantiene constante, a esta deformación adicional se la conoce como creep.

Debido a su estrecha conexión con altas temperaturas en aplicaciones importantes, se suele asociar al creep con problemas vinculados con temperaturas elevadas. Esto es cierto únicamente si las temperaturas elevadas se definen relativas al punto de fusión T_m , el plomo muestra un creep significativo a temperatura ambiente y el asfalto, por ejemplo, a temperaturas menores. En algunos materiales, como el concreto y la madera, la temperatura no es un factor importante.¹⁷

En materiales metálicos y cerámicos la deformación por creep es significativa a partir de temperaturas en el rango 0,3 a 0,6 T_f . Por el contrario, para los vidrios y polímeros la temperatura a la cual los fenómenos de creep se tornan importantes, se encuentra alrededor de la temperatura T_g de transición vítrea

¹⁷ C.W. Richard. "Engineering Materials Science" 2003.

del material. De manera que mientras los metales en general no sufrirán efectos de creep a temperatura ambiente, muchos vidrios y polímeros lo harán. La adecuada selección de materiales para servicio a alta temperatura es un factor esencial en el diseño resistente al creep. El creep es normalmente un fenómeno indeseable y frecuentemente un factor limitante en el tiempo de vida de un material. Se observa en todo tipo de materiales.

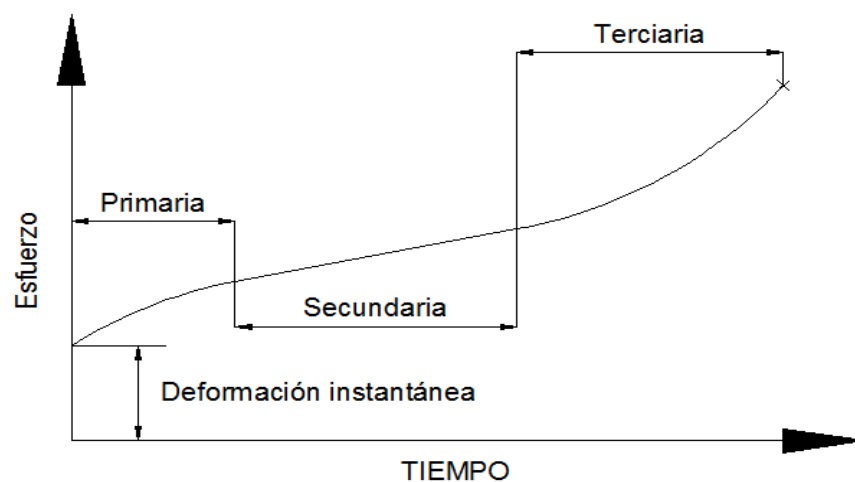
3.8.2 Generalidades al comportamiento al creep

Un ensayo de creep típico consiste en someter al material o pieza a una carga constante ó tensión mientras se mantiene la temperatura constante; se mide la deformación y se grafica en función del tiempo transcurrido. La mayoría de los ensayos son del tipo carga constante, lo cual da información de naturaleza ingenieril. Se emplean ensayos a tensión constante para proveer un mejor entendimiento de los mecanismos del creep.¹⁸

3.8.3 Mecanismos de creep

La Figura 2, representa una curva de creep. La misma se obtiene aplicando una tensión o carga constante a la pieza y midiendo las deformaciones que se van produciendo con el tiempo, manteniendo la temperatura constante.

Figura 2. Curva de creep típica a tensión constante y elevada temperatura



Fuente: Elaborado por el autor

¹⁸ Ibid.

Cuando se aplica la carga hay una deformación instantánea, como se muestra en la Figura 2, la cual es mayormente elástica. El resultado de la curva de creep da tres regiones, cada una de las cuales tiene sus propias características distintivas en la relación tensión - tiempo.

La primera etapa llamada creep primario, está tipificada por una disminución continua de la velocidad de creep, esto es, la pendiente de la curva disminuye con el tiempo. Esto sugiere que el material está experimentando un incremento en la resistencia al creep o endurecimiento por deformación haciéndose más difícil que el material sea deformado.

En el creep secundario, algunas veces llamado estado estacionario, la velocidad es constante, esto corresponde a un gráfico lineal, y es frecuentemente la etapa de creep de mayor duración. El mantenimiento constante de la velocidad de creep se explica sobre la base de un balance entre los procesos competitivos de endurecimiento por deformación y recuperación, siendo ésta última el proceso por el cual un material se ablanda y mantiene su capacidad para experimentar deformación.

Finalmente, para el creep terciario, es la componente permanente, hay una aceleración de la velocidad, a tasa constante bajo tensión constante y por ultimo fractura; Por tratarse de un movimiento similar al flujo viscoso, se lo conoce a veces como creep viscoso. La parte primaria se omite a veces de la curva de creep. Las otras dos partes – componentes transitoria y permanente - constituyen la deformación total identificable con el creep.

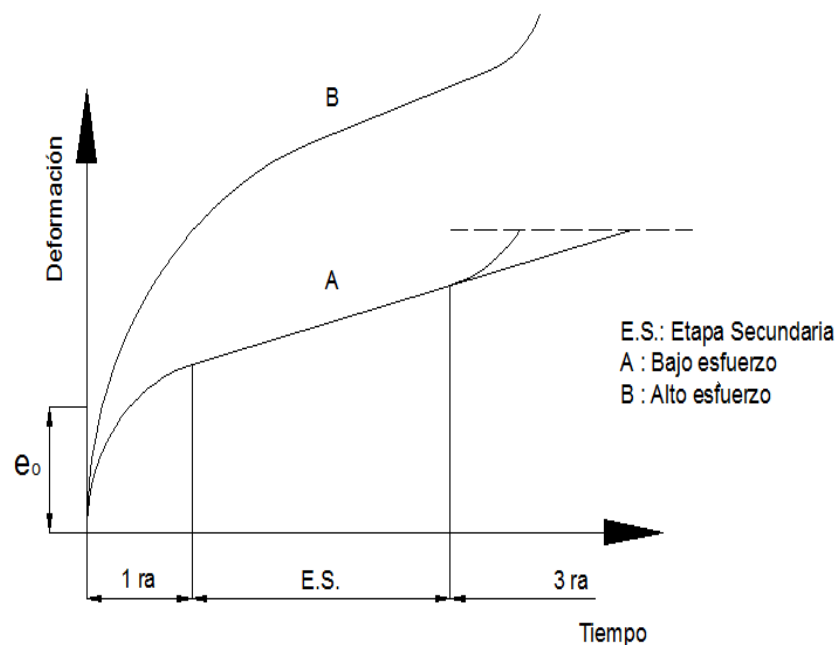
Ambas componentes son dependientes de la temperatura mediante la ecuación de Arrhenius. El creep viscoso es comúnmente insignificativo a temperaturas inferiores al 50 % del punto de fusión, mientras que el creep transitorio se observa en todas las temperaturas, aún cerca del cero absoluto. De ahí que al creep transitorio a veces se lo llama creep frío, y al creep viscoso creep caliente.

Posiblemente el parámetro más importante obtenido de un ensayo de creep es la pendiente de la porción secundaria de la curva de creep (en la Figura 2, $\Delta\varepsilon / \Delta t$); a esto se le llama velocidad mínima o velocidad de creep del estado estacionario.

3.8.4 Propiedades de las curvas de creep

El comportamiento anteriormente descrito se detalla en la Figura 3, en las que se grafica la deformación por creep en función del tiempo (para temperatura y carga constantes). En esta ilustración particular la deformación instantánea se ha omitido, para que la deformación mostrada sea enteramente la que resulta del creep.¹⁹

Figura 3. Influencias de las tensiones y temperatura en el comportamiento creep



Fuente: Elaborada por el autor

El tiempo total hasta la rotura se lo divide fenomenológicamente en tres etapas:

¹⁹ Op. Ibid.

a) La etapa primera, está dominada por el creep transitorio. La tasa de deformación comienza con la dejada por la deformación instantánea, que es comparativamente alta, pero rápidamente disminuye hacia un valor constante. Este es el creep primario.

b) El creep secundario, se desarrolla una vez que el creep transitorio ha alcanzado un valor prácticamente constante: la deformación continúa aumentando a una tasa de creep más o menos constante, e_{cr} , bajo la acción de la componente viscosa.

c) El creep terciario, la tasa de creep aumenta nuevamente hasta que se llega a la rotura final.

No siempre aparecen las tres etapas. Si la fractura es frágil, la tercera etapa puede desaparecer completamente. La segunda etapa se hace cada vez menos importante a medida que la tensión o la temperatura aumentan (comparar las curvas A y B de la Figura 3). Si la tensión o temperatura son lo suficientemente bajas, la segunda etapa se transforma en horizontal ("cero creep viscoso") y se extiende indefinidamente. Debe recalcar que las altas temperaturas pueden producir otras alteraciones no explicitadas en las curvas, comúnmente no incluidas en los efectos de creep.²⁰

²⁰ Op. Cit.

3.9 ESTADO DEL ARTE

El uso de asfaltos en productos para cubiertas tiene su historia y desarrollo desde los principios de la vida, cuando el asfalto era recuperado de las lagunas naturales conocido como brea y vertido a los techos como impermeabilizante, que para aquel entonces eran más bien unas estructuras (los techos) a base de ramas secas y otros elementos; hoy en día este producto es aplicado en rollos compactos de asfalto y otros materiales, que le dan ciertas propiedades y características, que lo hacen mucho más versátil en la aplicación en obra.

Por más de 5000 años el asfalto, en cada una de sus formas, ha sido usado como un impermeabilizante y/o agente ligante, pero no fue hasta el fin del siglo XIX que alguno de los presentes mayores usos del asfalto fueron introducidos, exigiendo actualmente más atención y desarrollo tecnológico, puesto que sus solicitudes de servicio en la actualidad demandan más y mejores propiedades mecánicas y físicas que respondan adecuadamente a las nuevas condiciones de servicio.

En la búsqueda de mejores características para el asfalto comenzó, desde la década de los 80, un amplio uso de polímeros de diversas características como material añadido, para mejorar sustancialmente sus propiedades mecánicas y físicas, constituyéndose como la alternativa preferible de mejoramiento de características del asfalto.²¹

Para un buen desempeño del producto, el polímero debe combinarse bien con el material asfáltico y aportarle ciertas características mecánicas, que incluyen: recuperación elástica más alta, temperatura de ablandamiento más alta, mayor viscosidad, mayor fuerza cohesiva y mayor ductilidad.

²¹ WARDLAW, Kenneth; SCHULER, Scott. Polymer modified asphalt binders. Estados Unidos. ASTM, 361 p. ISBN 0803114133, 9780803114135. 1992.

A nivel mundial se encuentra muchas investigaciones con respecto a la modificación de asfaltos con polímeros, en el ámbito colombiano entre el periodo de 1979 – 2005, se reportaron en la literatura 41 investigaciones referentes al tema de asfaltos modificados, entre las que se destacan la Universidad Industrial de Santander (UIS), la Universidad Católica de Colombia y la Pontificia Universidad Javeriana.²²

A continuación se citan diversas investigaciones relacionadas con el uso de polímeros como material adicionado a mezclas asfálticas para distintos usos.

- En la patente US 6.444.731 B1 desarrollada por (MEMON 2002), se propone una metodología para la incorporación de caucho dividido finamente o polímero del tipo copolímero en bloque (SBS, SBR). El uso de un agente de dispersión añadido al polímero, como aceite vegetal o furfural, en una primera etapa de proceso, favorece la homogeneidad de la mezcla, que exhibe buena compatibilidad asfalto – polímero (solubilidad, dispersión).
- En la publicación realizada por (TALAVERA et al. 2001) se describe el desarrollo de agentes químicos que permiten la efectiva unión polímero – asfalto, evitando separación de fases en el material asfáltico. En este trabajo se sintetizan tres agentes de estabilización: Fenol – Formaldehído, Fenol sulfonado en posición orto y SBS lineal funcionalizado. Después de su caracterización, las pruebas de estabilidad efectuadas sobre las muestras con adición de los agentes mencionados determinan al Fenol sulfonado y al SBS lineal funcionalizado como los más aptos para la homogenización del material, los cuales disminuyen las diferencias en temperatura de ablandamiento, penetración y viscosidad entre dos puntos superior e inferior de las probetas de ensayo.

²² RONDÓN QUINTANA, *et al.* Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia. En: *Infraestructura Vial*. no. 19, p. 10 – 20 Febrero, 2008

- Por su parte en la patente US 7.202.290 B2 (STUART Jr. et al., 2007) se presenta un proceso para elaborar una mezcla asfáltica a partir de termoplástico (polietileno oxidado), elastómero (SBS), agente de entrecruzamiento o crosslink (azufre), asfalto y agregado pétreo.
- En el trabajo de investigación “Desarrollo de materiales con propiedades de aislamiento térmico y acústico para la aplicación en el sector de la construcción” se hace un completo desarrollo en la modificación de asfaltos por parte del estudiante de maestría Juan Camilo Munera Ossa.²³

Posterior a estas investigaciones que en su gran mayoría han sido para el diseño, usos y comportamientos de mezclas asfálticas para la adecuación o pavimentación de vías, siendo este último su principal uso, se ha avanzado enormemente en sus otros usos adicionales como lo son: alquitrán para techos, tejado enrollado, fieltro para techos, tejas, cubierta de tubería, losetas, impermeabilizante, y muchos otros productos y procesos.

Esto debido a que millones de toneladas de asfalto se producen y se usan todos los años en las industrias de pavimentar y entechar por lo que se requiere una constante atención y desarrollo tecnológico del asfalto para sus distintos usos.

²³ MÚNERA, J. C. Álvarez-Láinez, M y Ossa, E. A. “Fabricación y análisis de asfaltos modificados con polímeros” Artículo en proceso de evaluación. 2010.

4. METODOLOGÍA

4.1 MATERIALES

Como material base para la modificación con polímeros, se utilizó un asfalto con un grado de penetración 80/100 de origen Colombiano, fabricado en la refinería de Barrancabermeja de Ecopetrol. Los polímeros utilizados como modificadores en este trabajo fueron: SBS comercial, referencia solprene® 411, cera de polietileno (CERA) referencia THP suministrada por la empresa Alphamin S.A. y caucho molido de llanta, con un tamaño de malla 25. Las características del asfalto sin modificar y de los polímeros usados como aditivos se muestran en la tabla 3.

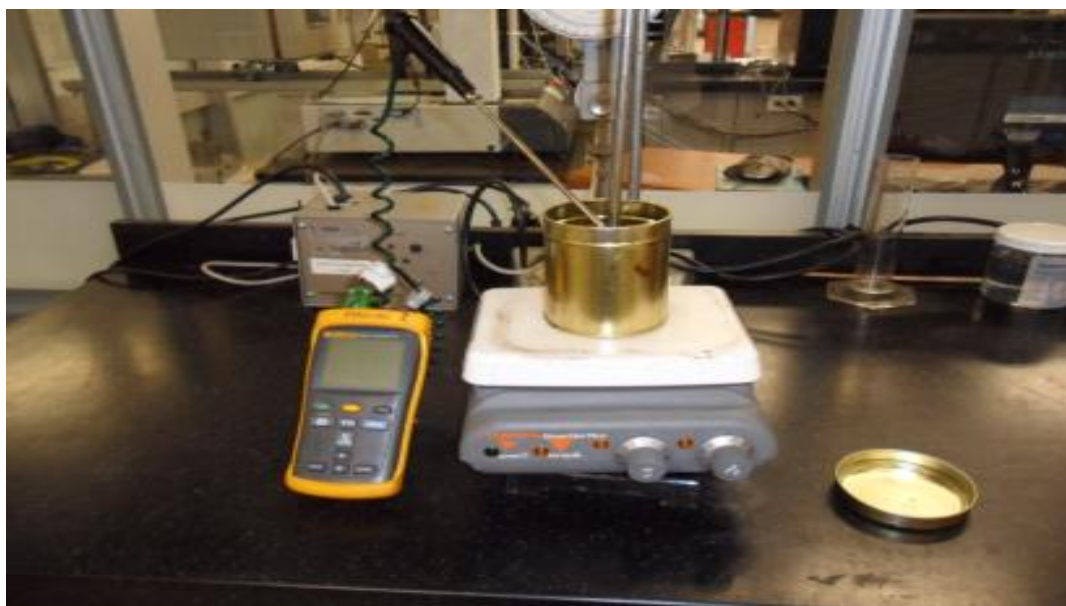
Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del asfalto base y aditivos poliméricos	
Asfalto	Mínimo
Penetración 25 °C (dmm)	83
Punto de ablandamiento (°C)	45.8
<i>Análisis SARA (%)</i>	
Asfaltenos	12.39
Resinas	25.06
Aromático	38.18
Saturados	14.37
SBS	
Estireno total (sobre polímero)	20
Dureza Shore A	60
CPE	
Viscosidad 140°C (cps)	80
Penetración 25°C (dmm)	1
Punto de ablandamiento (°C)	130
Punto de fusión (°C)	122

Fuente: Proporcionada por el Ing. Juan Camilo Munera

4.2 FABRICACIÓN DE MEZCLA

Cierta cantidad definida de asfalto se calienta a 135 °C en un recipiente metálico para fundirlo, incrementando la temperatura hasta llegar a un rango entre 180 °C y 190 °C, momento en el cual, se inicia la agitación a través de un agitador mecánico de referencia IKA RW - 20. (Imagen 3)

Imagen 3. Fabricación de la Mezcla



Fuente: Fotografía realizada por el autor

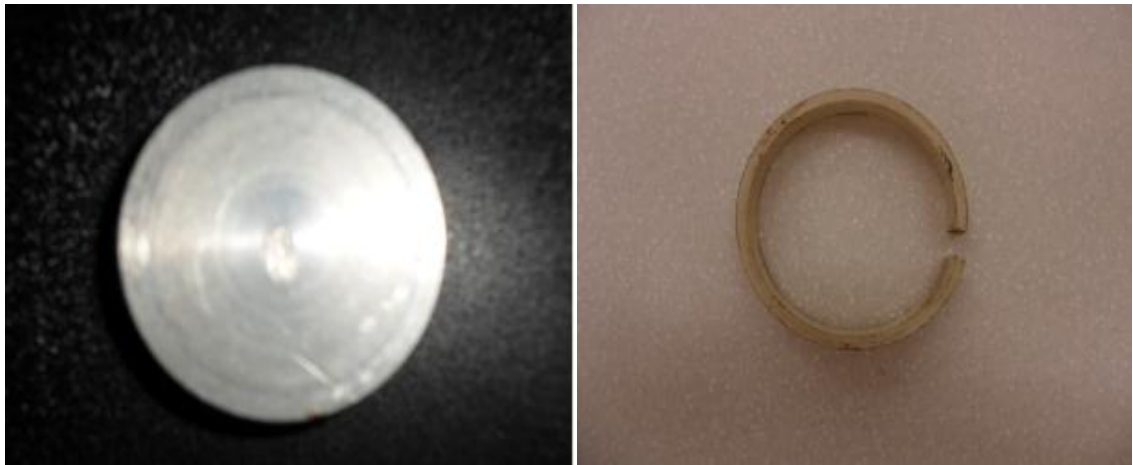
A partir de este momento, se agrega el polímero y se continúa la agitación a 2000 rpm, por un lapso de 45 minutos. Luego, al asfalto crudo se le adiciona polímero con 3 % y 6 % (p/p), para el caso de SBS, CERA y CR.

4.3 CONSTRUCCIÓN DE PROBETAS

Inicialmente, se escogió entre (metal, acero y aluminio), cuál de estos materiales presentaba las condiciones más adecuadas para elaborar las probetas de ensayo. Por lo que se consideró al aluminio, como el material más apropiado; ya que es un material muy liviano e infinitamente rígido comparado con el asfalto además, es un gran conductor de temperatura, el material fue facilitado por el laboratorio de metalmecánica de la Universidad EAFIT.

Luego, se procedió a recortar una barra de aluminio de 2 pulgadas de diámetro, de la cual se sacaron 20 monedas con un espesor 5 mm c/u para la construcción de varios prototipo a ensayar. Además, se consiguió un tubo de PVC de 2 pulgadas de diámetro que fue cortado de 8 mm y sirvió para darle forma a las probetas al juntar el material PVC con los trozos o monedas de aluminio. Dando forma de recipiente que no permitiera que se derramara el asfalto líquido. (Imagen 4)

Imagen 4. Moneda de aluminio y aro de PVC



Fuente: Fotografía realizada por el autor

Una vez teniendo el recipiente construido, se procedió a verter el asfalto crudo y el modificado con los diferentes polímeros, luego se procedió a ponerle en la parte superior del recipiente la otra moneda de aluminio para completar la probeta tipo sandwich, cuyo espesor estuvo entre 13 a 15 mm

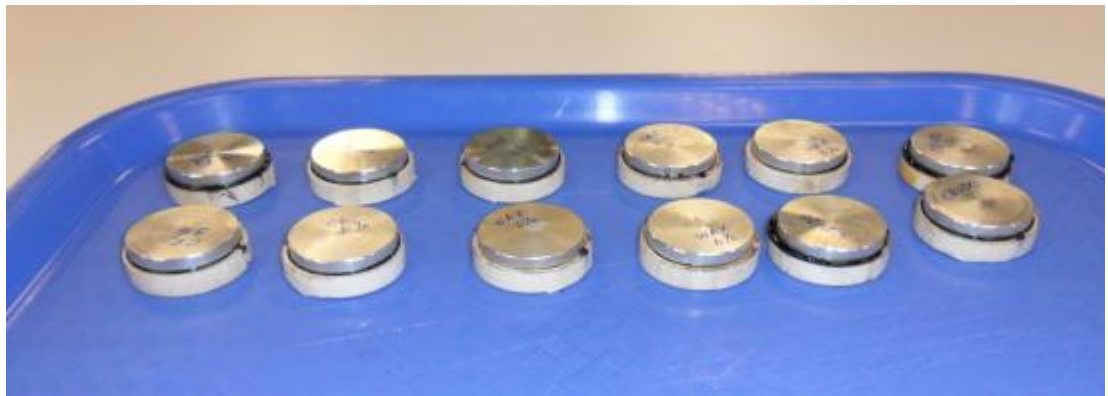
aproximadamente para todas las probetas debido a que la mezcla se vertía manualmente. (Imágenes 5 y 6)

Imagen 5. Recipiente fabricado con moneda de aluminio y aro de PVC



Fuente: Fotografía realiza por el autor

Imagen 6. Probetas de ensayos encofrados en aros de PVC

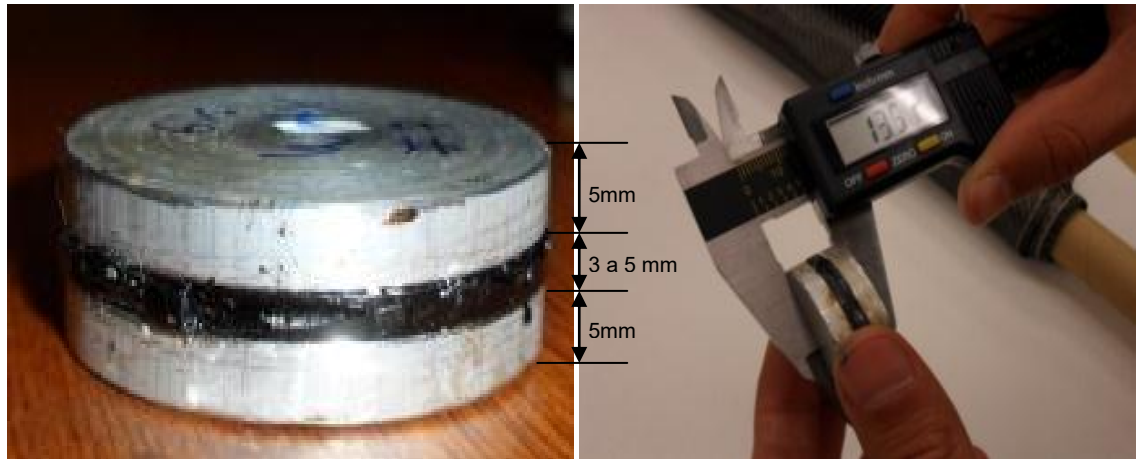


Fuente: Fotografía realizada por el autor

Para determinar el espesor del asfalto, se restaba al espesor obtenido de la probeta tipo sandwich, los 10 mm que sumaban los dos espesores de las monedas de aluminio que formaban el sandwich con el PVC, obteniendo el espesor real del asfalto, una vez desencofrados las probetas se procedió a medir con un pie de rey. Las probetas terminadas se dejaban reposar 24 horas,

antes de ser ensayadas en la maquina universal de ensayos mecánicos, INSTRON. (Imágenes 7 y 8)

Imagen 7. Medición del Espesor de la Probeta



Fuente: Fotografía realizada por el autor

Imagen 8. Probetas de ensayos desencofradas

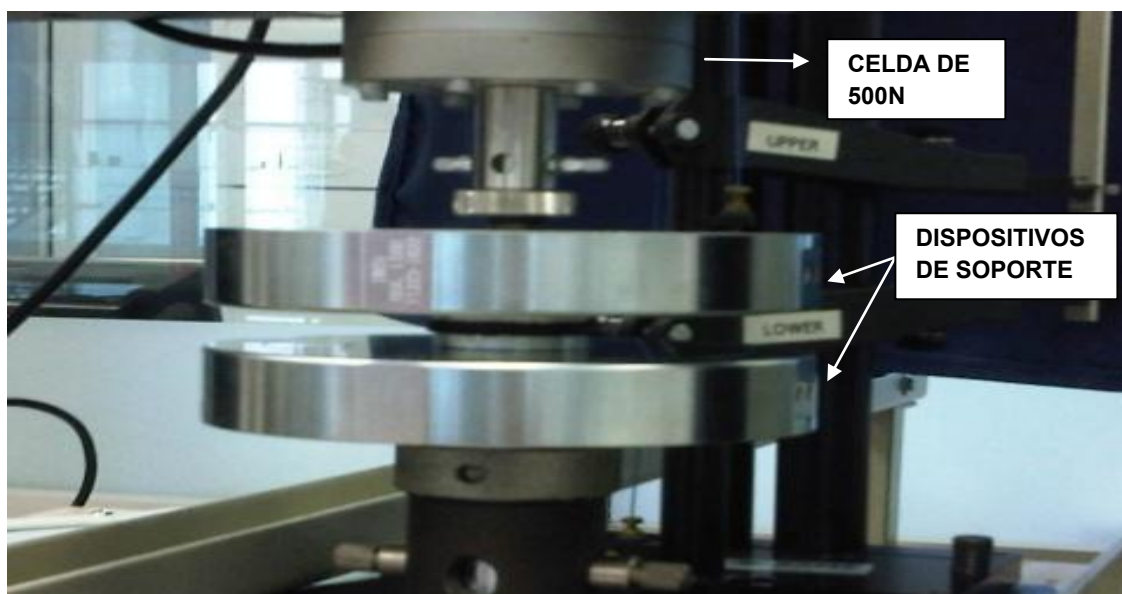


Fuente: Fotografía realizada por el autor

4.4. ENSAYOS MECÁNICOS

Para los ensayos mecánicos se seleccionó una celda de 500 Newton, como parámetro de medición en la máquina, puesto que la carga máxima requerida para los ensayos creep fue de 210 N, luego se instaló los dispositivos de soporte para las probetas. Donde después, de nivelar las probetas, se procedía a dar inicio al ensayo aplicando las cargas de 10 N, 60 N, 110 N, 160 N y 210 N; las cuales se escogieron tomando como base cuanto esfuerzo ejerce sobre el piso una persona de peso promedio. (Imagen 9)

Imagen 9. Celda de 500 N y dispositivos de soporte

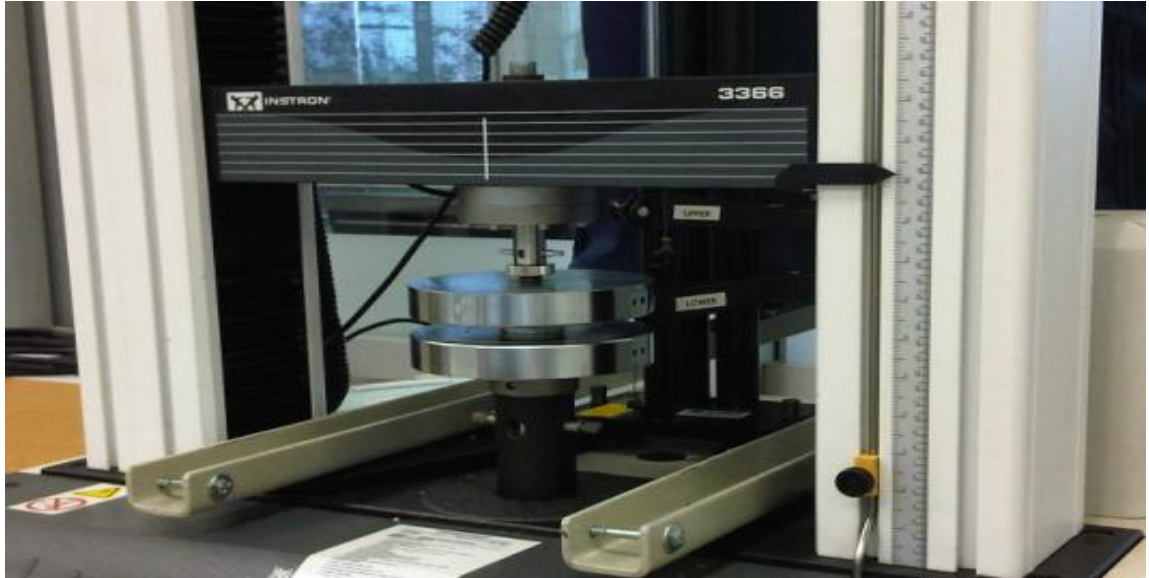


Fuente: Fotografía realizada por el autor

El trabajo consistió básicamente en analizar el comportamiento y características viscoelásticas y efectos de la deformación de los polímeros, SBS, CERA y CR a dos porcentajes de modificación (3 % y 6 %), evaluando conjuntamente el asfalto original (crudo) a condiciones de ensayo (temperatura ambiente, a 30 °C y 40 °C) utilizando la máquina universal de ensayos mecánicos, INSTRON. Localizada en los laboratorios de la Universidad EAFIT,

de la ciudad de Medellín, a cargas de 10 N, 60 N, 110 N, 160 N y 210 N. (Imagen 10)

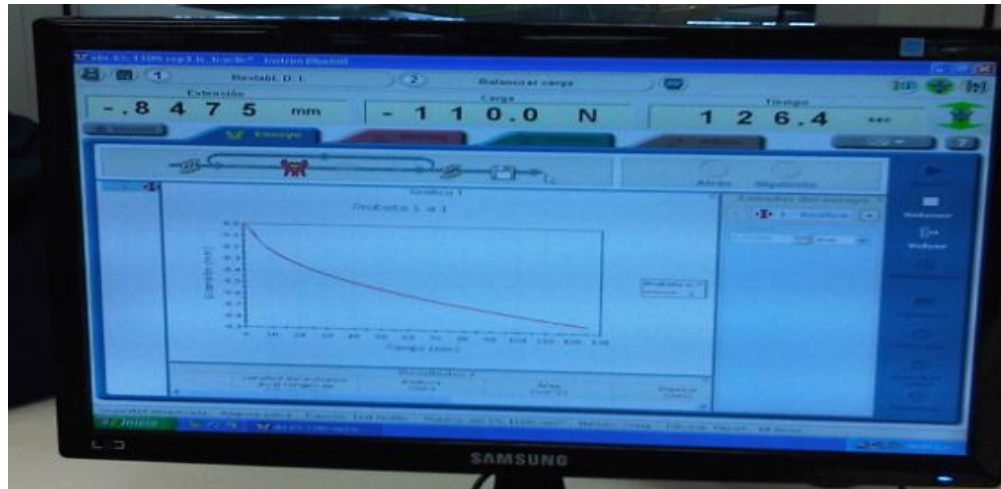
Imagen 10. Máquina INSTRON ejecutando ensayo



Fuente: Fotografía realizada por el autor

De otro lado, la información tanto de carga y temperatura suministrada por la máquina, así como los resultados obtenidos en cada ensayo, fueron analizados mediante el software BLUEHILL (Imagen 11); como herramienta computacional el cual está conectado directamente a la máquina de ensayos mecánicos que arroja un archivo de datos en presentación punto raw (.raw) y una vez se obtiene los resultados de la máquina se procede con el archivo a convertirlo a un nuevo archivo de Excel.

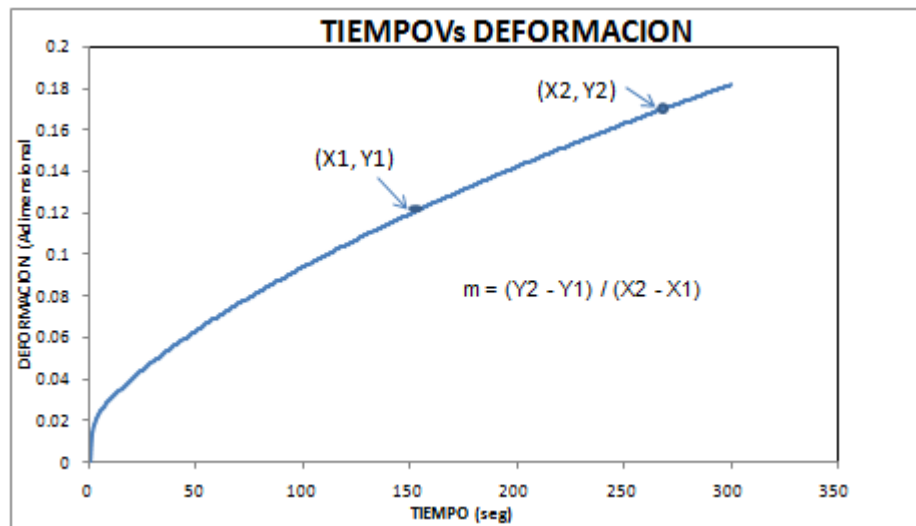
Imagen 11. Software BLUEHILL ejecutando ensayo



Fuente: Fotografía realizada por el autor

Luego, (mediante Excel) se grafican las variables de tiempo (t) Vs deformación (θ) y se establecen las diferentes curvas y comportamientos de los materiales en cuestión. Además, se determinan las pendientes de dichas curvas mediante la ecuación: $m = (Y2 - Y1) / (X2 - X1)$. (Imagen 12)

Imagen 12: Parámetros para determinar las pendientes de las curvas tiempo vs deformación



Fuente: Grafico realizado por el autor

4.4.1 Máquina universal

Imagen 13. Maquina universal de ensayos mecánicos, INSTRON



Fuente: Fotografía realizada por el autor

Tabla 4.			
FICHA TECNICA MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS MECANICOS			
1. DATOS GENERALES			
Marca:	INSTRON	No Inventario:	26035
Modelo - Tipo:	3366	Voltaje:	120 V
Serie:	Q 5582	Potencia:	300 VA
2. DATOS TECNICOS			
Capacidad Máxima:	10 KN	Deflexión Máxima:	0,26 mm
Altura de la Maquina:	1582 mm	Mordazas Planas:	0 - 16 mm; 16 - 32 mm
Ancho Total:	756 mm	Diámetro de los Platos de Compresión	59 mm
Velocidad Máxima:	500 mm/min	Máximo Espacio de Compresión entre barras	420 mm
Velocidad Mínima:	0.005 mm/min		
3. DATOS DEL FABRICANTE Y/O DISTRIBUIDOR			
Nombre:	INSTRON		
Dirección:	825 University avenue norwooe, MA 02062-2643 Estados Unidos		
Teléfono:	1 800 473 78 38 Estados Unidos		

Fuente: Proporcionada por el laboratorio de materiales Universidad EAFIT

4.4.2 Ensayos creep (condiciones de ensayo)

Inicialmente se debe alimentar el software BLUEHILL de la máquina de ensayos, con los datos e información de la probeta a ensayar, datos tales como: Espesor real de muestra, carga sometida (10 N, 60 N, 110 N, 160 N o 210 N) y tiempo de ensayo; para los ensayos a temperatura ambiente. Para ensayos a temperaturas superiores la probeta se ensaya dentro de una cámara de temperatura controlada previamente instalada en la maquina universal de ensayos mecánicos INSTRON. (Imágenes 14 y 15)

Imagen 14. Cámara de temperatura instalada en la INSTRON



Fuente: Fotografía realizada por el autor

Imagen 15. Dispositivos de soporte instalados dentro de la cámara



Fuente: Fotografía realizada por el autor

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

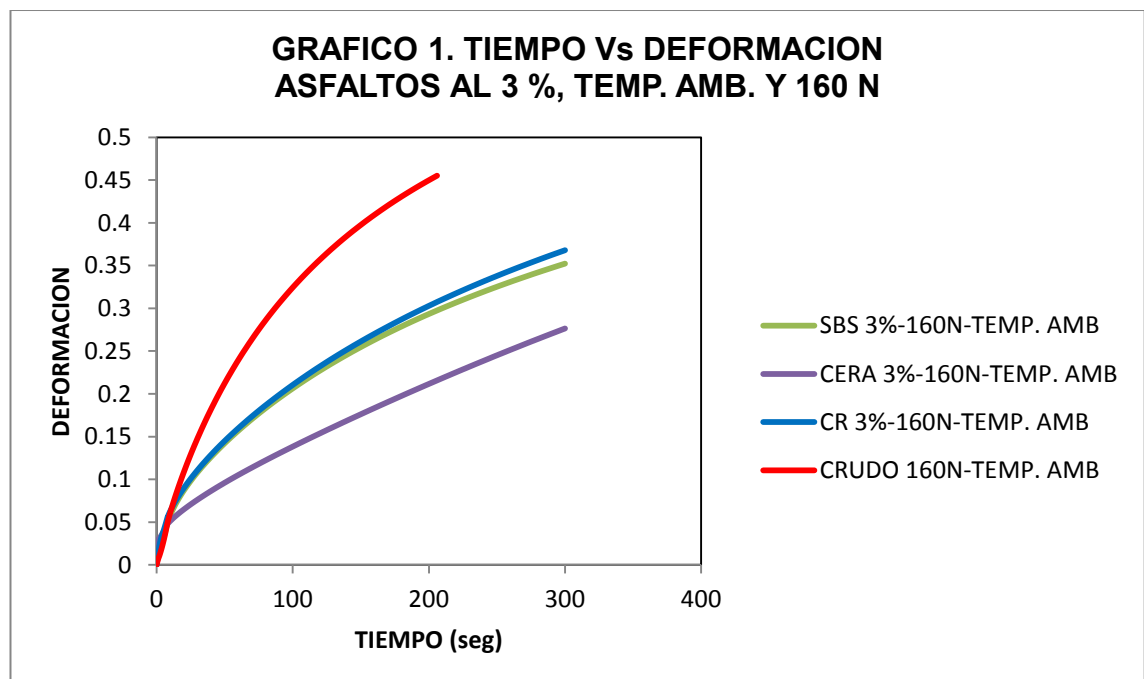
El presente trabajo comprendió el estudio del efecto de la modificación de asfalto con diferentes polímeros SBS, CERA y CR sobre la deformabilidad. A continuación se reportan los resultados obtenidos en los diferentes ensayos creep realizados tanto al asfalto crudo, como al modificado. A diferentes condiciones de temperatura.

5.1 COMPORTAMIENTO DE LOS ASFALTOS SOMETIDOS A TEMPERATURA AMBIENTE

A continuación se presentan los gráficos obtenidos cuando los asfaltos crudo y modificado son sometidos a temperatura ambiente y las diferentes cargas establecidas (10 N, 60 N, 110 N, 160 N y 210 N).

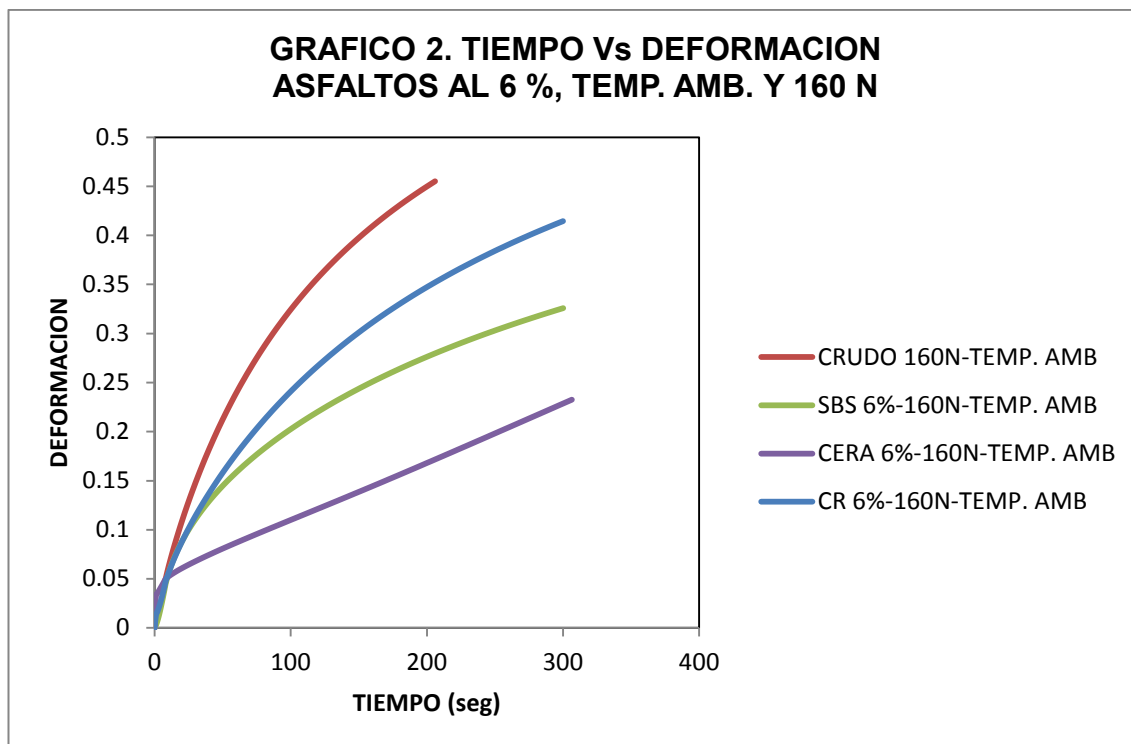
5.1.1 Velocidades de deformación del asfalto crudo y los modificados

El Gráfico 1, representa de manera general el comportamiento de los asfaltos modificados con 3 % (p/p) de SBS, CERA y CR, cuando son sometidos a una carga de 160 N y su comparación con asfalto crudo.



En el Gráfico 1, se muestra el comportamiento del asfalto crudo y los modificados con 3 % (p/p) de los polímeros utilizados en este trabajo. En él se observa, la línea roja, que describe el comportamiento del asfalto sin polímero, indica que el material presenta grandes deformaciones en pequeños rangos de tiempo (a 50 s, se ha deformado el 25 % a las condiciones de ensayo) siendo este un comportamiento característico de materiales blandos. Las líneas verde y azul representan los asfaltos modificados SBS 3 % (p/p) y CR 3 % (p/p) respectivamente, presentan una deformación muy similar.

Por otra parte, a tiempos superiores de 150 s, la mezcla con 3 % de SBS presento una menor deformación respecto a la mezcla con 3 % de CR, esto indica que a tiempos prolongados de esfuerzo el asfalto con 3 % de SBS se deforma menos, insinuando que el SBS brinda mayor capacidad de modificación de esta propiedad comparado con el modificador CR. Sin embargo, la menor velocidad de deformación la presento el asfalto con 3 % de CERA a 300 s (ver línea morada), la cual presenta una deformación del 25 %, esto indica, que el asfalto tiende menos a deformarse. La pendiente de la gráfica en todos los casos indica la resistencia del material a dejarse deformar por efecto de la carga.



En el Gráfico 2, se presenta el comportamiento de los asfaltos modificados con 6 % (p/p) de cada polímero utilizado cuando son sometidos a 160 N de carga. En este grafico se observa una deformación muy similar respecto al tiempo con los asfaltos descritos en el grafico anterior. Sin embargo, a tiempos superiores el asfalto con 6 % de SBS presento una menor deformación, superando al asfalto modificado con 6 % de CR, esto indica que el aumento del porcentaje de polímero del 3 % al 6 % evita que el asfalto se deforme con la aplicación de las cargas y marca una notable diferencia entre los dos polímeros utilizados.

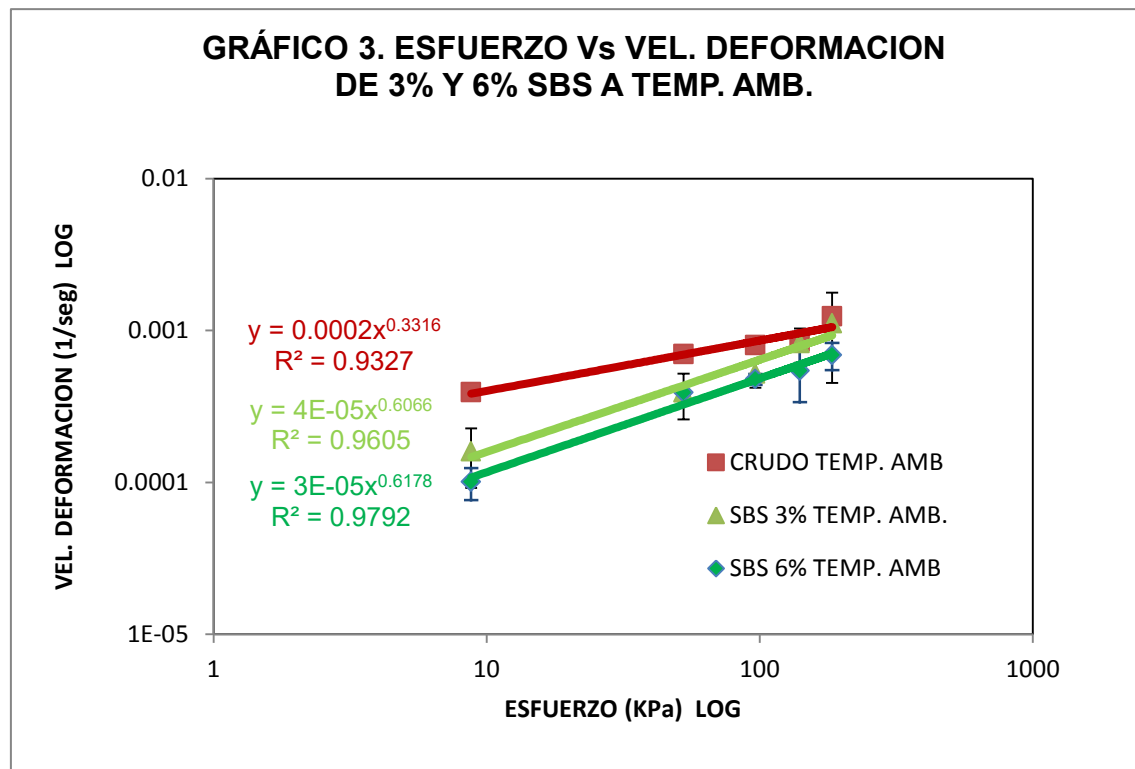
El mejor resultado, al igual que en la anterior grafica lo presento el asfalto modificado con 6 % de CERA, aunque con respecto a la mezcla con 3 % de CERA la deformación disminuyo del 20 % – 25 % al 15 % – 20 % aproximadamente. Se puede concluir que aunque la mezcla con 6 % de CERA arrojo los mejores resultados, el aumento respecto a la mezcla con 3 % no es significativo. Lo que hace pensar que pequeñas adiciones de CERA son suficientes para obtener una eficaz modificación asfalto.

5.1.2 Análisis del comportamiento a la fluencia del asfalto crudo y modificado

A continuación se presentan los gráficos obtenidos cuando el asfalto crudo y modificado en los dos porcentajes peso a peso (3 % y 6 %) son sometidos a temperatura ambiente y las diferentes cargas establecidas (10 N, 60 N, 110 N, 160 N y 210 N).

5.1.2.1 Esfuerzos y velocidades de deformación del asfalto modificado con SBS

El Gráfico 3, representa el comportamiento del asfalto modificado con 3 % (p/p) y 6 % (p/p) de SBS, cuando es sometido a las diferentes cargas establecidas y su comparación con asfalto crudo.



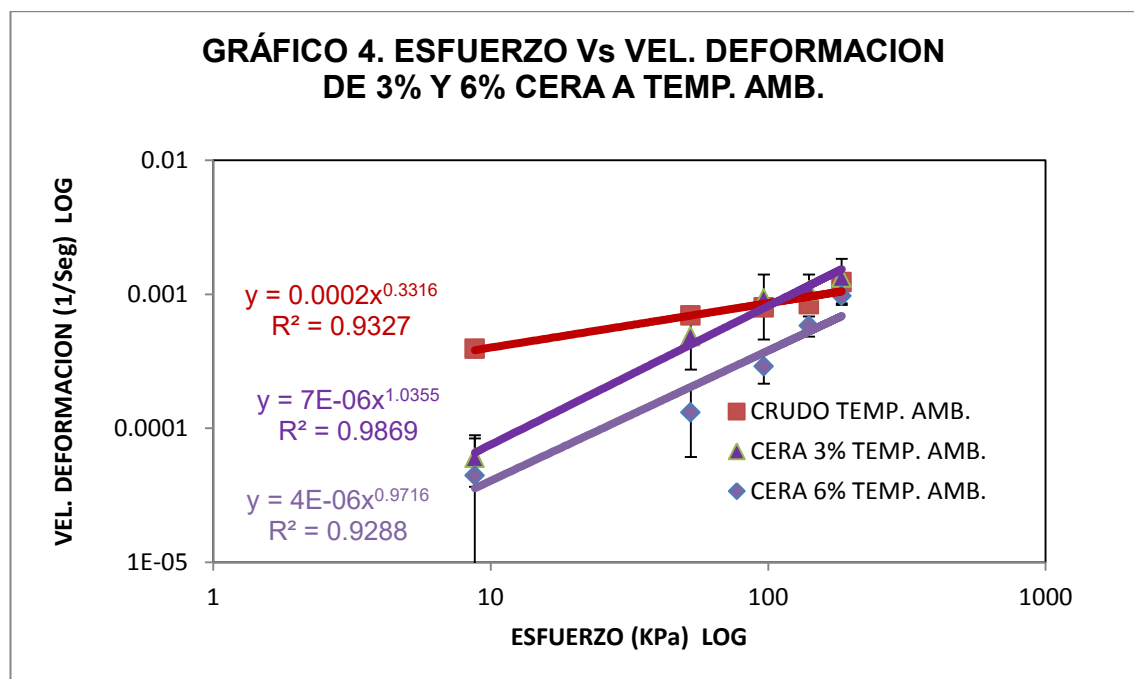
En el Gráfico 3, se muestra que el asfalto crudo presenta una mayor velocidad de deformación para todos los esfuerzos establecidos en comparación con el asfalto modificado con copolímero SBS a los porcentajes establecidos, es decir, el asfalto crudo se deforma rápidamente con la aplicación de la carga. Se

observa además en la gráfica, que el asfalto con el 3 % de SBS con la línea verde claro, su velocidad de deformación a 10 KPa disminuye significativamente respecto al asfalto crudo, lo que indica que presenta menor deformación y por ende una modificación favorable, la cual permite, una deformación respecto al tiempo menor, y un comportamiento mucho más favorable aun con una adición de 6 % (p/p) de SBS como modificador, es decir, a mayor porcentaje de SBS, la deformación disminuye a medida que aumenta el esfuerzo.

Esto se observa, que a 120 KPa de esfuerzo los asfaltos modificados con 3 % (p/p) y 6 % (p/p) se acercan a la velocidad de deformación del asfalto crudo, permaneciendo por debajo, mejorando la respuesta de deformación en función del esfuerzo aplicado, pero, no tan marcada en comparación a bajos esfuerzos aplicados. El mejor asfalto que responde a velocidades de deformación pequeñas es la mezcla con 6 % de SBS.

5.1.2.2 Esfuerzos y velocidades de deformación del asfalto modificado con CERA

El Gráfico 4, representa el comportamiento del asfalto modificado al 3 % (p/p) y 6 % (p/p) de CERA, cuando es sometido a las diferentes cargas establecidas y su comparación con asfalto crudo.

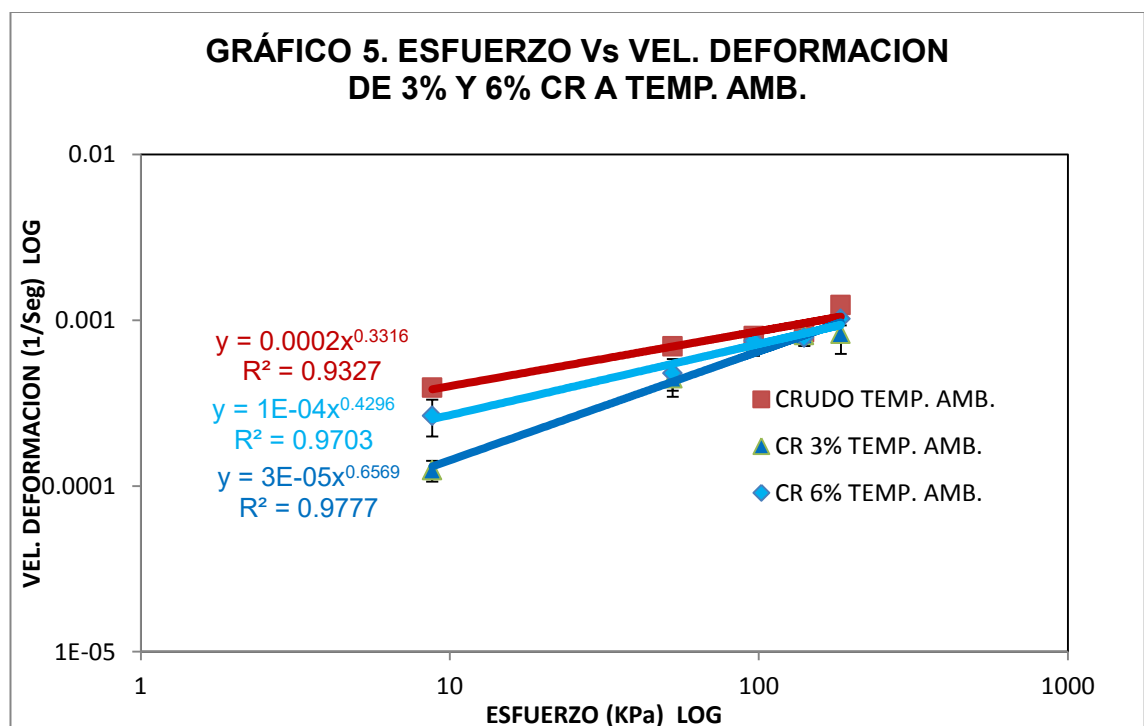


El Gráfico 4, muestra que el asfalto crudo presenta una mayor velocidad de deformación, igual que en el gráfico anterior. Se observa que el asfalto modificado con 3 % de CERA, línea morada oscura, a 10 KPa disminuye significativamente la velocidad de deformación, sin embargo, se presenta que a esfuerzos superiores de 100 KPa sobrepasa la velocidad de deformación del asfalto crudo, probablemente debido a que las ceras a estas magnitudes de esfuerzo se comporten como un fluido aportándole al asfalto, esta característica.

Por otro lado, la mezcla de CERA al 6 % reporta los mejores resultados de velocidad de deformación, pero, igualmente que en los asfaltos modificados con SBS no logran disminuir sustancialmente esta propiedad para esfuerzos superiores a 100 KPa.

5.1.2.3 Esfuerzos y velocidades de deformación del asfalto modificado con CR

El Gráfico 5, representa el comportamiento del asfalto modificado al 3 % (p/p) y 6 % (p/p) de CR, cuando es sometido a las diferentes cargas establecidas y su comparación con asfalto crudo.



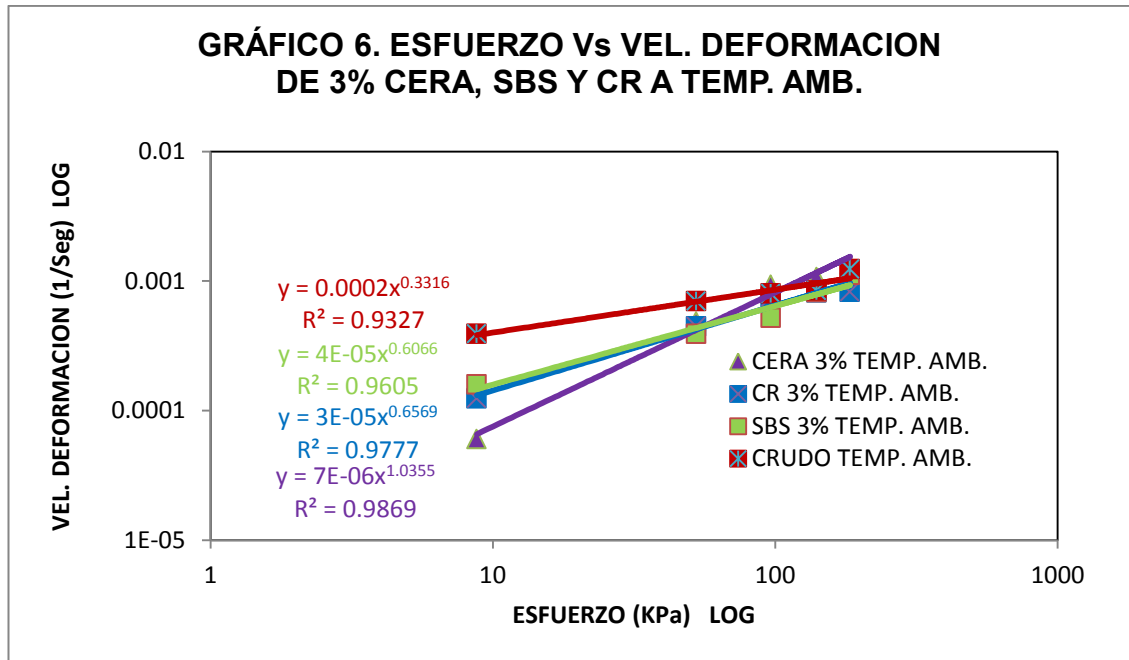
El Gráfico 5, muestra que el asfalto crudo presenta una mayor velocidad de deformación, igual que en las gráficas anteriores a 10 KPa de esfuerzo. Sin embargo, el asfalto modificado con 6 % de CR presenta un comportamiento intermedio entre el asfalto crudo y el asfalto modificado con 3 % de CR. Esto es: Modificar el asfalto crudo con porcentajes superiores de CR no favorece la disminución de la velocidad de deformación, al contrario la aumenta. El comportamiento del asfalto con 3 % de CR, es el que mejor responde al esfuerzo aplicado y a esfuerzos superiores a 300 KPa, los asfaltos modificados con CR en los porcentajes analizados, tienden a una velocidad de deformación similar, pero por debajo de la velocidad de deformación del asfalto crudo.

5.1.3 Comportamiento general a la fluencia de los asfaltos modificados y crudo, evaluados a temperatura ambiente.

A continuación se presentan los gráficos obtenidos cuando el asfalto crudo y los asfaltos modificados con (SBS, CERA y CR) al 3 %, son sometidos a las diferentes cargas establecidas (10 N, 60 N, 110 N, 160 N y 210 N).

5.1.3.1 Análisis de mezclas al 3 %

El Gráfico 6, muestra el comportamiento a la fluencia de los asfaltos modificados con 3 % de SBS, 3 % de CERA y 3 % de CR, comparado con el comportamiento presentado por el asfalto crudo.

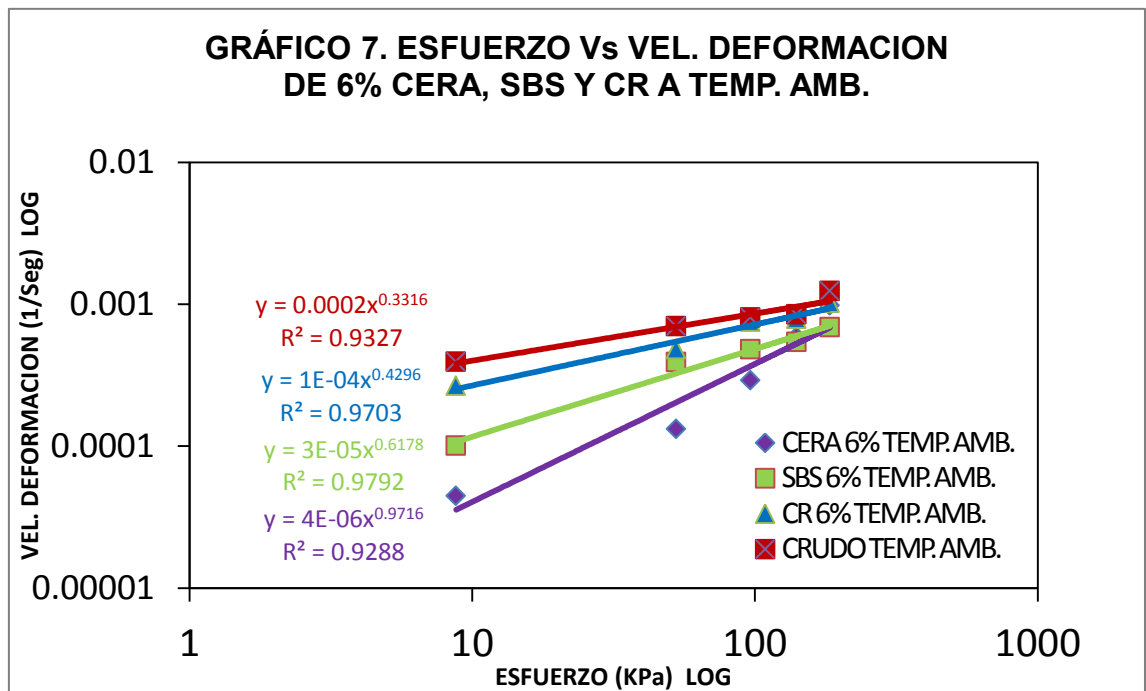


En el Gráfico 6, así como en los gráficos anteriores el asfalto crudo presenta una mayor velocidad de deformación a 10 KPa de esfuerzo. La modificación del asfalto crudo con SBS al 3 % disminuye considerablemente la velocidad de deformación a 10 KPa, seguido del asfalto modificado con 3 % de CR; presentando la menor velocidad de deformación el asfalto modificado con 3 % de CERA a las mismas condiciones de ensayo, es decir, de temperatura y carga.

En la gráfica se observa que aproximadamente a 80 KPa el comportamiento de los tres asfaltos modificados al 3 % convergen a una misma velocidad de deformación, aunque por debajo del asfalto crudo. A esfuerzos mayores de 100 KPa, el asfalto con 3 % de CERA sobrepasa la velocidad de deformación del asfalto crudo y de los otros asfaltos modificados. Los otros dos asfaltos modificados (3 % de SBS y 3 % de CR), continúan con un comportamiento similar hasta el punto de converger a velocidades de deformación del asfalto crudo a esfuerzos de 300 KPa.

5.1.3.2 Análisis de mezclas al 6 %

El Gráfico 7, muestra el comportamiento a la fluencia de los asfaltos modificados con 6 % de SBS, 6 % de CERA y 6 % de CR, comparado con el comportamiento presentado por el asfalto crudo.



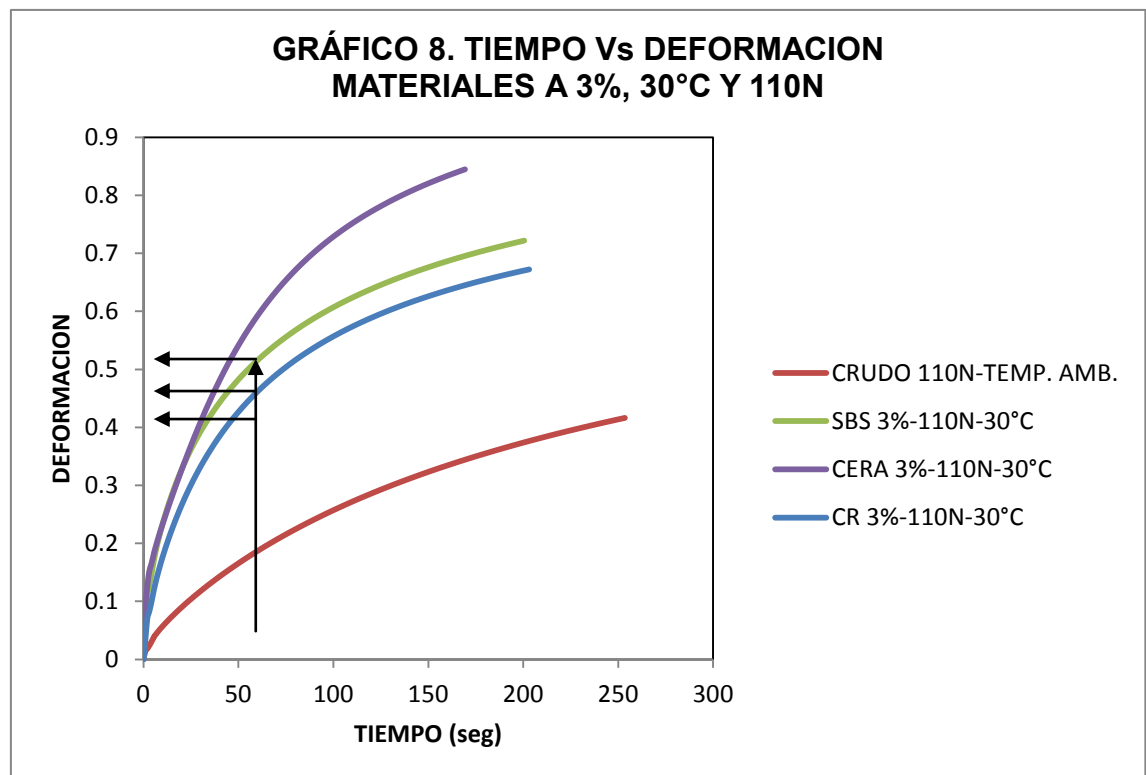
En el Gráfico 7, se observa que el asfalto crudo presenta una mayor velocidad de deformación, igual que en los gráficos anteriores a 10 KPa de esfuerzo. A diferencia del gráfico anterior, las modificaciones al 6 % favorecen la disminución de la velocidad de deformación en el intervalo de 10 KPa a 200 KPa y a esfuerzos superiores a 200 KPa los asfaltos con 6 % de SBS y 6 % de CERA presentan igual comportamiento. De los tres asfaltos modificados, el que menos favorece la disminución en la velocidad de deformación es el asfalto con 6 % de CR; caso contrario lo presenta el asfalto modificado con 6 % de CERA, el cual presenta los mejores resultados.

5.2 COMPORTAMIENTO DE MATERIALES SOMETIDOS A 30°C

A continuación se presentan los gráficos obtenidos cuando los asfaltos modificados son sometidos a 30 °C de temperatura y a las diferentes cargas establecidas (10 N, 60 N, 110 N, 160 N y 210 N), comparados con el asfalto crudo sometido a temperatura ambiente y a las cargas indicadas.

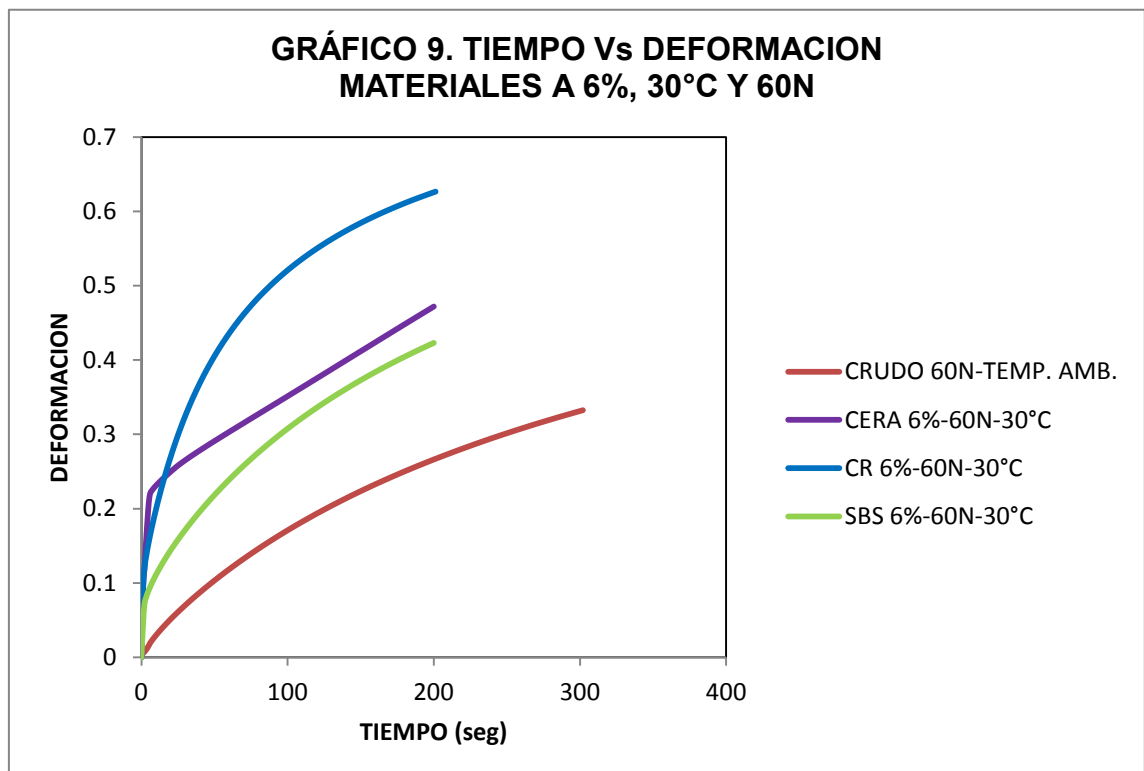
5.2.1 Velocidades de deformación del asfalto crudo y los modificados

El Gráfico 8, representa de manera general el comportamiento de los asfaltos modificados al 3 % (p/p) de SBS, CERA y CR, cuando son sometidos a una carga de 110 N, 30 °C de temperatura y su comparación con el asfalto crudo sometido a temperatura ambiente y a igual carga (110 N).



Se observa en el Gráfico 8, que las condiciones de ensayo del asfalto crudo difieren de los otros asfaltos modificados al 3 % y 30 °C de temperatura. Esto es, en relación a los asfaltos modificados, a tiempos inferiores de 25 segundos el que presenta menor deformación es el asfalto con 3 % de CR (ver línea

azul), y los asfaltos con 3 % de SBS y 3 % de CERA presentan igual deformación, sin embargo, a tiempos superiores al indicado, el que más se deforma es el asfalto con 3 % (p/p) de CERA representado por la línea morada y el que mejor responde a la deformación es el asfalto con 3 % (p/p) de CR (ver línea azul), en el rango de tiempo ensayado.



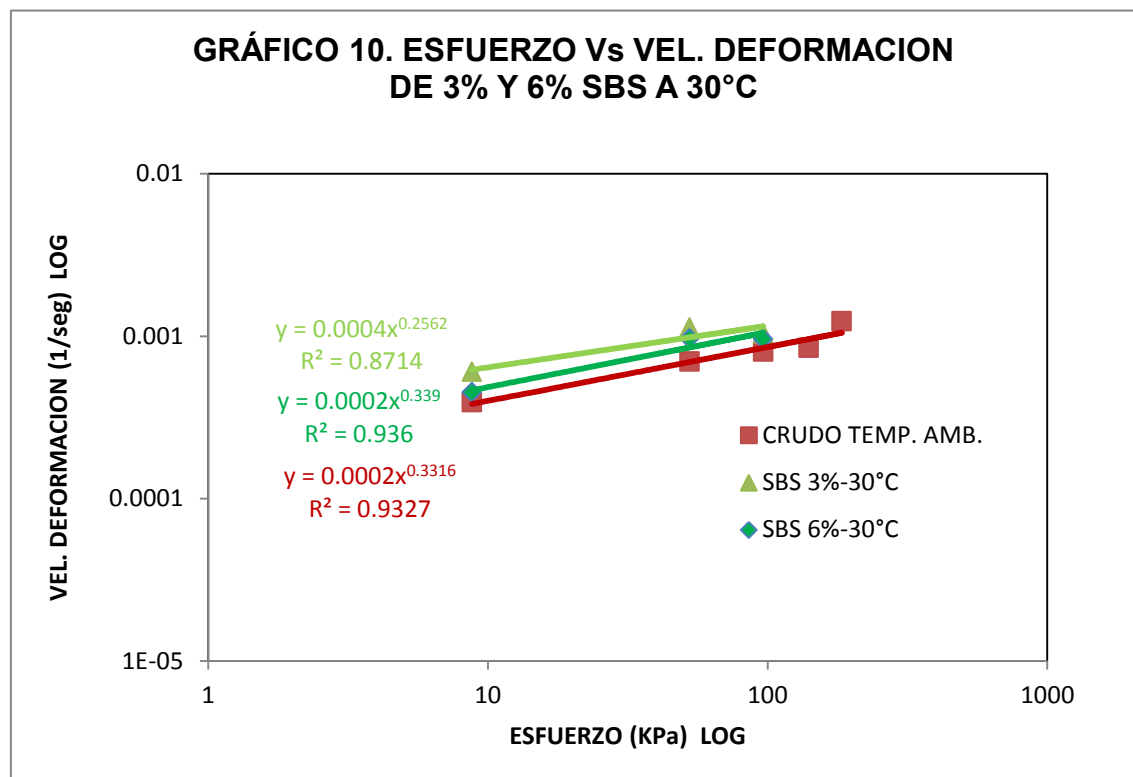
El Gráfico 9, se observa que las condiciones de ensayo del asfalto crudo difieren de los otros asfaltos modificados al 6 % y sometidos a 30 °C de temperatura, esto debido a que presenta menores velocidades de deformación porque se realiza a temperatura ambiente. Por otro lado la mezcla de 6 % de CERA, presenta la mayor deformación hasta 10 segundos, luego responde deformándose menos con el aumento del tiempo, superando al asfalto con 6 % de CR. El mejor resultado con respecto a la deformación en el tiempo lo presento el asfalto con 6 % de SBS, ya que éste se deforma menos con la carga aplicada; lo que indica la mejoría en las propiedades al material base (crudo) con el aumento de la temperatura pero no significativamente.

5.2.2 Análisis del comportamiento a la fluencia del asfalto crudo y modificado

A continuación se presentan los gráficos obtenidos cuando los asfaltos modificados, en los dos porcentajes (3 % y 6 %), son sometidos a 30 °C de temperatura y a las diferentes cargas establecidas (10 N, 60 N, 110 N, 160 N y 210 N), comparados con el asfalto crudo sometido a temperatura ambiente y cargas establecidas.

5.2.2.1 Esfuerzos y velocidades de deformación del asfalto modificado con SBS

El Gráfico 10, representa el comportamiento del asfalto modificado al 3 % (p/p) y 6 % (p/p) de SBS a 30 °C, cuando es sometido a las diferentes cargas establecidas y su comparación con asfalto crudo ensayado a temperatura ambiente.

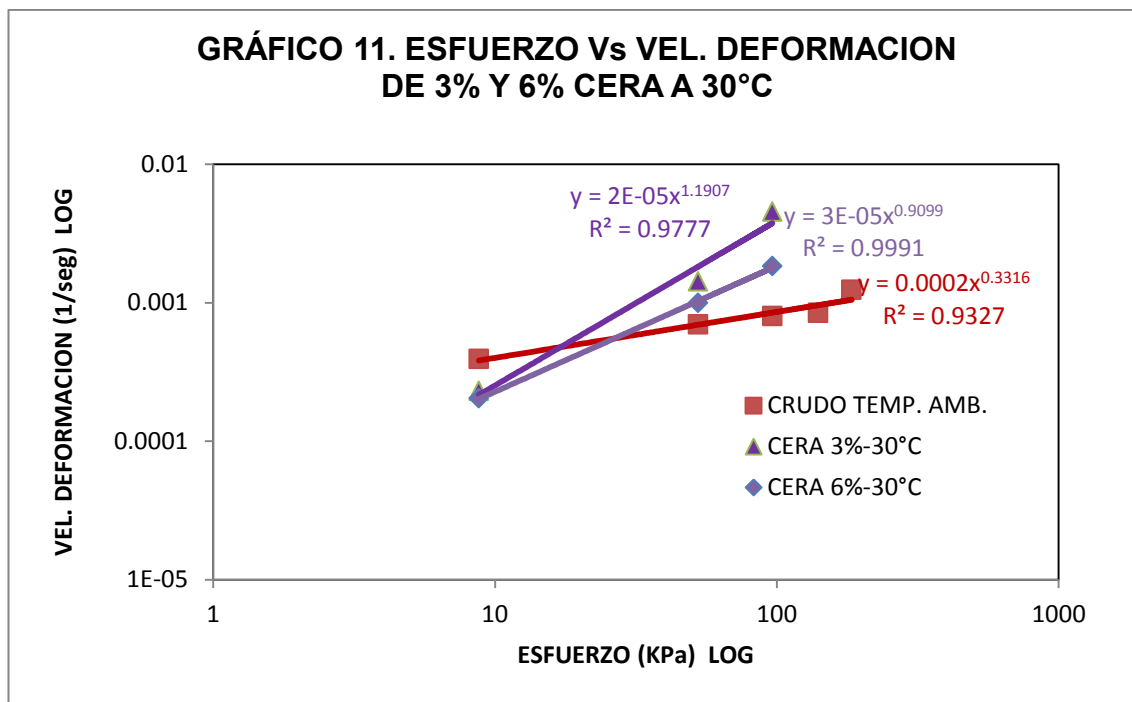


El Gráfico 10, muestra que las condiciones de ensayo del asfalto crudo difieren de los otros asfaltos modificados al 3 % y 6 % ensayos a 30 °C de temperatura, presenta menor velocidad de deformación respecto al esfuerzo aplicado porque se realiza a temperatura ambiente. Se observa que el asfalto con 3 % de SBS cuando se le aplica esfuerzos de 10 KPa presenta mayores velocidades de deformación respecto al asfalto con 6 % de SBS y a esfuerzos de 100 KPa los dos asfaltos modificados con SBS presentan velocidades de deformación similares.

El asfalto que mejor comportamiento presenta al esfuerzo aplicado es la mezcla con 6 % de SBS. Es importante resaltar, que la modificación de los asfaltos con SBS, no disminuyen las velocidades de deformación con el aumento de la temperatura en comparación con el asfalto crudo, evaluado a temperatura ambiente.

5.2.2.2 Esfuerzos y velocidades de deformación del asfalto modificado con CERA

El Gráfico 11, representa el comportamiento del asfalto modificado al 3 % (p/p) y 6 % (p/p) de CERA a 30 °C, cuando es sometido a las diferentes cargas establecidas y su comparación con asfalto crudo evaluado a temperatura ambiente.

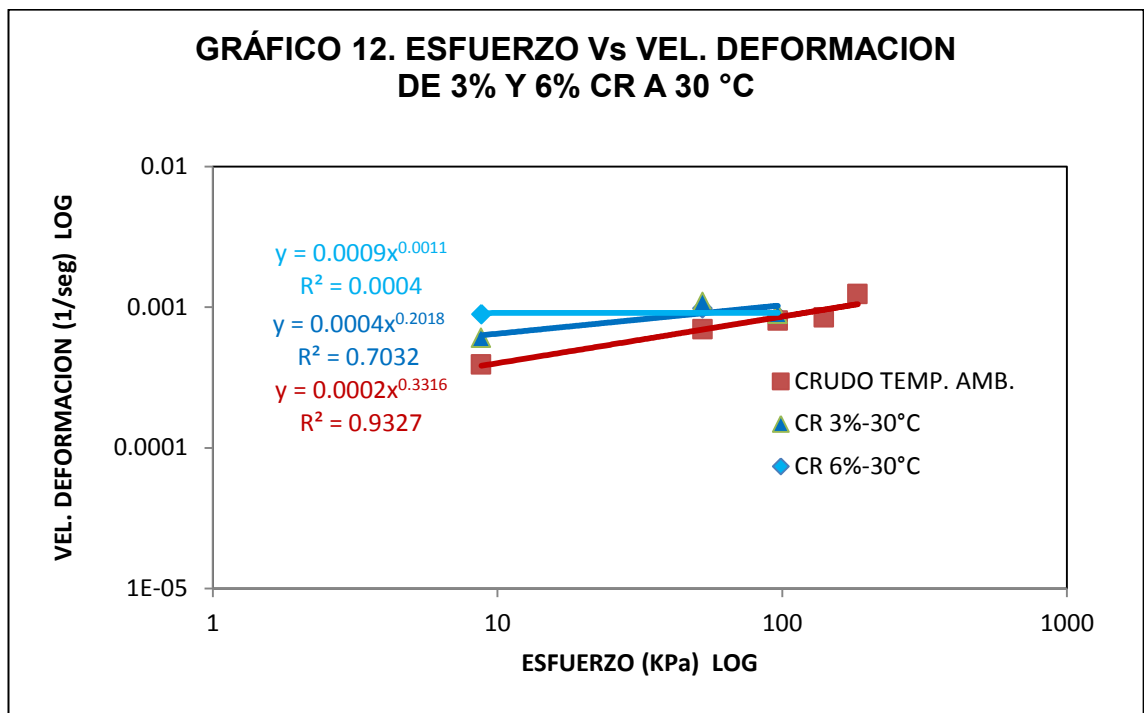


El Gráfico 11, Se observa que para los asfaltos con 3 % y 6 % de CERA a 30 °C y a esfuerzos de 10 KPa, presentan velocidades de deformación menores que el asfalto crudo realizado a temperatura ambiente. Luego, a esfuerzos superiores a 50 KPa los dos asfaltos modificados con CERA, superan las velocidades de deformación del asfalto crudo.

A diferencia de comportamientos anteriores, se observa una diferencia significativa para esfuerzos de 100 KPa, el asfalto con 6 % de CERA (ver línea morada clara), disminuye su velocidad de deformación respecto a la mezcla con 3 % de CERA. Las menores velocidades de deformación a esfuerzos del orden de 100 KPa, la presenta el asfalto con 6 % de CERA, comportamiento que no se observa para los asfaltos modificados con SBS. Es importante resaltar que la modificación de los asfaltos con CERA disminuyen las velocidades de deformación con el aumento de la temperatura en comparación con el asfalto crudo evaluado a temperatura ambiente, pero a esfuerzos que no superen los 30 KPa.

5.2.2.3 Esfuerzos y velocidades de deformación del asfalto modificado con CR

El Gráfico 12, representa el comportamiento del asfalto modificado al 3 % (p/p) y 6 % (p/p) de CR a 30 °C, cuando es sometido a las diferentes cargas establecidas y su comparación con asfalto crudo evaluado a temperatura ambiente.



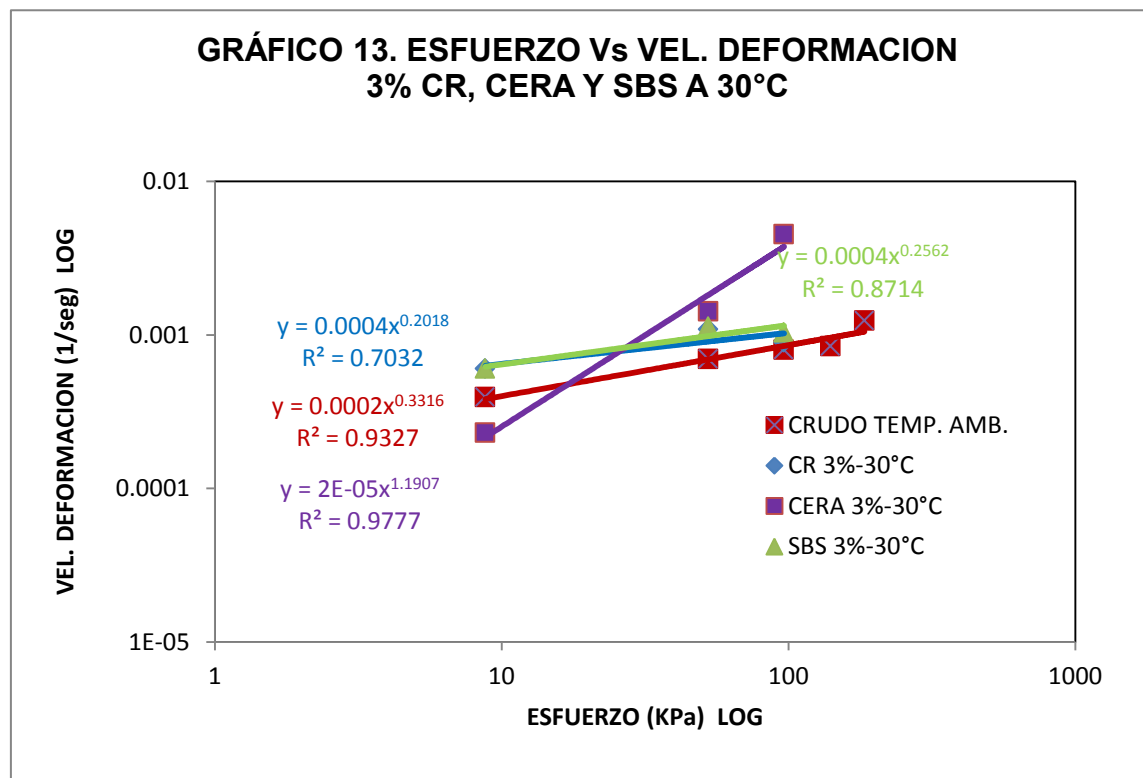
El Gráfico 12, muestra que la menor velocidad de deformación respecto al esfuerzo aplicado la presenta el asfalto crudo, porque se realiza a temperatura ambiente. El asfalto con 6 % de CR (línea azul claro), presenta las mayores velocidades de deformación para esfuerzos de 10 KPa, igualándose con el asfalto con 3 % de CR (línea azul oscuro) a esfuerzos de 80 KPa y a esfuerzos superiores presenta menores velocidades de deformación. Se observa además, que no es favorable el incremento del CR en el asfalto, comparado con las modificaciones de SBS y CERA, es decir, la modificación de los asfaltos con CR no disminuyen las velocidades de deformación con el aumento de la temperatura en comparación con el asfalto crudo evaluado a temperatura ambiente.

5.2.3 Comportamiento general a la fluencia de los asfaltos modificados evaluados a 30 ° C y crudo a temperatura ambiente.

A continuación se presentan los gráficos obtenidos cuando el asfalto crudo y los asfaltos modificados con (SBS, CERA y CR) al 3 % y 30 ° C, son sometidos a las diferentes cargas establecidas (10 N, 60 N, 110 N, 160 N y 210 N).

5.2.3.1 Análisis de mezclas al 3 %

El Grafico 13, muestra el comportamiento a la fluencia de los asfaltos modificados con 3 % de SBS, 3 % de CERA y 3 % de CR ensayados a una temperatura de 30 ° C, comparado con el comportamiento presentado por el asfalto crudo evaluado a temperatura ambiente.

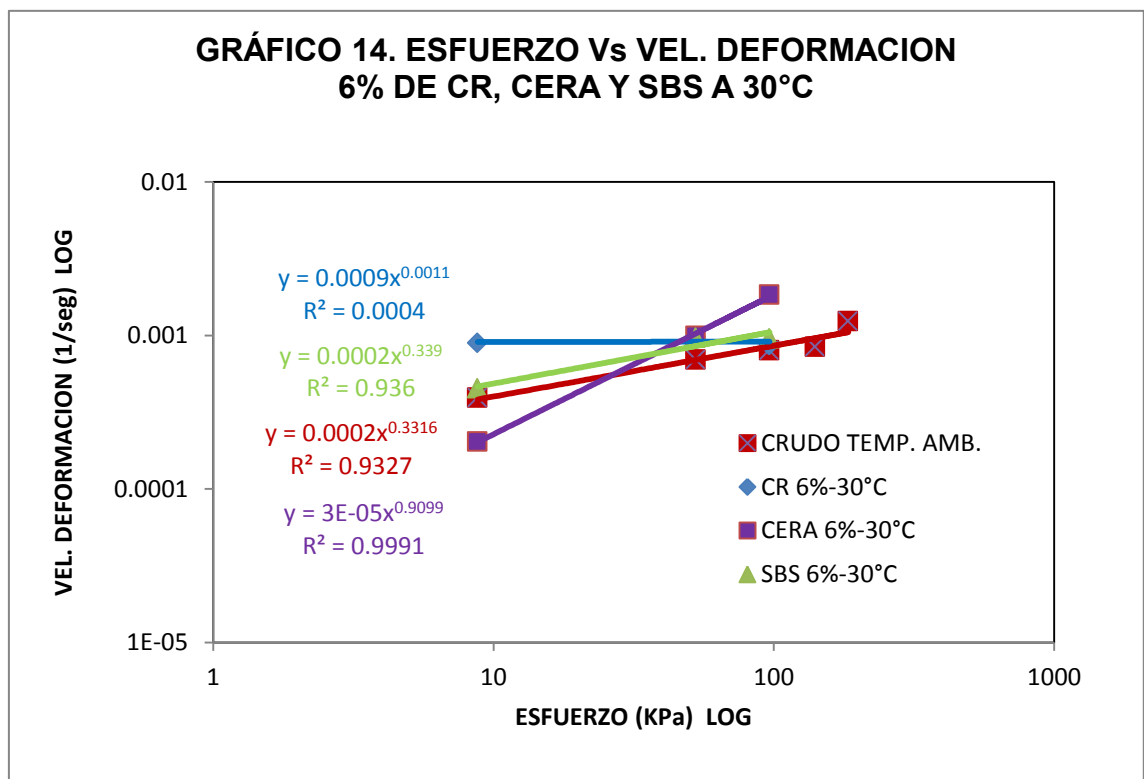


En el Gráfico 13, se observa que el comportamiento del asfalto con 3 % de CERA (línea morada), presenta las menores velocidades de deformación a esfuerzos de 10 KPa, mejorando las características del asfalto con el aumento

de la temperatura, sin embargo, a esfuerzos superiores a 30 KPa supera al asfalto crudo evaluado a temperatura ambiente y a los asfaltos modificados con 3 % de SBS y 3 % de CR. Este asfalto modificado (3 % CERA), a esfuerzos de 100 KPa presenta las mayores velocidades de deformación. En este caso es mejor utilizar un asfalto modificado con 3 % de CR, ya que éste, a altos esfuerzos presenta las menores velocidades de deformación a 30 °C de temperatura.

5.2.3.2 Análisis de mezclas al 6 %

El Grafico 14, muestra el comportamiento a la fluencia de los asfaltos modificados con 6 % de SBS, 6 % de CERA y 6 % de CR ensayados a una temperatura de 30 °C, comparados con el comportamiento presentado por el asfalto crudo evaluado a temperatura ambiente.



En el Gráfico 14, se observa que el aumento en el porcentaje de modificación del asfalto crudo, no cambia el comportamiento del asfalto con 6 % de CERA (línea morada), en relación con la mezcla de 3 % de CERA vista en el gráfico anterior, únicamente disminuye un poco la pendiente de la gráfica, es decir, disminuye levemente las velocidades de deformación.

El comportamiento del asfalto con 6 % de SBS (línea verde), es similar al asfalto con 3 % de SBS visto en el gráfico anterior, aunque la pendiente tiende a aumentar (aumenta la velocidad de deformación), con el aumento del esfuerzo aplicado. Un cambio drástico presenta el asfalto con 6 % de CR (línea azul), respecto al asfalto con 3 % de CR visto en el gráfico anterior, en donde a esfuerzos de 10 KPa presenta altas velocidades de deformación, sin embargo, presenta pendiente negativa, es decir, las velocidades de deformación disminuyen con el aumento del esfuerzo aplicado, presentando las menores velocidades de deformación a 100 KPa de esfuerzo.

5.3 COMPORTAMIENTO DE MATERIALES SOMETIDOS A 40°C

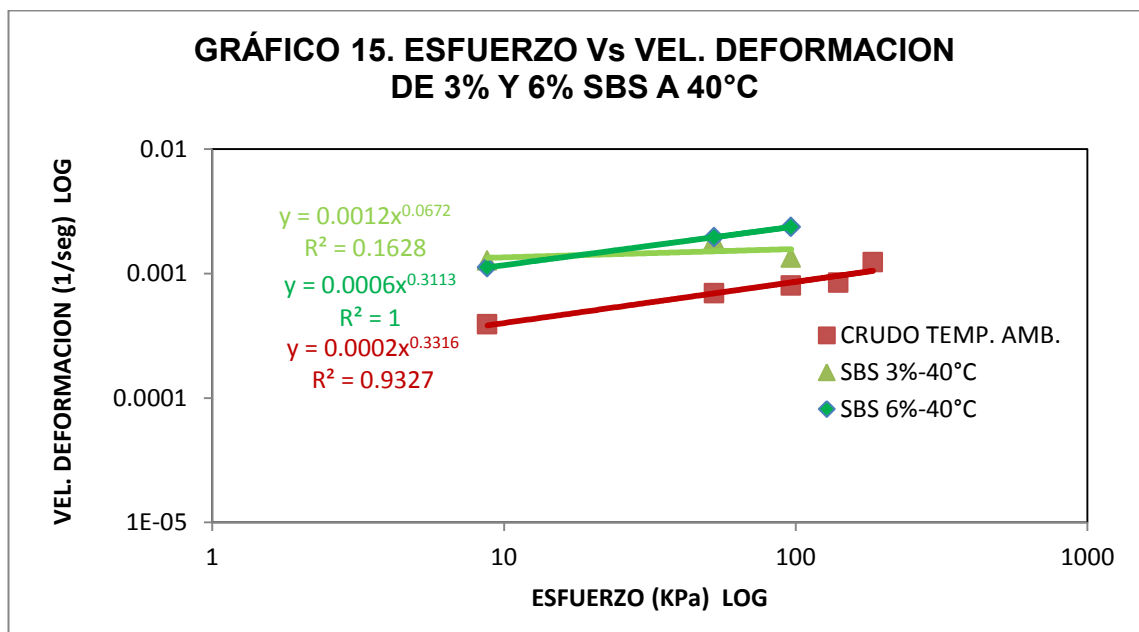
A continuación se presentan los gráficos obtenidos cuando los asfaltos modificados son sometidos a 40 °C de temperatura y a las diferentes cargas establecidas (10 N, 60 N, 110 N, 160 N y 210 N), comparados con el asfalto crudo sometido a temperatura ambiente y a las cargas indicadas.

5.3.1 Análisis del comportamiento a la fluencia del asfalto crudo y modificado

A continuación se presentan los gráficos obtenidos cuando los asfaltos modificados, en los dos porcentajes (3 % y 6 %), son sometidos a 40 °C de temperatura y a las diferentes cargas establecidas (10 N, 60 N, 110 N, 160 N y 210 N), comparados con el asfalto crudo sometido a temperatura ambiente y cargas establecidas.

5.3.1.1 Esfuerzos y velocidades de deformación del asfalto modificado con SBS

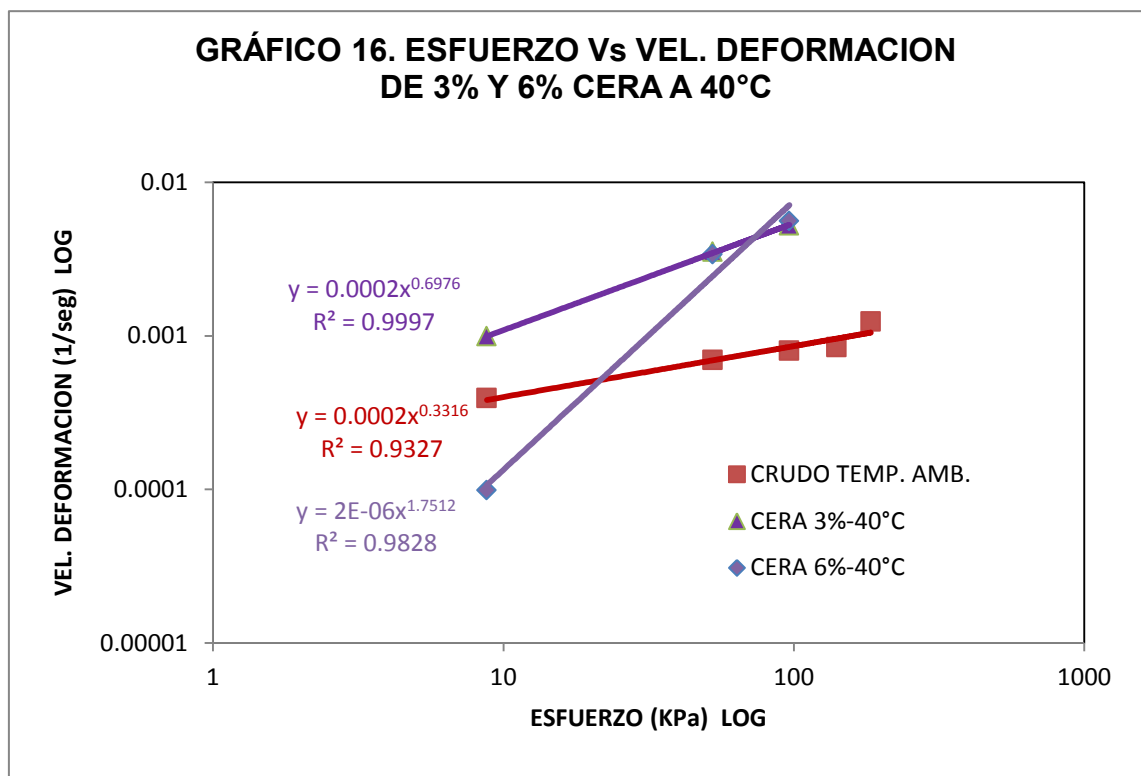
El Gráfico 15, representa el comportamiento del asfalto modificado al 3 % (p/p) y 6 % (p/p) de SBS a 40 °C, cuando es sometido a las diferentes cargas establecidas y su comparación con asfalto crudo ensayado a temperatura ambiente y a las cargas establecidas.



En el Gráfico 15, se observa que el aumento de la temperatura, aumenta las velocidades de deformación, sin embargo, en este gráfico, el asfalto con 3 % de SBS (línea verde oscuro), responde mejor a la deformación a esfuerzos superiores a 30 KPa. Además, disminuyo la pendiente de la gráfica comparada con los resultados de los ensayos a 30 °C. Nuevamente se observa que no es favorable el aumento en el porcentaje de modificación con SBS.

5.3.1.2 Esfuerzos y velocidades de deformación del asfalto modificado con CERA

El Gráfico 16, representa el comportamiento del asfalto modificado al 3 % (p/p) y 6 % (p/p) de CERA a 40 °C, cuando es sometido a las diferentes cargas establecidas y su comparación con asfalto crudo ensayado a temperatura ambiente.



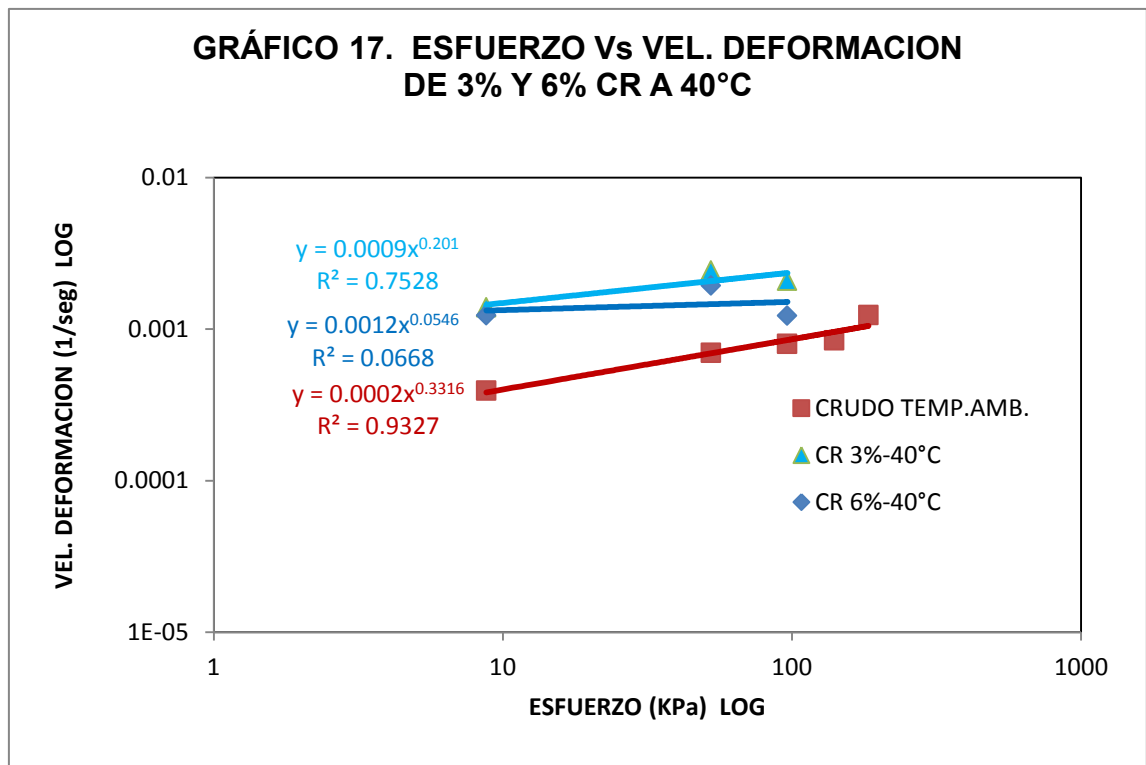
En el Gráfico 16, se observa que para los asfaltos con 3 % y 6 % de CERA y a esfuerzos de 10 KPa, presentan velocidades de deformación menores que el

asfalto crudo. En esta gráfica, el asfalto con 3 % de CERA (línea morada oscura), aumento sus velocidades de deformación con el aumento de la temperatura por encima del asfalto crudo evaluado a temperatura ambiente, sin embargo, la pendiente de la gráfica disminuyo respecto al resultado obtenido en el mismo material a 30 °C.

Por otro lado, el asfalto con 6 % de CERA (línea morado claro), presento menores velocidades de deformación, igual que las presentadas en la gráfica 11 evaluado a 30 °C, pero con un aumento en la pendiente, y a esfuerzos superiores a 80 KPa sobrepasa al asfalto con 3 % de CERA a 40 °C de temperatura.

5.3.1.3 Esfuerzos y velocidades de deformación del asfalto modificado con CR

El Gráfico 17, representa el comportamiento del asfalto modificado al 3 % (p/p) y 6 % (p/p) de CR a 40 °C, cuando es sometido a las diferentes cargas establecidas y su comparación con asfalto crudo ensayado a temperatura ambiente.



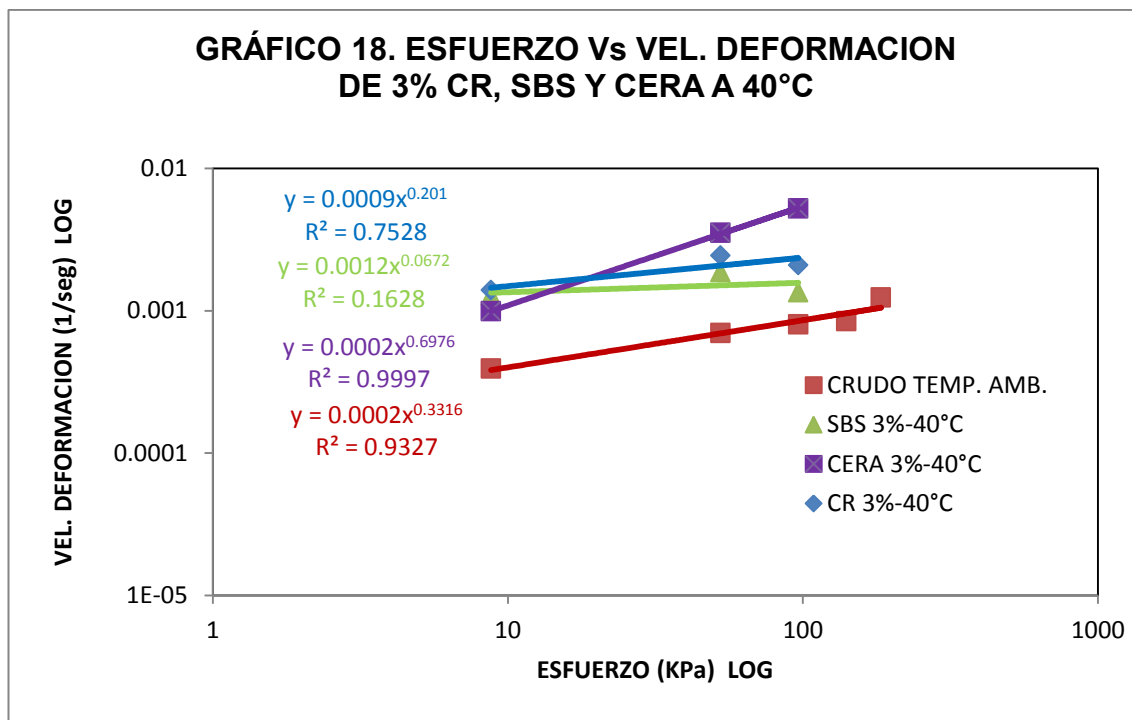
En el Gráfico 17, el asfalto con 3 % de CR (línea azul claro), presenta las mayores velocidades de deformación para esfuerzos de 10 KPa, igualándose con el asfalto con 6 % de CR (línea azul oscuro) a esfuerzos de 80 KPa. Mientras que a esfuerzos superiores presenta menores velocidades de deformación la modificación con CR evaluada a 30 °C. Por lo tanto, se observa que con el aumento en la temperatura, el asfalto con 6 % de CR, mejora su respuesta al esfuerzo aplicado, y además presenta una pendiente negativa (disminuye en todo el intervalo de aplicación)

5.3.2 Comportamiento general a la fluencia de los asfaltos modificados evaluados a 40 ° C y crudo a temperatura ambiente.

A continuación se presentan los gráficos obtenidos cuando el asfalto crudo y los asfaltos modificados con (SBS, CERA y CR) al 3 % y 40 °C, son sometidos a las diferentes cargas establecidas (10 N, 60 N, 110 N, 160 N y 210 N).

5.3.2.1 Análisis de mezclas al 3 %

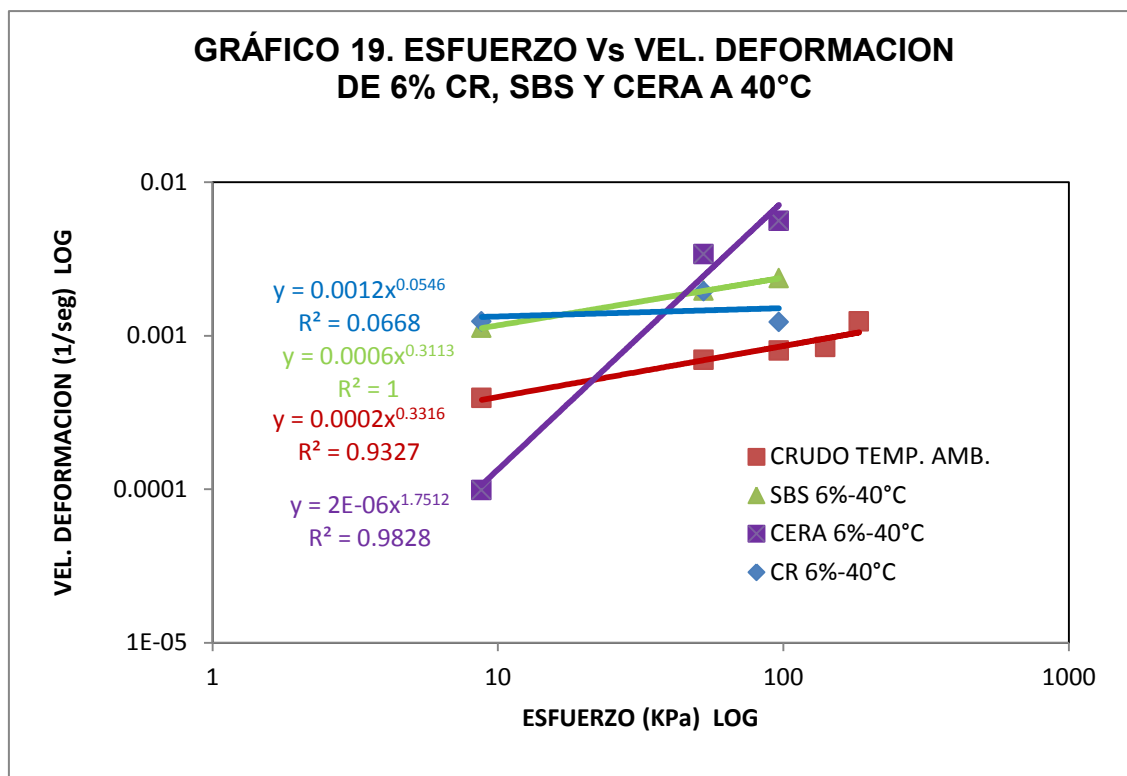
El Grafico 18, muestra el comportamiento a la fluencia de los asfaltos modificados con 3 % de SBS, 3 % de CERA y 3 % de CR ensayados a una temperatura de 40 °C, comparado con el comportamiento presentado por el asfalto crudo evaluado a temperatura ambiente.



El Gráfico 18, muestra que el asfalto con 3 % de CERA (línea morada), presenta las menores velocidades de deformación a esfuerzos inferiores a 30 KPa, y a esfuerzos superiores a 50 KPa sobrepasa las velocidades de deformación de los otros asfaltos modificados (3 % SBS y 3 % CR), evaluados a 40 °C. El mejor asfalto modificado que responde al aumento del esfuerzo con menores velocidades de deformación es el asfalto con 3 % de SBS representado por la línea verde evaluado a 40 °C de temperatura.

5.3.2.2 Análisis de mezclas al 6 %

El Grafico 19, muestra el comportamiento a la fluencia de los asfaltos modificados con 6 % de SBS, 6 % de CERA y 6 % de CR ensayados a una temperatura de 40 °C, comparado con el comportamiento presentado por el asfalto crudo evaluado a temperatura ambiente.



En el Gráfico 19, se aprecia que el mejor asfalto modificado que responde al aumento del esfuerzo con menores velocidades de deformación es el asfalto con 6 % de SBS a 40 °C representado por la línea verde. En este gráfico, el asfalto con 6 % de CR, presenta pendiente negativa, lo que indica un comportamiento favorable respecto a la deformación. Por otro lado, el aumento del porcentaje de SBS no favorece su respuesta al esfuerzo aplicado en comparación con lo visto en el grafico anterior.

Por lo tanto, se observa que el asfalto con 6 % de CERA, presenta el mejor comportamiento pero a esfuerzos menores a 30 KPa, pero a altos esfuerzos aumenta la velocidad de deformación por encima de los otros asfaltos modificados incluyendo al asfalto crudo..

5.4 COMPORTAMIENTOS GENERALES DE MATERIALES SOMETIDOS A ENSAYO A DIFERENTES TEMPERATURAS

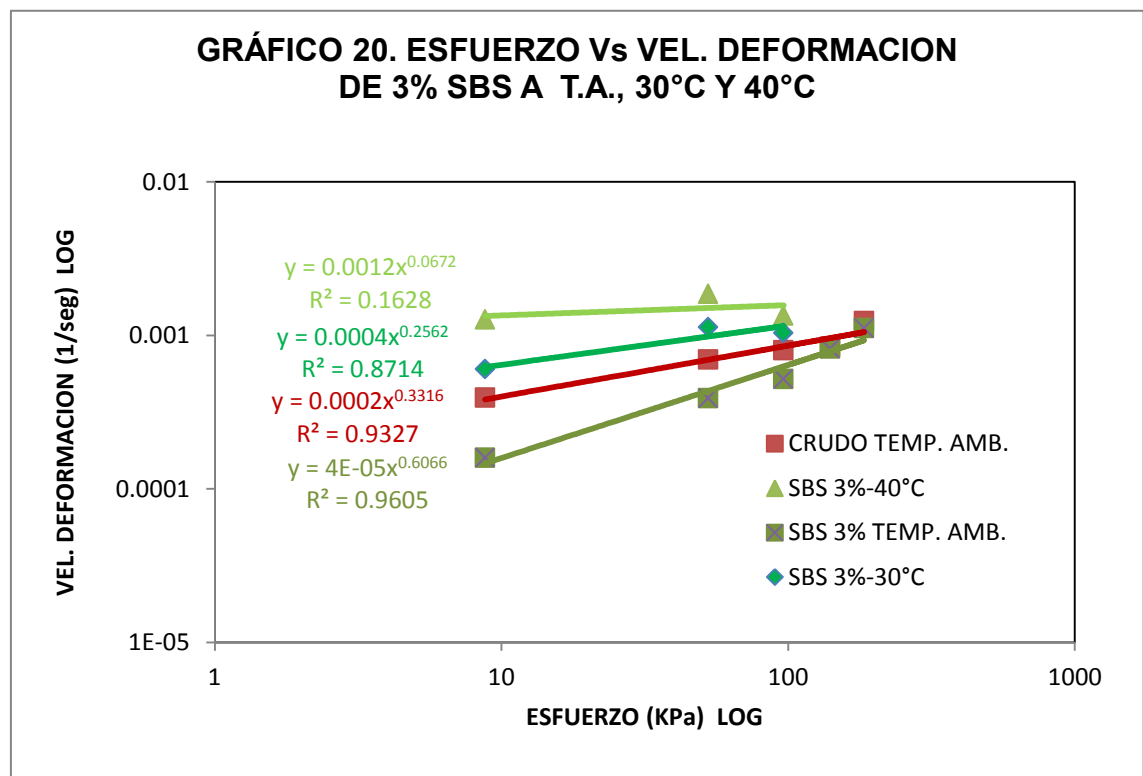
A continuación se presentan los resultados obtenidos de los materiales en cuestión sometidos a distintas temperaturas 30 °C, 40 °C y temperatura ambiente en cada uno de sus porcentajes (3 % y 6 %).

5.4.1 Comportamiento a la fluencia de acuerdo a la temperatura para el asfalto modificado con SBS

A continuación se presentan los gráficos del asfalto modificado con SBS, evaluada a las diferentes temperaturas establecidas (ambiente, 30 °C y 40 °C), comparada con el asfalto crudo ensayado a temperatura ambiente.

5.4.1.1 Comportamiento a la fluencia del asfalto con 3 % de SBS

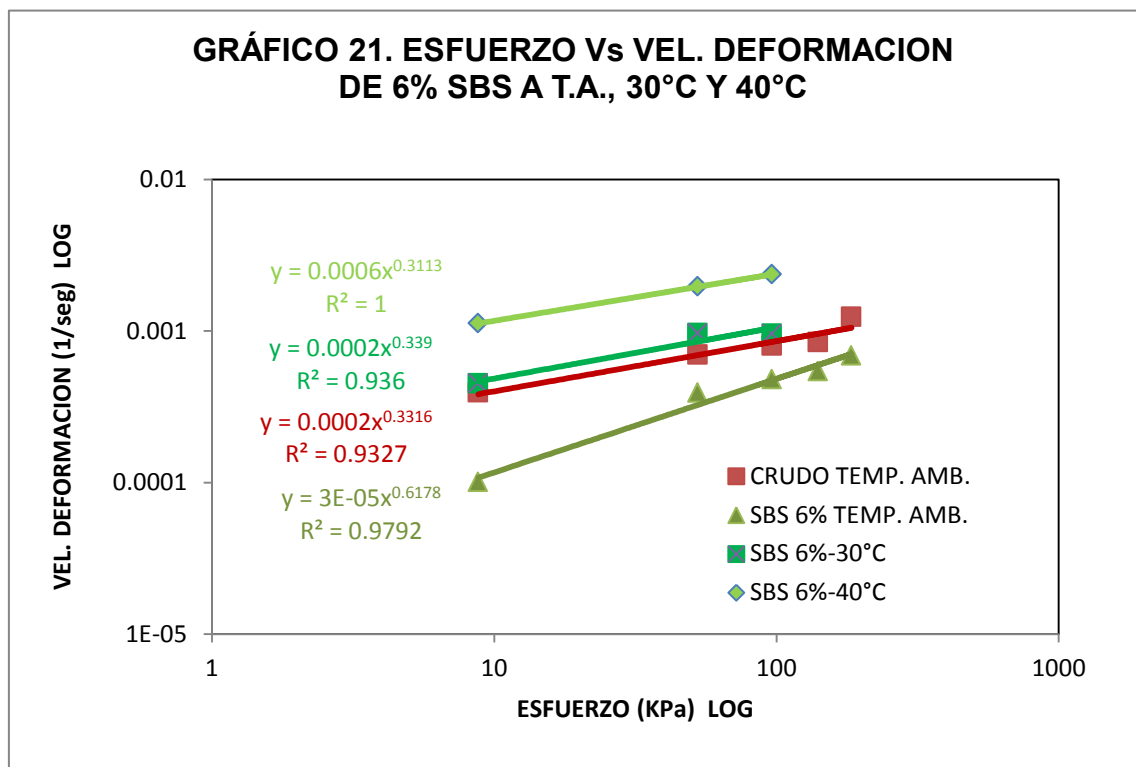
El Gráfico 20, presenta las diferentes curvas del asfalto modificado con 3 % de SBS, evaluado a las diferentes temperaturas, comparadas con el crudo.



En el Gráfico 20, se observa que a temperatura ambiente el asfalto con 3 % de SBS, disminuye las velocidades de deformación en todo el rango de esfuerzo aplicado, pero tiende a igualarse a esfuerzos de 300 KPa con el asfalto crudo evaluado a temperatura ambiente. Al aumentar la temperatura, aumenta la velocidad de deformación, aunque con una disminución gradual de la pendiente, esto se observa a 40 °C, en donde las velocidades de deformación tienden a ser constantes con el aumento del esfuerzo; siendo el asfalto modificado con 3 % de SBS evaluado a 40 °C el que mayor velocidad de deformación presenta, seguido por el evaluado a 30 °C y por ultimo con mejor comportamiento a la deformación, el asfalto con 3 % de SBS evaluado a temperatura ambiente.

5.4.1.2 Comportamiento a la fluencia del asfalto con 6 % de SBS

El Grafico 21, presenta las diferentes curvas del asfalto modificado con 6 % de SBS, evaluado a las diferentes temperaturas, comparadas con el crudo.



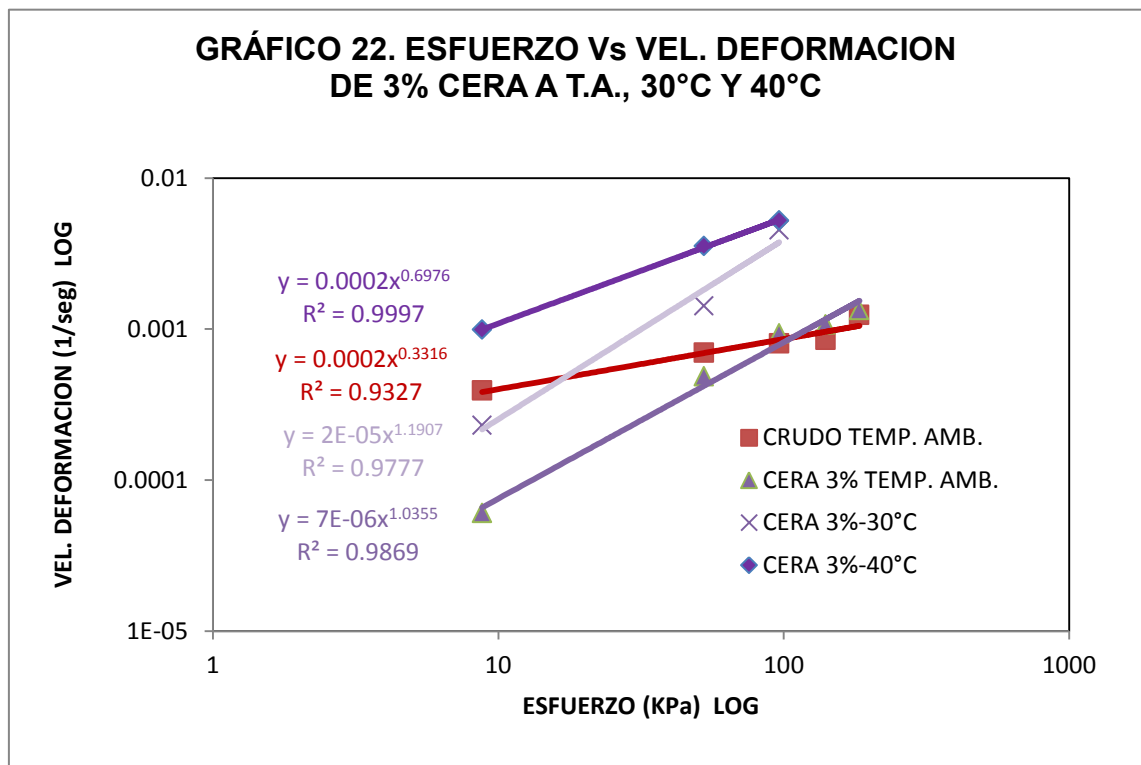
En el Gráfico 21, se observa que a temperatura ambiente el asfalto con 6 % de SBS, disminuye las velocidades de deformación en todo el rango de esfuerzo aplicado, pero tiende a igualarse a esfuerzos de 300 KPa con el asfalto crudo evaluado a temperatura ambiente, aunque considerablemente por debajo de éste, comparado con lo presentado en la gráfica 20. No se observa un comportamiento favorable con el aumento de temperatura, ni con el aumento del porcentaje de polímero SBS.

5.4.2 Comportamiento a la fluencia de acuerdo a la temperatura para el asfalto modificado con CERA.

A continuación se presentan los gráficos del asfalto modificado con CERA, evaluado a las diferentes temperaturas establecidas (ambiente, 30 °C y 40 °C), comparada con el asfalto crudo ensayado a temperatura ambiente.

5.4.2.1 Comportamiento a la fluencia del asfalto con 3 % de CERA

El Grafico 22, presenta las diferentes curvas del asfalto modificado con 3 % de CERA, evaluado a las diferentes temperaturas, comparadas con el crudo.

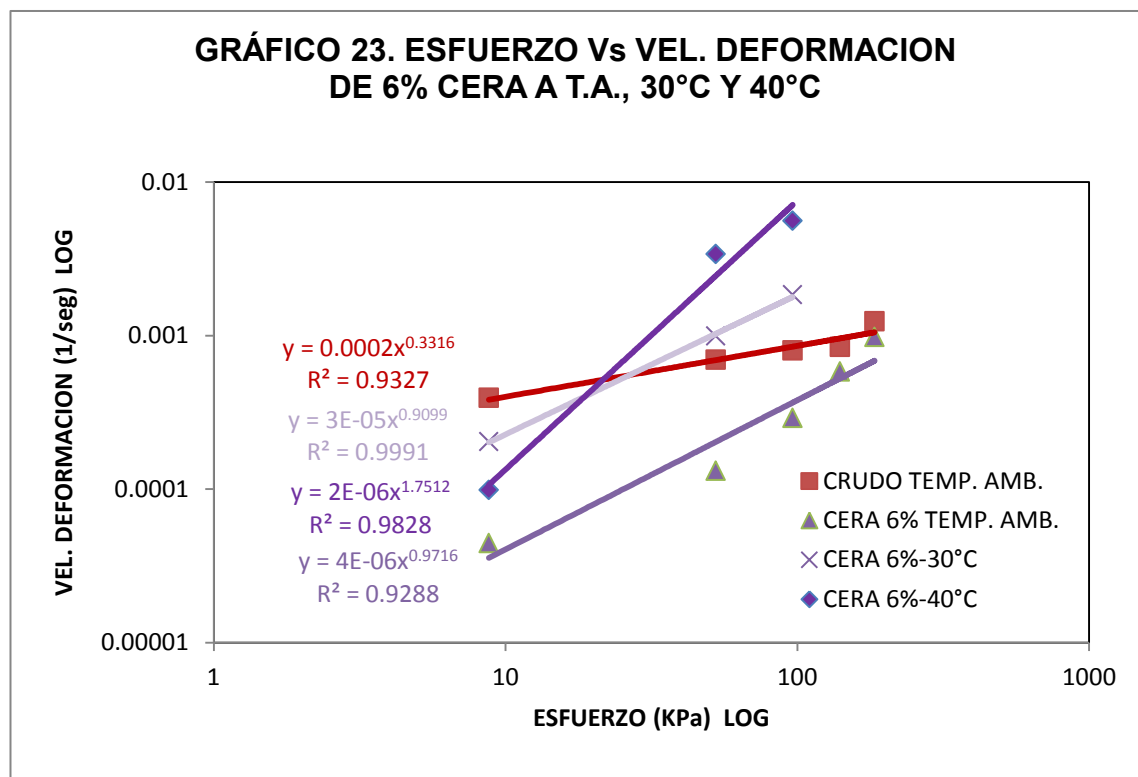


En el Gráfico 22, se observa que a temperatura ambiente el asfalto con 3 % de CERA, disminuye las velocidades de deformación hasta 100 KPa de esfuerzo aplicado, respecto al asfalto crudo evaluado a temperatura ambiente, pero a esfuerzos mayores supera las velocidades de deformación. Similar comportamiento presenta el asfalto con 3 % de CERA a 30 °C hasta 30 KPa de esfuerzo, y aumenta rápidamente sus velocidades de deformación con el aumento del esfuerzo.

El aumento de temperatura a 40 °C, aunque presenta las mayores velocidades de deformación, se observa que la pendiente disminuye con respecto a los otros.

5.4.2.2 Comportamiento a la fluencia del asfalto con 6 % de CERA

El Grafico 23, presenta las diferentes curvas del asfalto con 6 % de CERA, evaluado a las diferentes temperaturas, comparadas con el crudo.



En el Gráfico 23, se aprecia que a temperatura ambiente el asfalto con 6 % de CERA, disminuye las velocidades de deformación a lo largo de todo el rango de esfuerzo aplicado respecto al asfalto crudo, aquí el aumento en el porcentaje de CERA disminuye las velocidades de deformación en todo el rango de esfuerzo aplicado. El asfalto con 6 % de CERA a 30 °C, favorece la respuesta del material al esfuerzo aplicado, disminuyendo la velocidad de deformación.

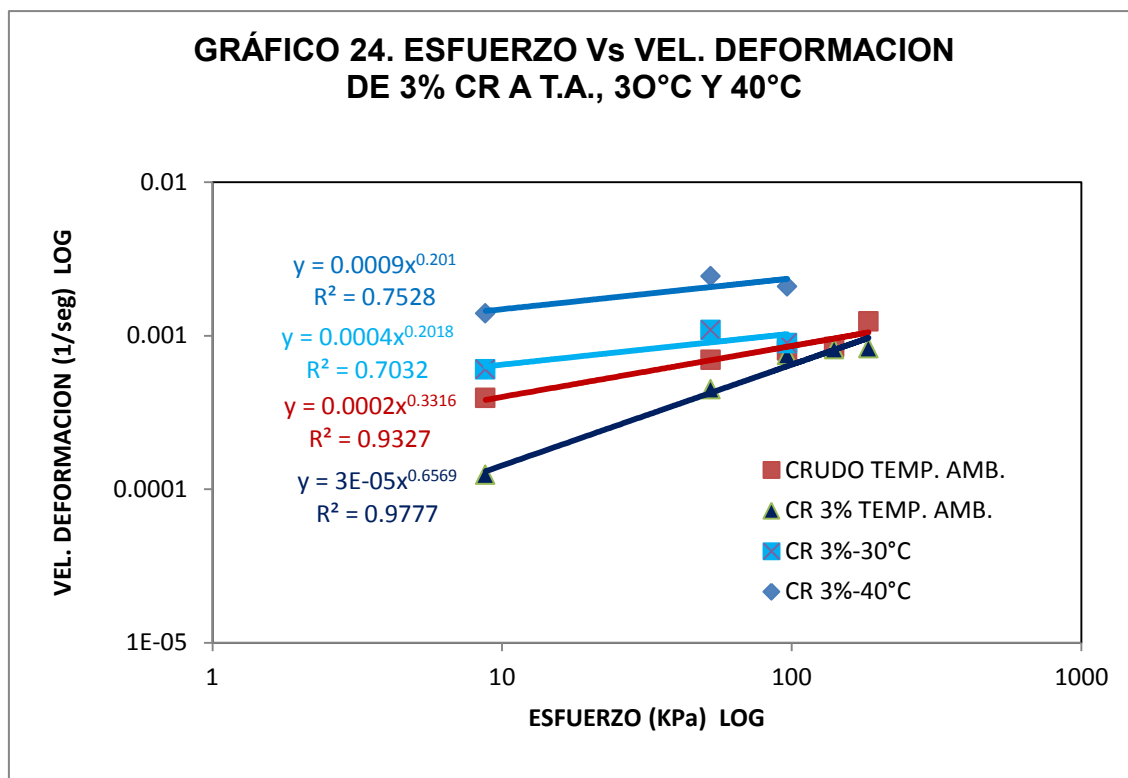
Por otra parte, el cambio es completamente drástico a 40 °C con el aumento en el porcentaje de CERA, en la gráfica 22 el asfalto con 3 % de CERA presento las mayores velocidades de deformación en todo el intervalo de esfuerzo, para el asfalto con 6 % de CERA disminuye la velocidad de deformación, con el aumento de temperatura, pero su aumento con el esfuerzo aplicado es muy rápido.

5.4.3 Comportamiento a la fluencia de acuerdo a la temperatura para el asfalto modificado con CR

A continuación se presentan los gráficos del asfalto modificado con Cr, evaluado a las diferentes temperaturas establecidas (ambiente, 30 °C y 40 °C), comparada con el asfalto crudo ensayado a temperatura ambiente.

5.4.3.1 Comportamiento a la fluencia del asfalto con 3 % de CR

El Grafico 24, presenta las diferentes curvas del asfalto con 3 % de CR, evaluado a las diferentes temperaturas, comparadas con el asfalto crudo.

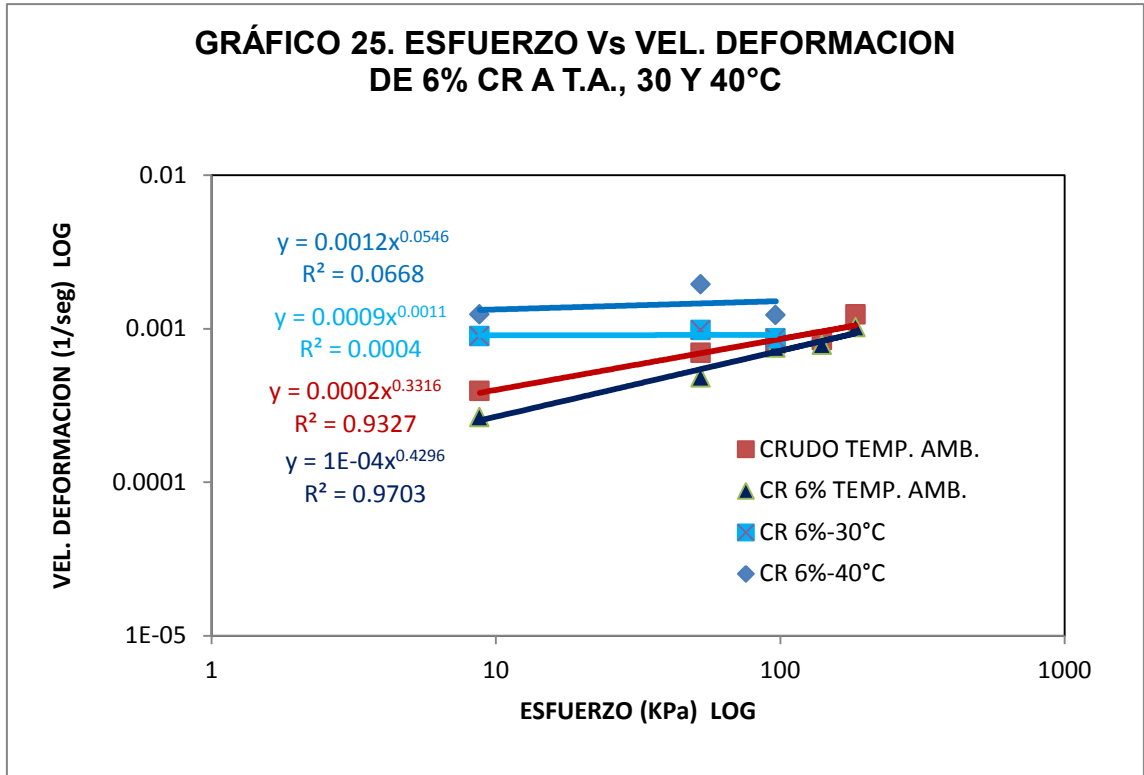


En el Gráfico 24, se observa que el asfalto con 3 % de CR, a temperatura ambiente, tiene un comportamiento similar al asfalto con 3 % de SBS de la gráfica 20 evaluado en las mismas condiciones de ensayo; por lo que se infiere que con el aumento de la temperatura, aumenta la velocidad de deformación del material. El asfalto con 3 % de CR evaluado a temperatura ambiente (línea azul oscuro), presenta la menor pendiente, esto indica que la respuesta del material al esfuerzo aplicado, presenta aumentos en la velocidad de deformación más pequeños.

5.4.3.2 Comportamiento a la fluencia del asfalto con 6 % de CR

El Gráfico 25, presenta las diferentes curvas del asfalto con 6 % de CR, evaluado a las diferentes temperaturas, comparadas con el asfalto crudo evaluado a temperatura ambiente.

GRÁFICO 25. ESFUERZO Vs VEL. DEFORMACION DE 6% CR A T.A., 30 Y 40°C



En el Gráfico 25, se observa que el aumento del porcentaje de CR, aumenta la velocidad de deformación respecto a la gráfica 24, es decir, no es favorable el aumento del porcentaje de modificación de 3 % de CR al 6 % de CR. A 30 °C el asfalto con 6 % de CR presenta una pendiente negativa, es decir, la velocidad de deformación disminuye con el esfuerzo aplicado, se hace menor la pendiente comparada con el asfalto con 3 % de CR, igualmente se disminuye la pendiente para el aumento de temperatura del asfalto con 6 % de CR comparado con el asfalto con 3 % de CR. El asfalto con 6 % de CR, no mejoro la respuesta del material al esfuerzo aplicado.

Finalmente cabe destacar que los principales cambios reológicos, al insertar un polímero a un ligante, se reflejan, por lo general, en:-Aumento de la plasticidad

- Reducción de la susceptibilidad térmica
- Aumento de la adhesividad
- Aumento de la elasticidad a temperaturas bajas
- Aumento de la viscosidad a temperaturas de compactación y mezclado
- Reducción de la deformabilidad

Cabe resaltar, que el presente trabajo comprendió el estudio del efecto de los polímeros sobre la reducción de la deformabilidad utilizando los polímeros, SBS, CERAS y CR a dos porcentajes de modificación (3 % y 6 %), evaluando conjuntamente el asfalto original (CRUDO) a condiciones de ensayo (temperatura ambiente, a 30 °C y 40 °C) utilizando la máquina universal de ensayos mecánicos, INSTRON. Localizada en los laboratorios de la Universidad EAFIT, de la ciudad de Medellín.

6. PERTINENCIA

Las cubiertas son un componente muy importante en el sector de la construcción y de éstas depende en gran medida la conservación del interior de las edificaciones, por tal motivo, cada día debe tratarse de mejorar los materiales utilizados en las cubiertas, para esto se debe mejorar las materias primas para producirlas, obteniéndose mejores materiales, que es un tema de interés en todos los campos, pues permite el desarrollo de nuevos productos, más eficientes y competitivos.

En relación a su peso, solicitudes de servicio, facilidad de manufactura, transporte, economía y demás aspectos que hacen la diferencia entre la compra y utilización de un producto frente a otro; aparte de tener en cuenta el aspecto ambiental, el cual es de vital interés mundialmente en la fabricación de nuevas y mejores tecnologías, ya que la tendencia actual es proteger e impactar lo menos posible en el medio ambiente, debido a la problemática dada con respecto a éste tema, por tanto reutilizar llantas como modificador del asfalto contribuye con éste importante aspecto.

En este caso en específico se observa que este tipo de teja es relativamente novedoso, en cuanto a las tejas tradicionales, utilizando nuevos materiales como componentes en relación a los utilizados en las tejas convencionales de asbesto cemento, barro, acrílico, entre otros.

Al realizar un desglose de los materiales utilizados para la fabricación de éste tipo de teja, tenemos uno como componente principal, el asfalto, material en el cual se concentra éste trabajo y es el objeto de estudio tanto en estado crudo como modificado; el asfalto en la ingeniería civil constituye uno de los muchos aspectos importantes y relevantes dentro del campo de acción de un ingeniero civil, ya sea para la construcción de carreteras y diseños de pavimentos, como para su utilización en diferentes etapas y procesos constructivos, como por ejemplo las impermeabilizaciones con mantos asfálticos y demás; por tanto,

analizar el comportamiento de éste material en estado crudo y aditivado con diferentes polímeros, cuando son sometidos a diferentes condiciones mecánicas y térmicas, nos permite profundizar más acerca de las características de éste, permitiendo que estos estudios, obtenidos a partir de estos ensayos, sean base para posteriores usos de éste material en procesos constructivos, dentro del sector de la construcción, de la ingeniería civil y por qué no, dentro de cualquier carrera afín en que se haga necesario la utilización e implementación del asfalto, con o sin modificaciones y en el cual se requieran conocer comportamientos mecánicos específicos para determinadas funciones.

7. CONCLUSIONES

- La menor deformación de los materiales en cuestión con base a los gráficos 1 y 2, se presentó para el asfalto modificado con CERA al 6 %, seguido del asfalto modificado con CERA al 3 %, luego el asfalto modificado con SBS al 6 %, luego en rango de importancia le sigue el asfalto modificado con SBS al 3 %, seguido del asfalto modificado con CR al 3 % y finalmente, el asfalto modificado con CR al 6 % a temperatura ambiente.
- De otro lado, se debe considerar que al aumentar la adición de CR dicho factor no ayudo a disminuir la deformación del asfalto, por el contrario la aumento. De la gráfica 8, la menor deformación la presento el asfalto modificado con CR al 3 % para una carga de 110 N y a 30 °C, seguido del asfalto modificado con SBS al 3 % y por último, el asfalto modificado con CERA al 3 %. Además, se observó que al aumentar la temperatura el comportamiento del polímero CR influyó positivamente, y esto en mayor magnitud que el polímero SBS en la disminución de la deformación del asfalto.
- De la gráfica 9 se concluye que la menor deformación la presento el asfalto modificado con SBS al 6 %, a condiciones de una carga de 60 N y a una temperatura de 30 °C, seguido del asfalto modificado con CERA al 6 % y finalmente, el asfalto modificado con CR al 6 %, en rango de fluencia. Por lo que se demuestra, que al aumentar el porcentaje de CR en el asfalto aumenta la deformación del mismo material.
- En cambio, para los otros polímeros el aumento en la concentración, favoreció en la disminución de la deformación. A menor velocidad de deformación respecto al esfuerzo aplicado a temperatura ambiente se obtuvo para el asfalto modificado con CERA al 6 %, seguido del asfalto modificado con SBS al 6 % y al 3 %, seguido del asfalto modificado con CR al 3 % y finalmente, el asfalto modificado con CR al 6 % a 30 °C. Por lo que se consideran los asfaltos CR 6 % y SBS 3 % como los que mejor comportamiento

presentaron durante todo el laboratorio y de igual manera a temperatura de 40 °C.

- Se destaca también, que el ensayo no cumplió con un rango y parámetros adecuados para observar la verdadera fluencia de los materiales en cuestión. Toda vez, que 5 minutos de laboratorio es un tiempo muy limitado para dejar elevar los materiales y poder mirar el comportamiento de las variables de deformación.

.
.

8. RECOMENDACIONES

- Continuar con la segunda y tercera etapa del creep; con el fin de conocer todo el recorrido de las variables, puesto que 5 minutos es rango de tiempo muy bajo para determinar las propiedades viscoelásticas de los materiales en cuestión. A fin de determinar los esfuerzos máximos de fluencia a un producto para cubierta multicapa, fabricadas con diferentes tipos de asfalto,
- Para futuras pruebas y otras etapas creep, someter las pruebas de laboratorio y los materiales a parámetros de fórmulas estadísticas y matemáticas. Puesto que dichos ensayos creep, ya se encuentran documentados y estandarizados en el medio, ampliando la rutina y pruebas de ensayos dentro del laboratorio.
- Se recomienda para las nuevas pruebas y a futuro mejorar las condiciones y tipo de materiales, utilizando unos más adecuados para mostrar el fenómeno creep. Puesto que hoy en día ya existen, determinaciones matemáticas (formulas) documentadas para éste tipo de ensayos existentes en el medio, las cuales no fueron tenidas en cuenta al momento de este laboratorio.
- Determinar un rango mucho más amplio de aceleración de temperatura y esfuerzo de carga a que son sometidos los materiales para lograr un rango más amplio de fluencia.
- Considerar la posibilidad de tener en cuenta otro tipo de materiales o polímeros al momento del ensayo, que pueda optimizar la mezcla asfáltica en dichas pruebas. Distintos a CR, CERA y SBS.

BIBLIOGRAFÍA

BOTERO, Luis Fernando. "Construcción de Edificaciones Primera Parte" Primera Edición, cap. 8 pag.151-163. 2000.

CAPACITACIÓN, Sena-Corasfaltos. "Tecnología del Asfalto, Reología y Productos Para Optimizar su uso Grupo Medellín - SENA, Corporación para la Investigación y Desarrollo en Asfaltos en el Sector Transporte e Industrial-CORASFALTOS". 2009..

C.W. Richard. "Engineering Materials Science" 2003.

EDWARDS, Y. y Otros. "Influence of Commercial Waxes and Polyphosphoric Acid on Bitumen and Asphalt Concrete Performance at low and Medium Temperatures", Energy Fuels, Vol19, p. 2519–2525, 2005.

FIGUEROA, Infante, Ana Sofía, y Otros. "Análisis De Un Asfalto Modificado con Icopor a su Incidencia en una Mezcla Asfáltica Densa en Caliente"; Ingeniería e Investigación, Vol.27, p. 5-15. 2007.

FONTES, Liseane P.T.L. y Otros. "Behaviour of Asphalt Rubber Mixtures with Different Crumb Rubber and Asphalt Binder Sources"; Asphalt Rubber, p 619 – 639. 2006.

<http://portal.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?conID=37385&catID=222>

INSTITUTO DE ASFALTO. Manual para el Mantenimiento de los pavimentos. Colegios de Ingenieros de Venezuela, 1976.

MAXIL Coyopotl, Roberto y Salinas Hernández, Marco Antonio. "Ventajas y Desventajas del Uso de Polímeros en el Asfalto" Cholula, Puebla, México. 10 de enero de 2006

MEMON G. M. and Chollar, B.H. "Glass Transition Measurements of Asphalts by DSC". Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. Vol. 49, p. 601-607. 1997.

MEMON, G. Mohammed. UNITED STATES PATENT OFFICE. Modified Asphalt. Inventor:. US 6.444.731 B1. Fecha de solicitud: 24, Mayo, 2000. Estados Unidos. Fecha de publicación: 3, Septiembre, 2002.

- MERRIT, Frederick S. Manual del Ingeniero Civil. McGraw –Hill. Abril de 1998.
- MÚNERA, J. C. Álvarez-Láinez, M y Ossa, E. A. “Fabricación y análisis de asfaltos modificados con polímeros” Artículo en proceso de evaluación. 2010.
- MURPHY, M. y Otros. “Bitumens Modified with Recycled Polymers”, Materials and Structures, Vol 33, p. 438-444. 2000.
- NAPA. Revista HMAT. NAPA, noviembre-diciembre 2003.
- RADZISZEWSKI, P. “Modified Asphalt Mixtures Resistance to Permanent Deformations”. Journal of Civil Engineering & Management, Retrieved from Academic Search Complete database. 13(4), 307-315. 2007.
- ROMERO, Carmen María y Gómez, Alberto. “Propiedades Físicas y Químicas de Asfaltos Colombianos Tipo Barrancabermeja y de sus Respectivas Fracciones de Asfáltenos.” Rev. Acad. Colomb. Cienc. Vol 26 numero 98, pag. 128-132. 2002.
- RONDÓN QUINTANA, et al. Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia. En: Infraestructura Vial. no. 19, p. 10 – 20 Febrero, 2008
- SÁNCHEZ González Ángel. “ASFALTOS MODIFICADOS (Conceptualización, aplicación, control y pruebas)” Quintana Roo – México. 2005
- SANTOS, Fernandesa, M.R. y Otros. “Rheological Evaluation of Polymer-Modified Asphalt Binders”; Materials Research, Vol. 11, p. 381-386. 2008.
- STUART, Jr y Otros. UNITED STATES PATENT OFFICE. Modified Asphalt Compositions. Inventores: R. K. US 7.202.290 B2. Fecha de solicitud: 12, Noviembre, 2003. Estados Unidos. Fecha de publicación: 10, Abril, 2007.
- TALAVERA RODRÍGUEZ, Rogelio y. “Desarrollo de aditivos para asfaltos modificados con bajos contenidos de hule”. Publicación técnica No. 160. ISSN 0188-7297 México. 2001.
- TELFORD, Thomas Ltd “The Shell Bitumen Handbook”, Fifth Edition. Published September 2003.
- TRAXLER, R. V. “El Asfalto su Composición, Propiedades y Usos”, Compañía Editorial Continental, S.A. México D. C. 1962.

WARDLAW, Kenneth; SCHULER, Scott."Polymer modified asphalt binders. Estados Unidos. ASTM, 361 p. ISBN 0803114133, 9780803114135. 1992.

YAPP, Amer Margot T. y Otros. "HP-GPC and Asphalt Characterization Literature Review". Transportation Research, pubsinde.trb.org. 2009.

ZHANG, Yuxia, Li Jun, Yuzhen, Zhang. "The research of GMA-g-LDPE modified Qinhuangdao bitumen". Construction and Building Materials, Vol. 22, Issue 6, p. 1067-1073. 2008.