
Modificación de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos

**Carolina Victoria Palma*, José Carlos Ortiz Cisneros, Felipe
Ávalos Belmonte, Adalí Castañeda Facio**

Doctorado en Ciencia y Tecnología de Materiales, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Blvd. V. Carranza esq. José Cárdenas Valdés, C.P. 25280, Tel. (844)4169213. Saltillo, Coah., México

Elastomer modified asphalt and its use in paving

Modificació d'asfalt amb elastòmers pel seu ús en paviments

Recibido: 1 de septiembre de 2014; revisado: 14 de septiembre de 2015; aceptado: 28 de octubre de 2015

RESUMEN

La modificación de asfaltos consiste en la adición de polímeros a un asfalto convencional con la intención de mejorar sus propiedades físico-químicas, su uso en pavimentos conlleva a mejorar el desempeño y a alargar el tiempo de vida de los mismos. Los procesos de modificación de asfaltos con polímeros naturales y sintéticos fueron patentados en 1943 sin embargo, en la década de los 30 ya existían proyectos prueba en Europa. De los diferentes materiales poliméricos, los elastómeros son los polímeros más compatibles con el asfalto, en la presente revisión bibliográfica se muestran los elastómeros más utilizados en la modificación de bitúmenes, así como una comparación de la mejora de propiedades obtenidas con el uso de éstos.

Palabras clave: Asfalto modificado; elastómeros; ligante.

SUMMARY

Asphalt modification consists in the addition of polymers to a conventional asphalt with the intention of improving their physical and chemical properties, its use leads to improved pavement performance and extend the life of the same. Processes of asphalt modification using natural and synthetic polymers were patented in 1843 however test projects were developed in Europe in the 1930s. Of all

polymeric materials, elastomers are the most compatible polymers with asphalt. In the present literature review the most widely used elastomers in the bitumen modification are described and a comparison of the improvement properties obtained by using those elastomers.

Keywords: Modified asphalt; elastomers; binder.

RESUM

La modificació d'asfalts consisteix en l'addició de polímers a un asfalt convencional amb la intenció de millorar les seves propietats fisicoquímiques, el seu ús en paviments comporta a millorar l'acompliment i a allargar el temps de vida dels mateixos. Els processos de modificació d'asfalts amb polímers naturals i sintètics van ser patentats el 1943 però, en la dècada dels 30 ja existien projectes prova a Europa. Dels diferents materials polimèrics, els elastòmers són els polímers més compatibles amb l'asfalt, en la present revisió bibliogràfica es mostren els elastòmers més utilitzats en la modificació de betums, així com una comparació de la millora de propietats obtingudes amb l'ús d'aquests.

Paraules clau: Asfalt modifecat; elastòmers; lligant.

*Autor para la correspondencia: carolinavictoria@uadec.edu.mx

INTRODUCCIÓN

El uso de asfaltos modificados con polímeros (AMP) en pavimentos surgió de la necesidad de elaborar un asfalto, también conocido como ligante o aglutinante, con mayor calidad o mejor resistencia en carreteras, debido a la presencia de vehículos con mayor número de cargas por eje, mayor presión de inflado de llantas y mayores velocidades. Las primeras aplicaciones de los AMP fueron en emulsiones para impermeabilizantes y más tarde, se empezaron a utilizar en la pavimentación, por ejemplo en riegos, que consisten en el rociado uniforme de la emulsión asfáltica como tratamientos superficiales en frío, y posteriormente en la modificación de cemento asfáltico.

El asfalto es un material bituminoso de color negro, constituido básicamente de cuatro fracciones genéricas, que representan grupos de hidrocarburos con propiedades químicas similares: saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos, conocidos como fraccionamiento SARA por sus iniciales. [1]

Este grupo de compuestos se subdividen por su polaridad en asfaltenos, que presentan características polares y son la fracción más pesada que posee el asfalto, y en saturados, aromáticos y resinas, a los cuáles se les denomina máltenos y son compuestos orgánicos de baja polaridad. En cuanto a las características físicas del asfalto, los saturados son los compuestos más ligeros y afectan negativamente el grado de variación de la viscosidad en función de la temperatura, también conocido como susceptibilidad térmica. La fracción aromática mejora las propiedades físicas del material, las resinas mejoran su ductilidad y los asfaltenos contribuyen al aumento de la viscosidad, lo cual disminuye la susceptibilidad térmica. [2]

Debido a que es difícil establecer una distinción clara entre la fase continua y dispersa, el asfalto es considerado un sistema coloidal complejo de hidrocarburos. Las primeras experiencias para conocer su estructura fueron desarrolladas por Nellensteyn [3] en 1924, cuyo modelo fue mejorado más tarde por Pfeiffer y Saal [4] en 1950.

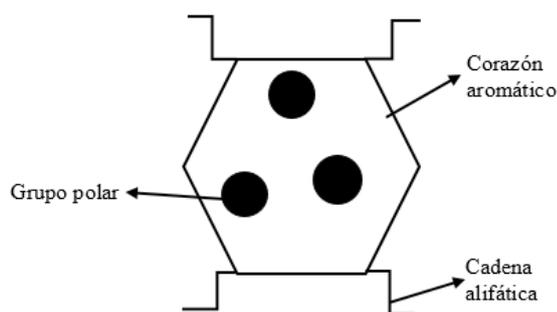


Figura 1. Estructura micelar del asfalto. [4]

El modelo adoptado para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar (Figura 1), y propone una estructura donde existen dos fases; una continua que rodea y solubiliza a los asfaltenos, denominada máltenos, y una discontinua formada por dos asfaltenos (Figura 2).

Las resinas contenidas en los máltenos son intermedias en el asfalto, cumpliendo con la función de homogeneizar y compatibilizar a los insolubles asfaltenos. [5]

La principal aplicación de los asfaltos es en la preparación de pavimentos, esta mezcla sirve para impermeabilizar la estructura, lo que lo hace poco sensible al vapor ambien-

tal y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación, así como; resistente a la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos, por mencionar algunos de sus beneficios. [6]

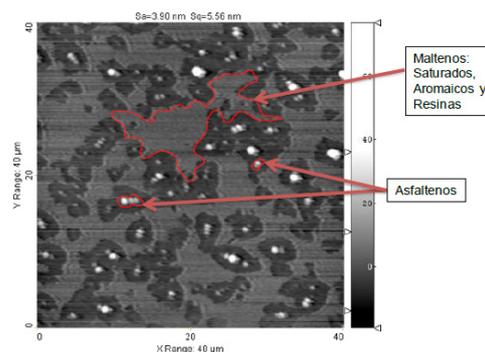


Figura 2. Estructura coloidal de un asfalto, se señalan sus constituyentes. [5]

La modificación de asfaltos es una técnica que consiste en la adición de polímeros a un asfalto convencional con el propósito de cambiar sus propiedades físico-químicas. La incorporación de un polímero adecuado modifica la susceptibilidad térmica del asfalto debido a la mejora obtenida en el comportamiento visco-elástico. [7]

El uso de AMP ha demostrado mejorar el comportamiento de pavimentos, los cuales exhiben gran resistencia a la ruptura y a la fractura térmica, disminuyen el daño por fatiga, el agrietamiento y la susceptibilidad térmica. Los aglutinantes modificados han sido usados con éxito en lugares sometidos a grandes esfuerzos, como intersecciones de avenidas muy transitadas, aeropuertos, estaciones de pesaje de vehículos y pistas de carreras. [8]

Existen diferentes tipos de polímeros que pueden ser utilizados para la modificación de asfalto, pero atendiendo a su estructura y propiedades, se clasifican de la siguiente forma para uso vial: [7]

1. Termofijos: son polímeros no solubles, formados por una reacción química que da lugar a una estructura entrecruzada, que no funden por lo cual no pueden ser recuperados para volver a transformarse.
2. Termoplásticos: son polímeros solubles que se ablandecen por acción del calor y fluyen. Son, generalmente, polímeros lineales o ligeramente ramificados.
3. Elastómeros: también conocidos como cauchos [9], son polímeros que se comportan como termofijos cuando adquieren una estructura parcialmente reticulada mediante el proceso de vulcanización, pero en ocasiones, pueden comportarse como termoplásticos.

Las características que deben cumplir los polímeros para mejorar las propiedades de los asfaltos para uso vial son las siguientes:

- Baja polaridad, para facilitar su compatibilidad con el asfalto.
- Peso molecular que permita disminuir riesgos por excesiva viscosidad y problemas de dispersión.
- Baja temperatura vítrea, para permitir mejorar los problemas de deformación a bajas temperaturas.

De acuerdo con lo anterior, son dos las familias de polímero más utilizadas en los AMP: los plásticos y los elastómeros.

Entre los polímeros elastómeros se encuentran el caucho natural (polisopreno), y los cauchos sintéticos, por ejemplo el polibutadieno como el polvo de llanta, el polisobutileno, y los poliuretanos. La particularidad de los elastómeros se debe a sus características de deformabilidad recuperable, lo que significa que pueden ser extendidos muchas veces su propia longitud, para luego regresar a su forma original sin una deformación permanente. ^[10]

Los más utilizados en las formulaciones con asfalto son:

- **Caucho natural**

El caucho natural (NR) se obtiene de cierto tipo de árboles (especies Hevea, Ficus y otras) que exudan una sustancia blanca y lechosa, el látex, cuando se hace una incisión profunda en su corteza. El látex contiene 30-36% de caucho en forma de pequeñísimas gotas en suspensión, el que es obtenido en forma sólida por coagulación mediante ácido fórmico o acético. Este caucho coagulado se procesa en máquinas provistas de cilindros rotatorios para obtener así un material laminado denominado caucho bruto. Hoy en día alcanza el 30% del mercado de los cauchos, el resto lo ocupan los cauchos sintéticos.

La forma de incorporación del NR en asfaltos para obtener dispersiones estables, se encuentra determinada por: el tipo de caucho, el tamaño de partícula, el tipo de asfalto a utilizar como matriz, lo cual está directamente relacionado con la energía de mezclado y la temperatura. ^[11]

La modificación con NR mejora la resistencia a la deformación permanente, también conocida como ahuellamiento o fluencia, y proporciona mayor ductilidad a los pavimentos. No obstante, debido a su alto peso molecular puede llegar a ser poco compatible con el asfalto. ^[12]

- **Estireno-butadieno**

El caucho de estireno-butadieno (SBR) es un copolímero (polímero formado por la polimerización de una mezcla de dos o más comonomeros) del estireno y el 1,3-butadieno. Este es el caucho sintético más utilizado a nivel mundial debido a su bajo costo, con alrededor del 60% de la producción total de cauchos sintéticos del mundo, siendo la industria del neumático la mayor demandante de este caucho. ^[13]

Con el uso de SBS en AMP se mejora la ductilidad a bajas temperaturas, aumenta la viscosidad, mejora la recuperación elástica también conocida como fatiga, así como las propiedades de adhesión y cohesión del pavimento. El beneficio del uso del SBR se debe a que las partículas son muy pequeñas y regulares, por esta razón, cuando se mezclan con el ligante, se dispersan rápida y uniformemente a lo largo de toda la masa asfáltica y forman un refuerzo de estructura homogénea en red. ^[14]

- **Estireno-butadieno-estireno**

El copolímero estireno-butadieno-estireno (SBS) cuya macromolécula está constituida por una sección corta de poliestireno, seguida por otra sección larga de polibutadieno y finalmente por otra sección corta de poliestireno. El poliestireno es un polímero duro y resistente y le da al SBS su durabilidad. El polibutadieno es un material parecido al caucho y le confiere al SBS sus características similares al caucho. ^[15]

El SBS es el polímero más apropiado para su uso en AMP no obstante presenta dificultades de procesamiento y costos elevados. Aunque la flexibilidad a alta temperatura aumenta, algunos autores señalan que existe una disminución en la fuerza y resistencia a la penetración a temperaturas elevadas. Sin embargo, el SBS es el polímero más

utilizado para modificar asfaltos, seguido por el polvo de llanta. ^[12]

Caucho etileno-propileno-dieno

El caucho de etileno propileno-dieno (EPDM) es un termosterpolímero de etileno propileno que tiene un tercer monómero insaturado que puede ser vulcanizado con azufre. Este tercer monómero entra en la molécula en una porción que oscila entre el 0.1 y 1.0 mol/kg, y en función de la proporción de dieno, se presentan características diferentes.

Las bondades principales del EPDM, son su resistencia excelente a la oxidación, al ozono y a los efectos de desgarre. Son muy flexibles, su alto módulo (1.6MPa) ^[15] permite que se puedan agregar altas concentraciones de rellenos manteniendo buenas propiedades físicas y permitiendo producir mezclas funcionalmente económicas. ^[16]

El uso de asfaltos modificados con EPDM es común para impermeabilizaciones, así como en juntas de dilatación en pavimentos.

- **SEBS**

Un estireno-etileno/butileno-estireno (SEBS) es un SBS al que se le ha sometido a un proceso de hidrogenación, mediante el que se elimina la insaturación de la cadena de polibutadieno. Este nuevo caucho tiene una alta resistencia al medio ambiente, la temperatura, las radiaciones UV, etc. sin perder las propiedades de un termoplástico, haciéndoles muy útiles en aplicaciones en las que un SBS normal no es funcional. La excelente resistencia al envejecimiento de todos los compuestos basados en SEBS es debida a la ausencia del doble enlace en la estructura polimérica. La flexibilidad en la formulación de este polímero permite la producción de amplios rangos de dureza para diferentes aplicaciones en la industria. ^[13]

El SEBS es un material termoplástico que combina exitosamente las propiedades de un elastómero junto con los bajos costos de procesamiento de los termoplásticos. En asfaltos, el SEBS mejora la resistencia al ahuellamiento en el pavimento, pero a temperaturas intermedias, presenta limitaciones en la mejora de las propiedades de fatiga. ^[17] Respecto a los procesos de modificación de asfaltos con polímeros naturales y sintéticos, se conoce que fueron patentados en el año de 1943. ^[18] Sin embargo, en la década de los 30 se empezaron a llevar a cabo proyectos de prueba en Europa, y en los 50's el látex de neopreno comenzó a utilizarse en Norte América. ^[19] A finales de los 70's, Europa estaba por encima de Estados Unidos respecto al uso de AMP, debido a que los contratistas europeos proveían garantías y se interesaban en disminuir los costos. Los altos costos para producir asfaltos modificados con polímero limitaban su uso en Estados Unidos. [20] A mediados de la década de los 80, nuevos polímeros fueron desarrollados y las tecnologías europeas comenzaron a utilizarse en Estados Unidos. ^[21, 22]

Uno de los trabajos más completos sobre asfaltos modificados fue el realizado por Collins ^[23] en 1991, en el que se logró demostrar la efectividad en la mejora de las propiedades del asfalto al ser modificado, a bajas y altas temperaturas. La formación de una estructura tipo red es muy importante y se encuentra determinada por las características propias del asfalto, el tipo de polímero y la concentración del polímero. Para estudiar esta estructura utilizaron microscopía de transmisión electrónica y barrido.

En un estudio para el Departamento de Transporte de Ohio realizado en 2001, Sargand y Kim ^[24] compararon la resistencia a la fatiga y la ruptura de 3 aglutinantes, uno sin

modificar, uno modificado con SBS y uno modificado con SBR. Encontraron que los aglutinantes modificados eran más resistentes, tanto a la fatiga como a la ruptura, a comparación del que no fue modificado, a pesar de que los tres tuvieron el mismo grado de rendimiento.

En China, Wen y colaboradores [25] estudiaron la influencia del SBS combinado con azufre en la vulcanización de las mezclas asfálticas mediante vulcanización dinámica. Entre los estudios realizados se encuentran: la penetración, el punto de reblandecimiento y la determinación de la viscosidad. Los resultados muestran que la presencia de SBS más azufre tienen un efecto benéfico en la mezcla asfáltica. En el año 2002, en Taiwan, los investigadores Chen, Lao y Tsai [26], llevaron a cabo pruebas reológicas y microscopía electrónica de barrida con la finalidad de evaluar las interacciones existentes entre el asfalto y el SBS mediante el monitoreo de cambios microestructurales de la mezcla. Encontraron que el SBS mejora las propiedades reológicas ya que forma una estructura tipo red en el aglutinante. A bajas concentraciones, el SBS actúa como un polímero disperso y no afecta significativamente las propiedades; a altas concentraciones de SBS, se empiezan a formar las estructuras tipo red se observa un aumento en las temperaturas de punto de ablandamiento y en la dureza de la mezcla.

De acuerdo a un estudio realizado en Nevada en 2003, el comportamiento de la viscosidad de mezclas modificadas con polímeros tiende a ser significativamente mejor que la de mezclas no modificadas a una temperatura de 60°C, a pesar que el grado de penetración tiene un pequeño cambio a cualquier temperatura. [27]

Polacco y colaboradores [17] llevaron a cabo una investigación en Italia con la finalidad de conocer el efecto producido por el SEBS en las propiedades de AMP. De acuerdo a los resultados, las mezclas estables se obtienen cuando el contenido de polímero es menor al 4% respecto a la masa total; en contenidos altos de polímero, las fases del material tienden a separarse durante el almacenamiento a altas temperaturas; en el sistema estudiado, en concentraciones del 5%, el asfalto modificado presenta propiedades críticas, puede ser clasificado como estable pero durante el almacenamiento, se presenta una morfología no homogénea.

En 2006 los investigadores Yildirim, Ideker y Hatlett [28], llevaron a cabo un estudio en el que verificaron la validez de la determinación de las temperaturas de mezclado y compactación por medio de las curvas reológicas normalizadas de acuerdo a la ASTM D 2493. Sus ensayos reológicos permitieron establecer una relación lineal entre los valores de viscosidad y los de temperatura, obteniendo como resultado que los valores de temperatura de mezclado y compactación para los asfaltos modificados son más altos que los requeridos por la carretera.

Tayfur y colaboradores [29], realizaron en 2007 un estudio para evaluar las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas controladas y modificadas. Utilizaron 5 aditivos diferentes: poliolefina amorfa, fibra de celulosa, fibra de celulosa mezclada con bitumen, poliolefina y copolímero estireno-butadieno-estireno. Mediante el estudio Marshall determinaron el contenido óptimo de asfalto para cada una de las mezclas. Llevaron pruebas de resistencia a la tracción indirecta, ensayos estáticos a la fluencia y ensayos de fluencia repetida. Los resultados muestran que las mezclas modificadas con SBS presentan mayor resistencia a la deformación permanente, y concluyeron que el

tipo de modificador afecta significativamente el comportamiento de deformación permanente.

En Venezuela, Arias y colaboradores [30] realizaron un estudio para modificar un asfalto utilizando SBS y azufre, obteniendo un asfalto modificado estable y homogéneo, con una recuperación elástica (ASTM D6084) de 80% y una viscosidad (ASTM D4402) de 1670 cP. Lo cual se traduce en un comportamiento más elástico del asfalto, capaz de disipar la energía generada por altas cargas y alto tránsito, resultando en pavimentos con mayor resistencia al ahuecamiento y la fatiga.

En 2008, Sengoz en colaboración con Isikyakar [31], evaluaron las propiedades y la microestructura de aglutinantes modificados con SBS y con etileno vinil acetato (EVA). Las propiedades y morfología de las muestras, fueron determinadas y caracterizadas, mediante pruebas convencionales y empíricas, así como microscopía de fluorescencia. De acuerdo a lo observado, el ligante con SBS demostró un mayor grado de mejora en la modificación a comparación del modificado con EVA, la diferencia es más pronunciada a mayores concentraciones de polímero; los valores de estabilidad Marshall para el asfalto con SBS, fueron más altos que lo de las mezclas convencionales.

En 2010, Elizondo y colaboradores [32], realizaron una investigación con el objetivo de comparar diferentes tipos de aditivos para asfalto y conocer el efecto producido por el condicionamiento y el tiempo de reposo del asfalto, evaluando sus propiedades mediante parámetros reológicos. De acuerdo a los resultados que obtuvieron, el efecto del acondicionamiento y el tiempo de reposo, juegan un papel importante en las propiedades y el desempeño de los asfaltos modificados, por lo cual recomiendan evaluar las mezclas modificadas luego de dejarlas reposar 24 horas a una temperatura de 160°C.

En la India, los investigadores Anjankumar y Veeraragavan [33] caracterizaron y compararon el comportamiento mecánico dinámico de mezclas asfálticas modificadas con SBS y NR contra el comportamiento de mezclas realizadas con aglutinante sin modificar. De acuerdo con su investigación, la modificación de asfalto utilizando SBS y NR, reduce la susceptibilidad térmica en un 10 y 9.8%, respectivamente, aunque sólo el asfalto modificado con SBS mejoró su resistencia al agrietamiento a bajas temperaturas. Se encontró que la temperatura, la frecuencia y el tipo de asfalto afectan significativamente los valores del módulo dinámico.

En 2013, investigadores de Turquía, examinaron las propiedades reológicas y mecánicas de ligantes bituminosos y mezclas en caliente modificados mediante la adición de diferentes polímeros. Utilizaron dos tipos comerciales de SBS y un EVA comercial. Todos los asfaltos modificados lograron el grado de desempeño deseado. Los valores de estabilidad más altos, fueron obtenidos por el asfalto modificado con SBS, mientras que los valores de fluencia más bajos fueron obtenidos por el asfalto modificado con EVA. Las mezclas modificadas con SBS presentan mayor elasticidad. Comparando los resultados, observaron que el uso de aditivos, mejora la resistencia al daño por humedad y al fallo por fatiga de las mezclas. [34]

Modarres [35] realizó una investigación con el fin de estudiar el efecto que tiene la temperatura sobre la resistencia y la fatiga de mezclas asfálticas modificadas con SBS. Llevaron a cabo pruebas de fatiga y resistencia a la tracción indirecta en la máquina universal de ensayos variando la temperatura de las pruebas. Los resultados obtenidos

mostraron que la incorporación de SBS disminuye la susceptibilidad térmica de las muestras. Las muestras modificadas mostraron mejor comportamiento que las muestras no modificadas en todas las temperaturas de prueba. En Colombia, Múnera y Ossa [36], estudiaron el efecto de la adición de modificadores poliméricos, como cera de polietileno, SBS y caucho molido de llanta, al asfalto. Las pruebas reológicas muestran que la adición de SBS fue la que más modificó no sólo la pendiente de la curva del módulo complejo (G^*) sino también los parámetros de factor de consistencia e índice reológico, logrando con esto que los asfaltos presentarán mayores resistencias a deformaciones permanentes. Además, los termogramas obtenidos mediante calorimetría diferencial de barrido modulada, sugieren una fuerte interacción entre el SBS y los componentes aromáticos del asfalto.

CONCLUSIONES

A pesar del alto costo en la elaboración y las dificultades en la aplicación de AMP, el uso de éstos en sistemas de pavimentación proporciona a las mezclas grandes beneficios en cuanto a resistencia a la fractura, ahuellamiento, susceptibilidad térmica y permeabilidad, lo que conlleva a prolongar el tiempo de vida del pavimento.

Se ha comprobado que los elastómeros son los polímeros que presentan mayor compatibilidad con el asfalto debido a sus propiedades elásticas, siendo el SBS el polímero que proporciona mejores propiedades a la mezcla asfáltica.

Aún hay mucho futuro en el estudio de la modificación de asfaltos ya que la compatibilidad entre los plásticos y el asfalto, no siempre es la deseada y tiende a existir una separación de material. También, actualmente se están llevando a cabo estudios con polímeros reciclados con la intención de disminuir el costo de producción y la cantidad de desechos plásticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Afanasjeva N., Puello J. "Técnicas instrumentales para la evaluación del envejecimiento en los asfaltos". Revista Iteckne. No. 6, 2009, pp. 18-28.
2. [Corbett L. "Composition of asphalt based on generic fractionation, using solvent deasphalting, elution-adsorption chromatography, and densimetric characterization". Analytical Chemistry. No. 4, 1969, pp. 576-579.
3. Subiaga A. Cuattrocchio A.; Partes fundamentales y reología de asfaltos para uso vial; XIII Congreso Ibero Latino Americano; Lisboa, Portugal; 2013.
4. Pfeiffer J., Saal R. "Asphaltic bitumen as colloid system". The Journal of Physical Chemistry. No. 44, 1940, pp. 139-149.
5. [Múnera J. MODIFICACIÓN POLIMÉRICA DE ASFALTOS. Tesis de Maestría en Ingeniería. Escuela de Administración, Finanzas y Tecnología (EAFIT). Medellín. Colombia. 2012, pp. 23.
6. Cominsky R., Huber G., Anderson M., Kennedy T. THE SUPERPAVE MIX DESIGN MANUAL FOR NEW CONSTRUCTION AND OVERLAYS. Strategic Highway Research Program (SHRP) A-407, Estados Unidos de América, 1994, capítulos 1-2.
7. Montejo A. INGENIERÍA DE PAVIMENTOS. 2ª. Edición, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2001, capítulo 12.
8. King G., Muncy H., Prudhomme J. "Polymer modification: binder's effect on mix properties". Journal of Association of Asphalt Paving Technologists A. 1999. Pp. 32-69.
9. Franta I., ELASTOMERS AND RUBBER COMPUN-DING MATERIALS: MANUFACTURE, PROPERTIES AND APPLICATIONS. Volumen 1, Elsevier, Checoslovaquia, 1989, capítulo 1.
10. Juárez D., Balart R., Ferrándiz S., García D. "Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos". Revista 3 Ciencias. No. 8, 2012, pp. 1-22.
11. Botasso H., González R., Rivera J., Rebollo O.; Utilización de cauchos en mezclas asfálticas; XVII Congreso Ibero-Latinoamericano de Asfalto; Guatemala, Guatemala; 2013.
12. [Becker Y., Méndez M., Rodríguez Y. "Polymer modified asphalt". Visión Tecnológica. No. 9. 2001, pp. 39-50.
13. Juárez D., Balart R., Ferrándiz S., García D. "Estudio y análisis de los polímeros derivados del estireno-butadieno". Revista 3 Ciencias. No. 2, 2013, pp. 1-17.
14. Bates R., Worch R., Engineering Brief No. 39, Styrene-butadiene rubber latex modified asphalt. Federal Washington, DC, 1987. Aviation Administration,
15. [VerStrate G., Lohse D. POLYMER DATA HANDBOOK. Oxford University Press, Inc. 1999, pp. 103-109.
16. Tomás M. ESTUDIO Y COMPARACIÓN DE CAUCHOS RECICLADOS Y ARTIFICIALES. Tesis de Ingeniería Técnica Industrial. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, Murcia, España. 2014, pp. 34.
17. Polacco G., Muscente A., Bondi D., Santini S. "Effect of composition on the properties of SEBS modified asphalts". European Polymer Journal. No. 42, 2006, pp. 1113-1121.
18. [Hoiberg A. BITUMINOUS MATERIALS: ASPHALT TARS AND PITCHES: ASPHALTS, PART 1. Volumen 3, Robert Krieger Publishing Co, 1979, capítulo 1.
19. King G., King H., Harders O., Arand W., Planche P. "Influence of asphalt grade and polymer concentration on the low temperature performance of polymer modified asphalt". Journal Association of Asphalt Paving Technologists (AAPT). No. 68, 1999, pp. 32-69.
20. Terrel R., Walter J. "Modified asphalt pavement materials: The European experience". Journal Association Asphalt Paving Technologists. No. 55, 1986, pp. 482.
21. [Brule B. "Polymer-modified asphalt cements used in the road construction industry: basic principles". Journal of the Transportation Research Board. No. 1535, 1996, pp. 48-53.
22. Collins J.; Thermoplastic block copolymers for the enhancement of asphaltic binders in paving application; presented at the Paving and Asphalt Transportation Conference; Albuquerque, Nuevo México; 1986.
23. Collins J., Bouldin M., Gelles R., Berker A. "Improved performance of paving asphalts by polymer modification". Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists (AAPT). No. 39, 1991, pp. 481-491.
24. Sargand S., Kim S.; Performance evaluation of polymer modified and unmodified superpave mixes; Second International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control; Auburn, Alabama; 2001.

-
25. Wen G., Zhang Y., Zhang Y., Sun K., Chen Z. "Vulcanization characteristics of asphalt/SBS blends in the presence of sulfur". *Journal of Applied Polymer Science*. No. 82, 2001, pp. 989-996.
 26. Chen J., Liao M., Tsai H. "Evaluation and optimization of the engineering properties of polymer-modified asphalt". *Practical Failure Analysis*. No. 2, 2002, pp. 75-83.
 27. Sebaaly P., Bazi G., Vivekanathn Y. "Evaluation of new pavement, and what do you get? A perpetual pavement". *Hot Mix Asphalt Technologists*. No.8, 2003, pp.30.
 28. Yildirim Y., Ideker J., Hazlett D. "Evaluation of viscosity values for mixing and compaction temperatures". *American Society of Civil Engineers, Journal of Materials Engineering*. No. 18, 2006, pp. 545-553.
 29. Tayfur S., Ozen O., Aksoy A. "Investigation of rutting performance of asphalt mixtures containing polymer modifiers". *Construction and Building Materials*. No.21, 2007, pp. 328-337.
 30. Arias L., Joskowicz P., Rojas I., Villegas C., Escobar J., Colina E.; *Asfalto venezolano modificado con polímero SBS; Cuarto Congreso Venezolano de Asfalto; Paraguána, Venezuela; 2008.*
 31. Sengoz B., Isikyakar. "Evaluation of the properties and microstructure of SBS and EVA polymer modified bitumen". *Construction and Building Materials*. No. 22, 2008, pp. 1897-1905.
 32. Elizondo F., Salazar J., Villegas E. "Caracterización de asfaltos modificados con diferentes aditivos". *Ingeniería*. No. 20, 2010, pp. 81-92.
 33. Anjankumar S., Veeraragavan A. "Dynamic mechanical characterization of asphalt concrete mixes with modified asphalt binders". *Materials Science and Engineering A*. No. 528, 2011, pp. 6445-6454
 34. Alatas T., Yilmaz M. "Effects of different polymers on mechanical properties of bituminous binders and hot mixtures". *Construction and Building Materials*. No. 42, 2013, pp. 161-167.
 35. Modarres A. "Investigating the toughness and fatigue behavior of conventional and SBS modified asphalt mixes". *Construction and Building Materials*. No. 47, 2013, pp. 218-222.
 36. Múnera J., Ossa E. "Estudio de mezclas binarias asfalto – polímero". *Revista Facultad de Ingeniería*. No. 70, 2014, pp. 18-33.