



Desarrollo de un asfalto altamente modificado con polímero SBS a partir de un asfalto base convencional de la refinería Ecopetrol Barrancabermeja 60-70 variando la concentración de polímero

Development of a highly modified asphalt with SBS polymer from a conventional base asphalt from the Ecopetrol Barrancabermeja 60-70 refinery by varying the polymer concentration.

Abel Eduardo Zuluaga Gómez ^a, Néstor Gómez Cruz ^b, Álvaro Correa Arroyave ^c

^a Universidad del Cauca, Colombia

^b Escuela de Ingenieros Militares, Bogotá, Colombia.

^c Universidad Santo Tomás, Bogotá

Correspondencia: alvarocorrea@usantotomas.edu.co

Recibido: Septiembre 6, 2021 Aceptado: Noviembre 10, 2021. Publicado: Diciembre 21, 2021

Resumen

El presente estudio se basó en obtener un asfalto con una recuperación elástica por torsión superior al 80%, a partir de una mezcla homogenizada de polímero SBS con asfalto Ecopetrol Barrancabermeja 60-70. Para lograr lo anterior, se procedió a realizar las pruebas de laboratorio necesarias, para comprobar que el asfalto colombiano con altos contenidos de polímero tipo SBS es compatible y a su vez cumple con lo propuesto para el desarrollo de la presente investigación, con el fin de obtener un cemento asfáltico con recuperaciones elásticas por torsión superiores al porcentaje citado anteriormente.

Ahora bien, al incorporarle 2,5%, 5,0% y 7,5% de polímero SBS a un asfalto convencional, se puede comprobar que el ligante va mejorando sus propiedades físicas hasta llegar a un asfalto altamente modificado (HiMA) el cual logra desarrollar una recuperación elástica por torsión de 91%; lo anterior se logró adicionando al asfalto un 7,5% de polímero SBS.

Así mismo, este estudio también presenta los resultados del ensayo de laboratorio donde se midió la recuperación elástica por torsión a 25°C durante 24 horas, encontrando como resultado un valor de 94%, es decir, que este tipo de asfalto (HiMA) con el 7,5% de polímero SBS añadido, continúa recuperándose a través del tiempo.

Palabras clave: Asfaltos Modificados; Elastómeros; Plastómero; Polímero; SBS.

Abstract

The present study was based on obtaining an asphalt with a torsional elastic recovery greater than 80%, from a homogenized mixture of SBS polymer with Ecopetrol Barrancabermeja 60-70 asphalt. To achieve the above, the necessary laboratory tests were carried out to verify that Colombian asphalt with high polymer content of the SBS type is compatible and in turn complies with what is proposed for the development of this research, in order to obtain an asphalt cement with elastic recoveries by torsion greater than the percentage mentioned above.

Now, by incorporating 2,5%, 5,0% and 7,5% of SBS polymer to a conventional asphalt, it can be seen that the binder improves its physical properties until it reaches a highly modified asphalt (HiMA), which manages to develop an elastic recovery by torsion of 91%; this was achieved by adding 7,5% SBS polymer to the asphalt.

Likewise, this study also presents the results of the laboratory test, where the elastic recovery by torsion was measured at 25 °C for 24 hours, finding as a result a value of 94%, that is, that this type of asphalt (HiMA), with 7,5% of SBS polymer added, continues to recover through time.

Keywords: Modified Asphalts; Elastomers; Plastomer; Polymer; SBS.

1. Introducción

Las propiedades físicas analizadas en este estudio para los asfaltos modificados con polímero fueron: 1) penetración, 2) densidad, 3) viscosidad, 4) punto de ablandamiento, 5) Grado de Desempeño (PG), 6) estabilidad al almacenamiento, 7) pérdida de masa, 8) recuperación elástica lineal (ductilómetro) y 9) recuperación elástica por torsión; de las cuales resaltamos: a) la viscosidad por ser un parámetro reológico fundamental que

muestra una respuesta compleja bajo diferentes condiciones de temperatura, esta propiedad en el asfalto tiene relación directa en la producción, colocación y compactación de la mezcla asfáltica e influye en su desempeño, por esto la medida de la viscosidad ha sido empleada para clasificar asfaltos en muchos países, adicionalmente la viscosidad es importante para caracterizar asfaltos modificados con polímero y determinar su real comportamiento reológico (newtoniano o no newtoniano) [1]; b) el punto de ablandamiento, ya que es significativo desde la óptica

del comportamiento del asfalto a altas temperaturas; c) el Grado de Desempeño [6], porque define las temperaturas máximas y mínimas que se esperan obtener en el sitio de aplicación de la mezcla asfáltica, con el fin de asegurar el desempeño adecuado para resistir las deformaciones o agrietamientos por temperatura [13], y por último, d) el parámetro más relevante, la recuperación elástica por torsión, siendo esta la principal característica a evaluar en la presente investigación, la cual permitió establecer una de las propiedades índice para determinar que el asfalto colombiano puede ser utilizado como base para producir un ligante altamente modificado y este a su vez para producir mezclas asfálticas, con base en el estudio del comportamiento físico de un asfalto modificado con altos contenidos de polímero tipo SBS [2].

2. Estado del arte

En países donde las temperaturas son extremas (Alaska, Alemania, Japón, Polonia, etc.), se vio la necesidad de mejorar los asfaltos y hacer las mezclas asfálticas más resistentes y duraderas en el tiempo ante los fuertes cambios en las temperaturas tanto en invierno, como en verano; este fenómeno hace que las mezclas presenten fisuraciones y ahuellamientos a edades tempranas debido a la acción conjunta de las cargas y los gradientes de temperatura [4]. Como solución a la anterior problemática, la firma KratonTM realizó en el año 2009 el primer estudio de asfaltos altamente modificados a partir de un polímero SBS especial, en la pista del Centro Nacional de Tecnología del Asfalto (NCAT) de la Universidad de Auburn, Alabama (Estados Unidos de América); como resultado de esta prueba, en el año 2012, se publican los resultados de los ensayos realizados, encontrándose que la solución a estos problemas se presentaban en la utilización de asfaltos altamente modificados bajo la tecnología HiMA (Highly Modified Asphalt, del inglés); estos ligantes asfálticos presentan altas recuperaciones elásticas, excelente resistencia a la fatiga, y ante la acción de las bajas temperaturas, las mezclas asfálticas presentaban un mejor comportamiento comparadas con las modificadas convencionales [10].

3. Materiales, desarrollo metodológico y experiencias

3.1 Materiales

Dado al avance presentado desde el año 2000 en la producción de cementos asfálticos modificados en Colombia y teniendo en cuenta que se presentan todos los pisos térmicos, se decidió realizar el estudio de producir un asfalto altamente modificado bajo la tecnología HiMA a partir de un cemento asfáltico base convencional de penetración 60-70, proveniente de la refinería de Ecopetrol Barrancabermeja (Santander – Colombia – Suramérica) [5] y un polímero SBS KratonTM D0243 K Polymers, que es un copolímero transparente, Diblock (dos bloques) a base de estireno y butadieno con un contenido de

poliestireno promedio del 33%; la presentación de este polímero es en pellet poroso y espolvoreado con talco [9].

3.2 Desarrollo metodológico

Las pruebas y ensayos de laboratorio de todos los asfaltos en estudio se realizaron en el laboratorio acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia – ONAC, de la prestigiosa compañía de ingeniería Pavimentos Colombia S.A.S., usando la metodología recomendada por la firma KratonTM, documento que hace parte de la serie 101[8] para la modificación de cementos asfálticos y en el cual se indican los pasos que se deben seguir para obtener un asfalto altamente modificado con polímero SBS – HiMA; por lo tanto, una vez caracterizado el cemento asfáltico base Ecopetrol 60-70 proveniente de la refinería de Barrancabermeja [5], se procedió a establecer las cantidades de asfalto y polímero para cada una de las adiciones [3]. Para esto se tomó una medida patrón para producir un galón de asfalto modificado de cada una de las fórmulas, suficiente para realizar las pruebas de caracterización física, de cada una de ellas (2,5%, 5,0% y 7,5%); en la tabla 1 se muestra el cálculo de la fórmula de trabajo de las concentraciones de polímero estudiadas.

Una vez calculadas las fórmulas de trabajo, se procedió a realizar el pesaje de cada una de las muestras de asfalto por separado, en recipientes metálicos (resistentes a altas temperaturas) y el polímero en un recipiente cerámico. Una vez preparadas las muestras, se inició con el proceso de modificación de cada uno de los asfalto-polímeros.

El proceso se ejecutó por medio de agitación mecánica (mezclado) con varillas de corte; el conjunto de recipiente metálico-asfalto se ubicó sobre una plancha de calentamiento, ajustando el controlador a una temperatura de mezclado entre 170°C y 190°C, temperaturas recomendadas por KratonTM en su manual para la modificación de asfaltos [8]. Cuando el asfalto en el recipiente metálico alcanza la temperatura recomendada, se inicia la agitación mecánica durante 30 minutos para homogenizarlo; una vez transcurrido este tiempo, se inicia la incorporación del polímero SBS a la mezcla en cuatro partes iguales, agregando cada parte a la mezcla cada 20 minutos hasta terminar de incorporar todo el polímero en el asfalto a modificar (aproximadamente una hora).

Una vez el polímero se incorpora en el asfalto, se realizan pruebas de homogenización del polímero con el ligante; esta prueba consiste en tomar una muestra del asfalto en proceso de modificación, sumergirla en un baño de agua acondicionado a 25°C, luego someterla a un estiramiento manual, verificando visualmente a contraluz qué tanto se ha incorporado el polímero (que no se vean grumos de polímero en la mezcla en proceso de agitación). Esta prueba se realizó en tiempos iguales cada 5 horas, hasta completar 15 horas, lo anterior con el fin de garantizar la total homogeneidad del asfalto modificado fabricado. Finalizado el tiempo de mezcla y homogenización, se elaboró el muestreo de cada uno de los asfaltos modificados para realizarles las pruebas de

caracterización física y de esta manera poder analizar las variaciones que experimenta físicamente un asfalto convencional al modificarlo, adicionando 2,5%, 5,0% y 7,5% de un polímero tipo SBS; estas características las encontramos en la tabla 2 [8].

Con la información extraída de la tabla 2, se elaboraron las tendencias y variaciones experimentadas en un asfalto convencional base Ecopetrol 60-70 a medida que se incorporaba polímero SBS, ilustradas en las figuras 1, 2 y 3.

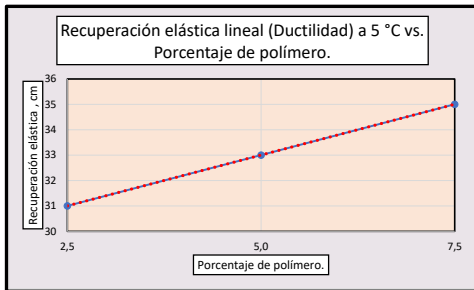


Figura 1. Recuperación elástica lineal (Ductilidad) en centímetros a 5°C vs. Porcentaje de polímero.
Fuente: Los Autores.

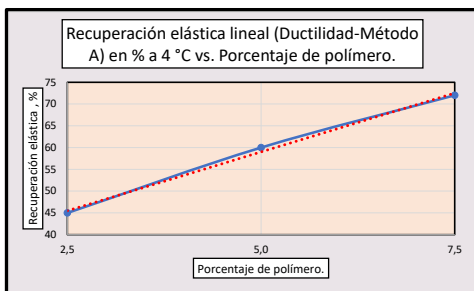


Figura 2. Recuperación elástica lineal (Ductilidad-Método A) en porcentaje a 4°C vs. Porcentaje de polímero.
Fuente: Los Autores.

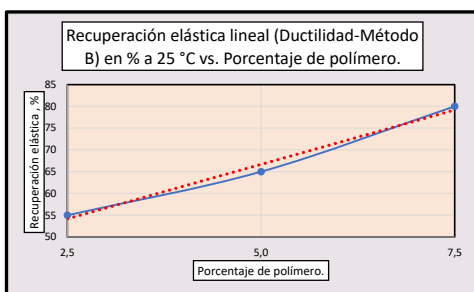


Figura 3. Recuperación elástica lineal (Ductilidad-Método B) en porcentaje a 25°C vs. Porcentaje de polímero.
Fuente: Los Autores.

Como el objetivo del presente estudio era obtener un asfalto altamente modificado con polímero SBS con recuperaciones elásticas por torsión superiores al 80%, se procedió a realizar un análisis comparativo entre los tres asfaltos modificados con polímero SBS al 2,5%, 5,0% y 7,5%, ya que para asfaltos convencionales no aplican las características de recuperación

elástica, encontrando los resultados que se presentan a continuación.

Las figuras 1, 2 y 3, muestran que a mayor cantidad de polímero añadido a la mezcla con el asfalto, mayor es su recuperación elástica lineal (Ductilómetro), a pesar de estar las muestras sometidas a bajas temperaturas (4°C y 5°C); lo anterior indica que los asfaltos modificados en este estudio tienen una excelente respuesta elástica a bajas temperaturas de servicio y su relación presenta una tendencia lineal ascendente (línea roja punteada).

En la figura 4, se muestran los resultados de la recuperación elástica por torsión, donde se puede evidenciar que un asfalto convencional Ecopetrol 60-70, al adicionarle 7,5% del polímero SBS, aumenta considerablemente su recuperación elástica por torsión, la cual superó el límite inicialmente planteado de 80% (punto rojo valor de referencia), alcanzando un valor de 91%, este resultado se obtuvo al someter la muestra de asfalto a 25°C durante 30 minutos, tal y como está especificado en la norma de ensayo INVIAS E-727-13.

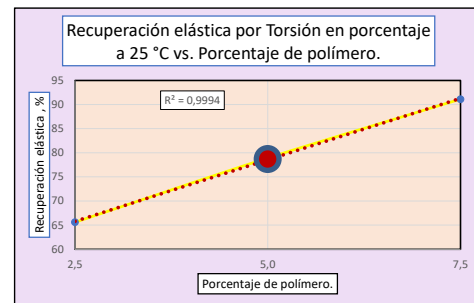


Figura 4. Recuperación elástica por Torsión en porcentaje a 25°C vs. Porcentaje de polímero.
Fuente: Los Autores.

Adicionalmente a lo anteriormente enunciado y no menos importante, se observó cómo la tendencia es lineal ascendente (línea roja de puntos) y presenta una correlación muy cercana a uno ($R^2 = 0,9994$), lo que quiere decir que a medida que se incrementa el porcentaje de polímero, la recuperación elástica por torsión va aumentando significativamente. Igualmente se realizó un ensayo de recuperación elástica por torsión a 25°C, durante 24 horas (figura 5 – línea roja), en el que se evidencia que los asfaltos estudiados en la presente investigación seguían recuperándose elásticamente; es importante anotar que la duración de la prueba no está especificada en la norma de ensayo, sin embargo, en aras de dar un valor agregado a este estudio se llevó a cabo esta prueba, la cual arrojó como resultado final un valor de 94% para un asfalto modificado HiMA con el 7,5% de polímero SBS, lo que indica que estos asfaltos modificados con la tecnología HiMA y con este tipo de polímero continúan recuperándose elásticamente a través del tiempo.

En la figura 6, se puede comprobar que cuando se añade 2,5% de polímero SBS al asfalto base, no hay una variación del PG (64-22); al momento de incrementar el polímero a 5,0% el PG se incrementa respecto al asfalto base en +24°C (PG 88-22) y cuando se aumenta el polímero a 7,5%, se notan cambios representativos en los dos rangos en +42°C y -6°C, es decir que el Grado de Desempeño para este caso es de (PG 106-28), respecto al asfalto base (PG 64-22).

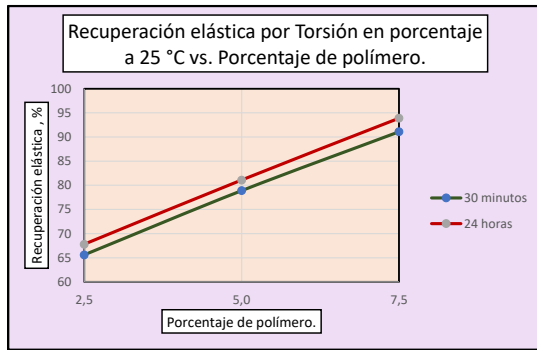


Figura 5. Recuperación elástica por torsión en porcentaje a 25°C durante 24 horas vs. Porcentaje de polímero (ensayo no especificado).
Fuente: Los Autores.

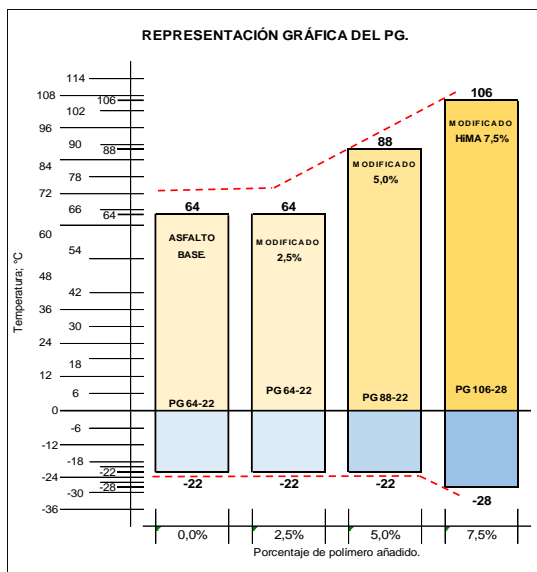


Figura 6. Representación gráfica del PG de los asfaltos en estudio.
Fuente: Los Autores.

4. Conclusiones

El asfalto base convencional Ecopetrol de penetración 60-70, proveniente de la refinera de Barrancabermeja (Santander – Colombia – Suramérica), es compatible con el polímero SBS producido por la firma Kraton™ con referencia D0243 K, y recomendado para la producción de asfaltos altamente modificados HiMA (Highly Modified Asphalt, del inglés).

El asfalto modificado con 7,5% de SBS - Kraton™ - D0243 K presenta una recuperación elástica por torsión de 91%, medido bajo la norma de ensayo “Recuperación elástica por

torsión de asfaltos modificados” de las Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras [7].

El asfalto modificado, objeto de este estudio, cumple con el parámetro mínimo de recuperación elástica por torsión mayor a 80% (91%), comprobando que el asfalto desarrollado sí se puede describir como un cemento asfáltico altamente modificado con polímero SBS, bajo la técnica HiMA.

El asfalto altamente modificado con polímero SBS – HiMA, se obtuvo con un 7,5% de adición de polímero; esta mezcla asfalto polímero presentó buenas características de recuperación elástica a 25°C lineal (Ductilómetro). Adicionalmente al analizar las demás características físicas este asfalto presentó altas temperaturas de punto de ablandamiento, penetraciones bajas, viscosidades altas, mayor Grado de Desempeño y en general presenta una buena respuesta ante los cambios de temperatura, ya que también a temperaturas bajas (4°C y 5°C), presenta una excelente recuperación elástica lineal.

El estudio realizado a nivel de laboratorio mostró que el polímero se incorporó mediante agitación de corte y no fue necesario acudir a realizar este proceso por medio de molinos de corte para la producción de un asfalto altamente modificado HiMA. El proceso de modificación en total duró 15 horas, debido a que se ejecutaron pruebas de incorporación del polímero en el asfalto (estiramiento y verificación a contraluz), en tiempos iguales cada 5 horas, hasta alcanzar el objetivo buscado.

Al analizar el Grado de Desempeño, se notó que a partir de la adición de más del 2,5% de SBS, el asfalto empieza a experimentar una ganancia de PG y para el asfalto HiMA, las temperaturas máxima y mínima en las cuales puede ser colocada la mezcla asfáltica, se incrementa notablemente en los dos rangos (+42°C y -6°C), quedando para el asfalto HiMA un PG 106-28, respecto al asfalto base PG 64-22; esto quiere decir que un asfalto altamente modificado puede ser colocado a temperaturas más extremas de trabajo.

El asfalto modificado con polímero SBS continúa recuperándose a través del tiempo. Transcurridos los 30 minutos que el ensayo original especifica, se obtuvo un resultado de 91% de recuperación elástica y 24 horas después continuó recuperándose llegando a alcanzar un valor de 94%, comprobando así que el ligante se sigue recuperando elásticamente a través del tiempo.

5. Aportes de la investigación

Es importante resaltar que el primer resultado de esta investigación fue comprobar que el asfalto de penetración 60-70, es compatible con el polímero SBS producido por la firma Kraton™, por lo que se debe ampliar esta investigación en

lo referente a construir una pista de prueba y así poder evaluar el comportamiento de estos ligantes en condiciones de clima y cargas reales.

Se comprobó que el asfalto Ecopetrol de penetración 60-70 al modificarlo con 7,5% de polímero SBS presenta una recuperación elástica por torsión de 91%, siendo este resultado superior a los registros que se tienen en Colombia para este tipo de ligantes.

Al evaluar el Grado de Desempeño de un asfalto Ecopetrol 60-70 de Barrancabermeja al adicionarle el 7,5% de polímero SBS se encontró que este puede ser colocado a temperaturas más extremas de trabajo, ya que dio como resultado un PG 106-28, por lo anterior se recomienda instalar mezclas asfálticas, producidas a partir de asfaltos altamente modificados, en climas de páramo, así mismo en climas con temperaturas elevadas como por ejemplo a nivel del mar.

Como fruto de la investigación realizada para optar al título de Magíster en Infraestructura Vial en la Universidad Santo Tomás sede Bogotá Colombia Sur América, y en aras de ampliar los resultados obtenidos del presente trabajo, se tiene previsto, elaborar futuras publicaciones, respecto a dar a conocer las mejoras en las propiedades físicas que desarrolló un asfalto base 60-70 al incorporarle un polímero tipo SBS.

Reconocimientos

A la presidencia y vicepresidencia de PAVIMENTOS COLOMBIA S.A.S., quienes dieron acceso a su laboratorio acreditado y toda la información requerida para ejecutar el presente trabajo.

A la Industria Colombiana de asfaltos S.A.S. – IncoAsfaltos® S.A.S., por toda su colaboración y suministrar las muestras de polímero SBS.

Referencias

- [1] Águila, P. (2021). Highly Modified Asphalt. [Twitter]. @caminerospereu. https://twitter.com/search?q=Highly%20Modified%20Asphalt&src=typed_query. 19 de agosto de 2021.
- [2] Arenas Lozano, H. L. (2019). Tecnología del Cemento Asfáltico. Editorial FAID.
- [3] Asphalt Institute. (2003). Background of Superpave Asphalt Mixture Design. Asphalt Institute.
- [4] E-asphalt. (2021). Asfaltos modificados. E-asphalt. <https://e-asfalto.com/asfaltos-modificados/>. 19 de agosto de 2021.
- [5] Ecopetrol. (2021). Empresa. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/>. 11 de junio de 2021.
- [6] IncoAsfaltos. (2021). Ficha técnica asfaltos para pavimentos. IncoAsfaltos
- [7] Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. (2018). Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras. Instituto Nacional de Vías. <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>. 14 de abril de 2021.
- [8] Kraton Performance Polymers, Inc. (2019). I Kraton™ D0243 K Polymer. Kraton Performance Polymers, Inc. <https://kraton.com/products/pdsDocs/polymer/D0243K.pdf>? 19 de agosto de 2021.
- [9] Kraton Performance Polymers, Inc. (2021a). Introduction. Kraton Performance Polymers, Inc. https://kraton.com/products/paving/pavements/india_caseStudy.php. 19 de agosto de 2021.
- [10] Kraton Performance Polymers, Inc. (2021b). What is SBS? Kraton Performance Polymers, Inc. https://kraton.com/products/pdf/TechPaper_AspHaltModification.pdf. 19 de agosto de 2021.
- [11] Laboratorio de Pavimentos Colombia S.A.S. (2021). Sobre nosotros. Laboratorio de Pavimentos Colombia S.A.S. <https://laboratoriopavimentoscolombia.com/>. 19 de julio de 2021.
- [12] Laboratorio Manufacturas, Procesos Industriales Ltda. (2021). Quienes somos. Laboratorio Manufacturas y Procesos Industriales Ltda. <http://www.mpi.net.co/index.php>. 19 de julio de 2021.
- [13] Montejo, A. (1998). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Universidad Católica de Colombia. <https://es.slideshare.net/carlonchосуicida/alfonso-montejo-fonseca-ingenieria-de-pavimentos>.

Tabla 1. Cálculo de la fórmula de trabajo de cada una de las concentraciones de polímero estudiadas.

FÓRMULA DE TRABAJO POR GALÓN DE ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO SBS.			
COMPONENTE.	FÓRMULA 1	FÓRMULA 2	FÓRMULA 3
ASFALTO ECOJETROL 60-70, %.	97,5	95	92,5
ASFALTO ECOJETROL 60-70, g	3690	3596	3501
POLÍMERO SBS, %	2,5	5,0	7,5
POLÍMERO SBS, g	95	189	284
PORCENTAJE TOTAL	100%	100%	100%

Fuente: Los Autores.

Tabla 2. Caracterización física del asfalto base convencional y asfaltos modificados con polímero SBS al 2,5%; 5,0%, y 7,5%

ENSAYO SOBRE EL ASFALTO MODIFICADO	UNIDAD	NORMA DE ENSAYO INVIAS 2013	RESULTADOS ASFALTOS			
			BASE ECOPEPETROL 60-70	POLÍMERO AL 2,5%	POLÍMERO AL 5,0%	POLÍMERO AL 7,5%
Penetración (25 °C, 100g, 5s)	0,1 mm	E-706	64	40	38	32
Densidad de Materiales Bituminosos Sólidos y Semisólidos - Método del Picnómetro	kg/l	E-707	1,013	1,014	1,013	1,013
Puntos de inflamación y de combustión mediante la copa abierta Cleveland (punto inflamación/flash point)	°C	E-709	304	306	305	305
Punto de ablandamiento, °C	°C	E-712	48,1	73,0	82,0	93,0
Solubilidad de Materiales Asfálticos en Tricloroetileno	%	E-713	99,96	N.A.	N.A.	N.A.
Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetro rotacional a 120°C	Pa·s	E-717	0,80	3,80	8,15	11,98
Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetro rotacional a 135°C	Pa·s	E-717	0,33	1,92	4,21	6,25
Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetro rotacional a 150°C	Pa·s	E-717	0,18	0,81	1,64	2,54
Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetro rotacional a 160°C	Pa·s	E-717		0,53	0,95	1,23
Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetro rotacional a 170°C	Pa·s	E-717		0,17	0,52	0,82
Estabilidad al Almacenamiento de Asfaltos Modificados Diferencia en el punto de ablandamiento	°C	E-726	N.A.	-1,5	-2,0	-0,3
Estabilidad al Almacenamiento de Asfaltos Modificados Diferencia entre las PENETRACIONES	0,1 mm	E-726	N.A.	3,2	2,9	2,6
RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN A 25°C, 30 MINUTOS*	%	E-727	<u>N.A.</u>	<u>66</u>	<u>79</u>	<u>91</u>
Recuperación elástica por torsión a 25°C 24 horas Ensayo experimental por fuera de la norma de ensayo.	%	E-727	N.A.	68	81	94
Método de Ensayo para Medir la Recuperación Elástica de Materiales Asfálticos Utilizando el Ductilómetro a 5°C - Valor reportado por el laboratorio de IncoAsfaltos S.A.S.	cm	E-742	N.A.	31	33	35
Método de Ensayo para Medir la Recuperación Elástica de Materiales Asfálticos Utilizando el Ductilómetro a 25°C (Método B) - Valor reportado por el laboratorio de IncoAsfaltos S.A.S.	%	E-742	N.A.	55	65	80
Método de Ensayo para Medir la Recuperación Elástica de Materiales Asfálticos Utilizando el Ductilómetro a 4°C (Método A) - Valor reportado por el laboratorio de IncoAsfaltos S.A.S.	%	E-742	N.A.	45	60	72
EFEECTO DEL CALOR Y DEL AIRE SOBRE EL ASFALTO EN LÁMINA DELGADA Y ROTATORIA						
Pérdida de masa por calentamiento	%	E-727	-0,239	-0,541	-0,622	-0,690
Penetración (25 °C, 100g, 5s)	0,1 mm	E-706	39,5	30,2	30,9	27,4
Penetración del residuo, en % de la penetración original (25 °C, 100g, 5s)	%	E-727	61,7	75,5	81,3	85,6
Punto de ablandamiento, °C	°C	E-712	54,1	77,1	87,1	98,1
ENSAYOS COMPLEMENTARIOS						
Grado de Desempeño Performance Grade - (PG)	°C	AASHTO M 320	64-22	64-22	88-22	106-28

*La fila resaltada en color amarillo muestra un asfalto altamente modificado (HiMA), con una recuperación elástica por torsión de 91%. Superior a lo encontrado en los bitúmenes de Colombia.

Fuente: Elaboración propia haciendo uso del Laboratorio de Pavimentos Colombia S.A.S. (2021, 19 de julio). Sobre nosotros. Laboratorio de Pavimentos Colombia S.A.S. [11] y el Laboratorio IncoAsfaltos (2021, 19 de julio). Quiénes somos. Laboratorio IncoAsfaltos [6].