

SELECCIÓN DE MATERIALES BITUMINOSOS CON BASE EN PROPIEDADES REOLÓGICAS

Juan Camilo Múnera O.^{1}, Alexander Ossa H.²*

1: Estudiante de Doctorado en Ingeniería, Escuela de Ingeniería, Universidad Eafit. Medellín, Colombia

2: Profesor, Escuela de Ingeniería, Universidad Eafit. Medellín, Colombia

*Contacto: jmunerao@eafit.edu.co

RESUMEN

Numerosos estudios han demostrado que adicionar polímeros al asfalto para formar mezclas binarias o multicomponentes mejoran sus propiedades, logrando así obtener materiales aptos para aplicaciones en las que un asfalto crudo no desempeñaría un buen trabajo. Sin embargo, para asfaltos modificados en general, aparece el interrogante de cómo seleccionar adecuadamente mezclas que brinden una óptima relación de propiedades. Mundialmente se han desarrollado técnicas de selección de materiales que incluyen diferentes estrategias que ayudan a tomar decisiones adecuadas para la escogencia de un material idóneo. Dentro de estos métodos de selección de materiales esta el método desarrollado por Ashby y colaboradores que incluye el desarrollo y análisis de gráficos de propiedades de materiales, en cuyos ejes se ubican valores de propiedades y en su interior se pueden situar líneas guías conocidas como índices del material, brindando una herramienta que facilita una óptima selección. En este trabajo se analizaron mezclas multicomponentes de asfalto con tres diferentes polímeros modificadores. De las características y propiedades de estas mezclas, se generaron gráficos de propiedades de asfaltos modificados que permitieron relacionar de manera simple propiedades como penetración (Pen), punto de ablandamiento (PA) y parámetros reológicos. Además sobre el gráfico Pen vs PA se trazaron líneas guía que representan el índice de penetración (IP) siendo este un parámetro frecuentemente utilizado como clasificador de la características termomecánicas del asfalto. Los gráficos de selección son descritos y analizados en un esfuerzo por brindar herramientas apropiadas y fáciles de utilizar para la selección de este tipo de materiales.

Palabras Clave: *Asfaltos modificados, Ashby, Selección de materiales*

ABSTRACT

Several studies have shown that addition of polymers to bitumen in order to obtain binary or multicomponent blends can improve their final properties, achieving materials with better properties than pure bitumen. Despite the good properties obtained by polymer modified bitumens, there still remains the problem of defining optimum amounts of modifiers to get the “best” material for an intended application. Ashby and co-workers have developed materials selection strategies by means of graphical approaches that are widely used due to its simplicity and good results. This work analyze multicomponent bitumen blends obtained by addition of three different polymer modifiers and material properties charts following Ashby’s methodology were plotted based on the measured properties of these modified bitumens. These charts were useful to relate in a simple way properties as penetration (Pen), softening point (PA) and

rheological parameters. The charts were described and analyzed in an effort to provide appropriate and accessible tools for materials selection process for this kind of materials.

Key words: *Polymer Modified Bitumen, Ashby's Approach, Materials Selection*

1 INTRODUCCIÓN

Optimizar y seleccionar materiales y mezclas para aplicaciones específicas ha sido uno de los objetivos principales de los ingenieros en el campo del procesamiento de materiales durante siglos. En el caso de la obtención de asfalto modificado con polímeros (BMP) no es una excepción. Diferentes estudios han demostrado que adicionar polímeros al asfalto para obtener mezclas binarias [1, 2, 3] o multicomponentes [4, 5] puede mejorar las propiedades finales de los asfaltos logrando obtener materiales con propiedades finales para aplicaciones que asfaltos puros por sí solos no resistirían. Sin embargo, para mezclas de asfalto multicomponentes un inconveniente puede surgir: elegir la composición óptima de algún polímero modificador de asfalto con la mejor relación entre dos (o más) propiedades especificadas. El proceso de selección de materiales surge de la incertidumbre que representa tener disponible miles [6] de materiales de ingeniería prestos a ser utilizados en alguna aplicación haciendo que la decisión de seleccionar un material por parte de ingenieros o diseñadores no sea sencilla. En general existen varios métodos de selección de materiales [7, 8]. Entre los cuales está el método de selección conocido como acercamiento de Ashby que actualmente es una de las más populares utilizadas para este tipo de problemas de selección [9, 10]. Este acercamiento se divide en cuatro pasos: translación, clasificación, ranking y documentación. Los primeros dos corresponden a las primeras filtraciones de materiales que se hacen dentro del proceso de selección. El último paso, tiene como objetivo hacer una revisión de la literatura acerca de cómo los materiales escogidos han sido utilizados en la aplicación requerida. Sin embargo, un punto importante dentro de la etapa de ranking es el referente a limitar la selección de materiales en función de su capacidad de reaccionar de forma apropiada a requerimientos de diseño que en muchos casos éstos pueden demandar satisfacer dos o más propiedades. Por lo anterior Ashby propuso gráficos de propiedades de materiales para la selección (GSM) [11, 12]. En estos diagramas se ubican valores de propiedades en sus ejes y en su interior se pueden situar líneas guías conocidas como índices del material que pueden ser una propiedad o una relación de ellas. [11]. La importancia de los procedimientos propuestos en la aproximación de Ashby radica en que utilizar bases de datos tabuladas de propiedades de materiales para un proceso de selección no es un procedimiento evidente y puede volverse engorroso a la hora de comparar múltiples propiedades [13]. En este trabajo se estudian diferentes mezclas de asfalto, obtenidas agregando al asfalto crudo tres diferentes polímeros: cera de polietileno (CPE), caucho molido de llanta (CR) y copolímero de estireno-butadieno-estireno (SBS), siguiendo un diseño experimental de mezclas. Los diferentes materiales se evaluaron mediante ensayos de penetración (Pen), punto de ablandamiento (PA) y ensayos reológicos. Los procedimientos anteriores fueron útiles para identificar diferentes niveles de modificación. Los resultados de las mediciones expresadas en valores se utilizaron para desarrollar gráficos de propiedades de materiales con el fin de que se utilicen como una herramienta eficaz para seleccionar mezclas de asfalto modificados con polímeros para satisfacer requisitos de diseño.

2 METODOLOGÍA

Como material base para la modificación con polímeros se utilizó un asfalto con un grado de penetración 80/100 de origen Colombiano. Las mezclas se realizaron siguiendo un diseño de mezclas de tipo centroide simple, donde el asfalto se mantuvo constante en todas las mezclas con un 85%p/p. Los polímeros variaron su proporción hasta llegar a 15% p/p. La tabla 1 muestra las mezclas desarrolladas.

Tabla 1. Composición en % p/p de mezclas de asfalto polímero.

Mezcla	Asfalto	CR	SBS	CPE	Mezcla	Asfalto	SBS	SBS	CPE
MC 1	85,00	15,00	0,00	0,00	MC 6	85,00	0,00	7,50	7,50
MC 2	85,00	0,00	15,00	0,00	MC 7	85,00	11,24	1,88	1,88
MC 3	85,00	0,00	0,00	15,00	MC 8	85,00	1,88	11,24	1,88
MC 4	85,00	7,50	7,50	0,00	MC 9	85,00	1,88	1,88	11,24
MC 5	85,00	7,50	0,00	7,50	MC 10	85,00	5,00	5,00	5,00

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2 se presenta un gráfico de propiedades del material que relaciona la penetración y punto de ablandamiento.

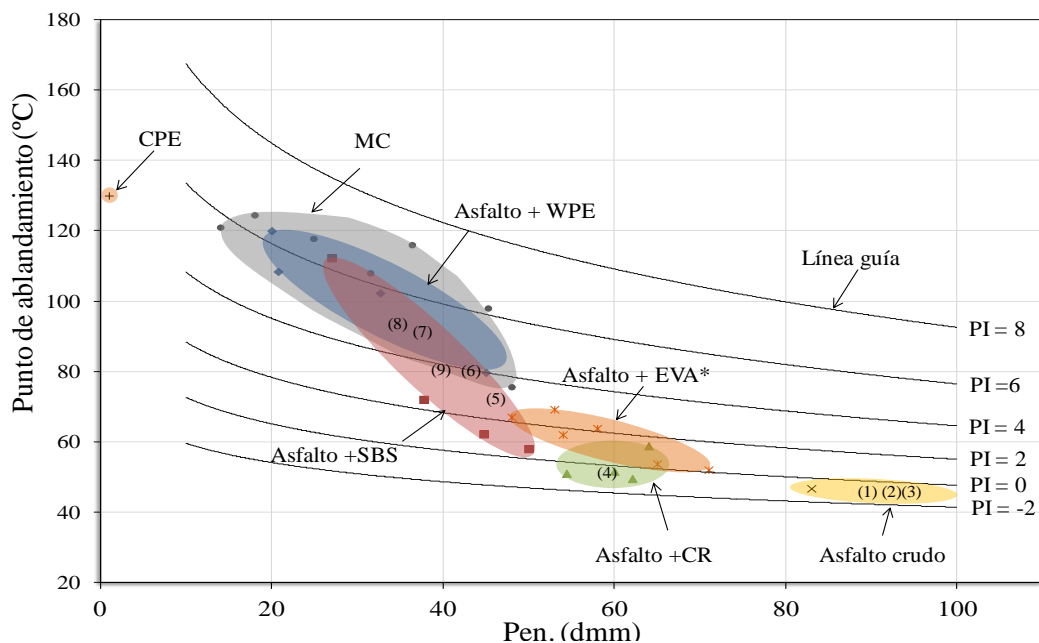


Figura 2. GSM; PA y Pen. (* Valores obtenidos de otros estudios [17])

La figura 3 muestra el diagrama de propiedad correspondiente a R_p y ω_p para las todas las mezclas estudiadas. La figura 4 presenta el costo relativo de obtener un valor de IP deseado.

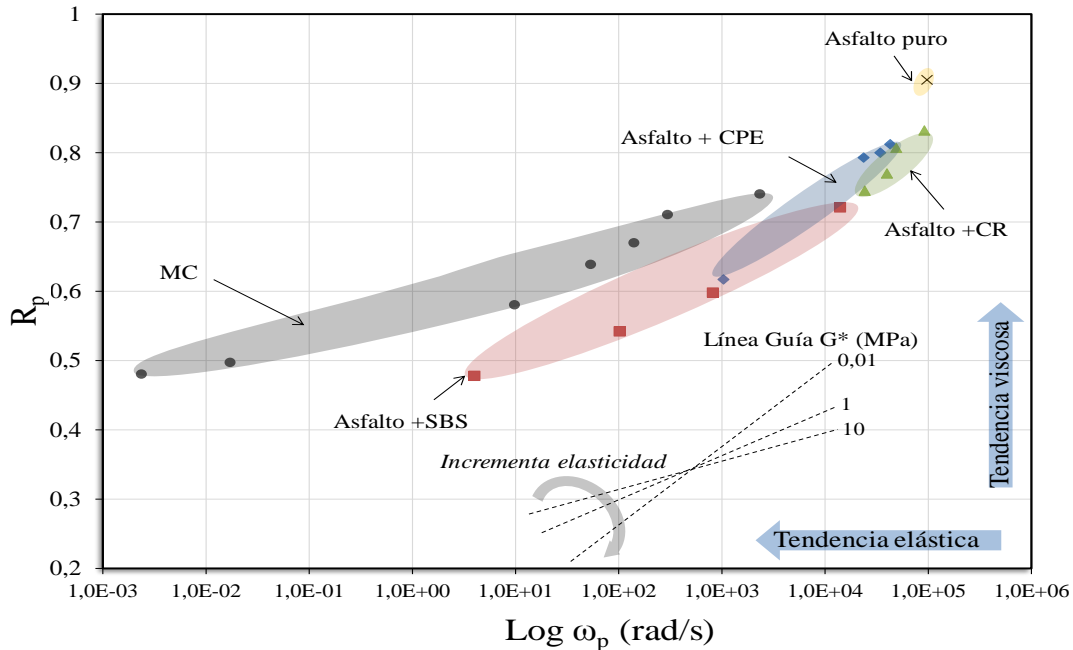


Figura 3. Gráfico de propiedades parámetros reológicos.

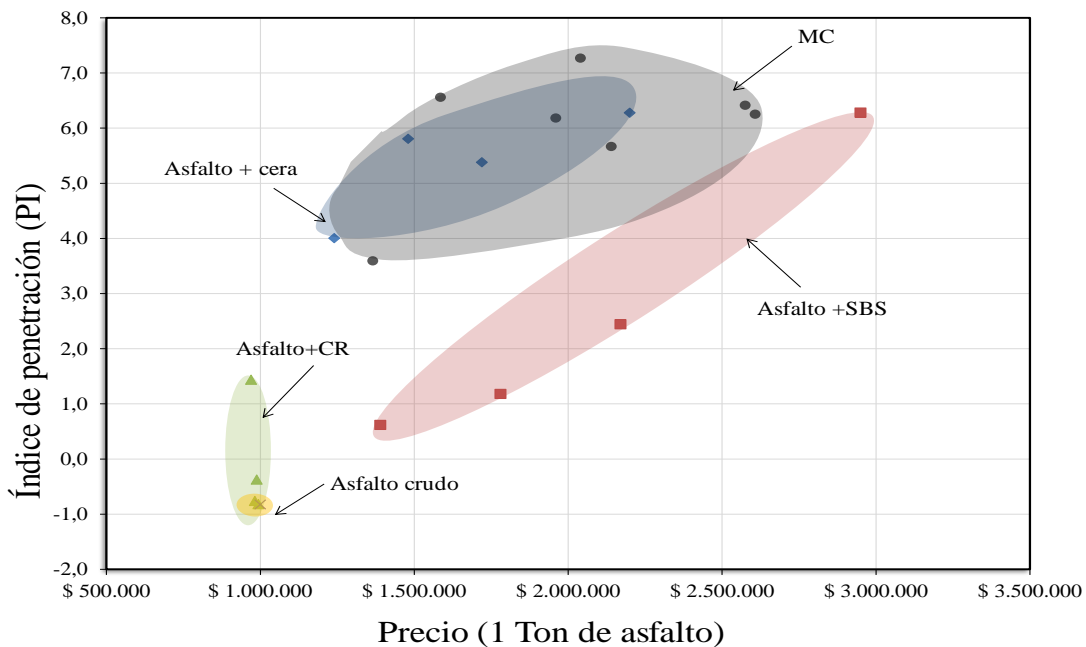


Figura 4. GSM; Índice de penetración respecto al costo relativo de mezcla.

Los ensayos mostrados en la figura 2 son comúnmente utilizados para identificar las características de los asfaltos. Un número de Pen. alto identifica un asfalto blando, mientras que un número bajo identifica un asfalto duro. El PA brinda una idea de la susceptibilidad térmica del material [14]. A pesar de que estas pruebas no brindan información física o química del asfalto o sus mezclas, son un buen indicador de los efectos de modificación que poseen los diferentes polímeros utilizados. En la figura también se incluye líneas que representan diversos índices de penetración (IP). El IP brinda una clasificación del comportamiento reológico del asfalto, y se

considera que es un buen indicador del tipo de material que es asfalto. Generalmente, el IP varía entre -2.6 a 8 cuando se incluyen todos los tipos de asfalto, pero típicamente se encuentra que entre -2 y 2 están los asfaltos grado pavimento. De igual forma, asfaltos con el mismo PI tendrán igual comportamiento reológico, es decir, se opondrán de manera similar a perturbaciones de tipo termo-mecánico. [15]. Los números dentro de la figura indican resultados obtenidos por otros autores para mezclas similares [16, 17] mostrando que estos gráficos son aplicables a asfaltos provenientes de otras fuentes. En el caso de la figura 3 el parámetro ω_p se relaciona con la frecuencia de transición en la que el material pasa de un comportamiento viscoso a un comportamiento sólido elástico; es decir, entre más bajo sea este valor de ω_p el material presentará un comportamiento elástico a velocidades bajas significando materiales con poca tendencia a fluir incluso si están sometidos a cargas constantes durante largos periodos. Por su parte el parámetro R_p varía entre valores de 0 a 1. Entre más cerca R_p este de 0 más elástico es el material y entre más este valor se acerque a 1 el material es más viscoso. Ambos parámetros obtenidos luego de ajustar valores experimentales de del modulo complejo (G^*) a un modelo de potencia. Por ejemplo, en un proceso de selección de asfaltos modificados y cuyos requerimientos de diseño estipulen la necesidad de buscar materiales con un comportamiento viscoso, se seleccionarían materiales de la parte superior derecha del gráfico. Mientras que los materiales más duros (rígidos) se pueden encontrar en la parte inferior izquierda. En este gráfico las líneas guías representan valores de la propiedad modulo complejo (G^*) que es una medida de rigidez. En el gráfico se observa que las mezclas con SBS y MC, en general, presentan valores de módulo más altos (pendientes mayores según líneas guía) infiriendo que estos materiales cambian a un comportamiento más elástico comparado con el las mezclas con CPE y CR. Por último, la figura 4 es un ejemplo de un gráfico de selección desarrollado en este trabajo que combina dos características: Índice de Penetración (IP) y costo relativo de una tonelada de material. Este tipo de gráficos es hace importante ya que permite identificar de manera simple el costo de utilización de un material modificado dependiendo de su beneficio en términos de características reológicas. Un punto interesante es evidente que es posible obtener materiales con un alto valor de IP a costos inferiores, utilizando MC. También se puede inferir del gráfico que las MC son más eficientes que el asfalto modificado solamente con el copolímero SBS debido a que un rango entre los 1'200.000 a 2'300.000COP se obtuvieron asfaltos MC más económicos y con PI de igual o mayor valor. Igualmente las MC y con los asfaltos con CPE mostraron ser los materiales más económicos y con los valores de PI más altos. Sin embargo, con las mezclas multicomponentes se obtuvo la relación más eficiente entre la propiedad índice de penetración y el precio por tonelada.

3 CONCLUSIONES

Mezclas multicomponentes de asfalto se han estudiado y caracterizado mediante penetración, punto de ablandamiento y ensayos reológicos. Los resultados se utilizaron para desarrollar gráficos de selección siguiendo un acercamiento de Ashby para asfaltos modificados con polímeros. Estos sirvieron para tener una visión general de las propiedades tradicionales (punto de ablandamiento y penetración) y reológicas del asfalto. Además, el gráfico que relaciona el índice de penetración respecto al costo-relativo de la mezcla fue de utilidad para identificar el costo relativo de obtener una propiedad de asfalto como PI. También estos diagramas permiten obtener mezclas multicomponentes adecuadas para varias solicitudes, como la penetración, punto de ablandamiento o el carácter reológico.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Collins, J.H., Bouldin, M.G., Gelles, R., y Berker, A. "Improved Performance of Paving Asphalts by Polymer Modification" , Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 60, p. 43-79, 1991.
2. Da silva, L., De Camargo, M., De Alencastro I. y Medeiros Cardoso, N., "Study of rheological properties of pure and polymer-modified Brazilian asphalt binders", Journal of Materials Science, Vol. 39, p. 539– 546, 2004.
3. Jin, H., Gao, G., Zhang, Y., Zhang, Y., Sun, K. y Fan, Y. "Improved Properties of Polystyrene-Modified Asphalt Through Dynamic Vulcanization", Polymer Testing, Vol. 21, p.633-640, 2002.
4. González, V., Martínez-Boza, F., Navarro, F., Gallegos, C., Pérez-Lepe, A. y Páez, A., "Thermomechanical properties of bitumen modified with crumb tire rubber and polymeric additives", Fuel Processing Technology, Vol. 91, p. 1033-1039, 2010.
5. Polacco, G., Berlincioni, S., Biondi, D. y Stastna, J., "Asphalt modification with different polyethylene-based polymers", European Polymer, Vol. 41, p. 2831-2844, 2005.
6. Ashby, M., Bréchet, Y., Cebon D. y Salvo, L., "Selection strategies for materials and processes", Materials and Design, Vol. 25, p. 51-67, 2004.
7. Karande, P., Kumar Gauri, S. y Chakraborty, S., "Applications of utility concept and desirability function for materials selection", Materials and Design, Vol. 45, p. 349-358, 2013.
8. Bahraminasa, M. y Jahan, A., "Material selection for femoral component of total knee replacement using comprehensive VIKOR", Materials and Design, Vol. 32, p. 4471-447, 2011.
9. Chauhan, A. y Vaish, R., "A comparative study on material selection for micro-electromechanical systems", Materials and Design, Vol. 41, p. 177-181, 2012.
10. Cebon, D. y Ashby, M., "Computer-aided materials selection for mechanical design", Met Mater, Vol. 4, p. 646-648, 1992.
11. Ashby, M., "Materials Selection in Mechanical Design", Oxford, Butterworth-Heinemann, 2011.
12. Ashby, M., "Multi-objective optimization in material design and selection", Acta mater, Vol. 48, p. 359-369, 2000.
13. Sapuan, S., "A knowledge-based system for materials selection in mechanical engineering design", Materials and Design, Vol. 22, p. 687-695, 2011.
14. Lesueur, D., "The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification, Advances in Colloid and Interface Science", Advances in Colloid and Interface Science, Vol. 145, p. 42-82, 2009.
15. Johnson, C., Bahia, H. y Wen, H., "Evaluation of Strain-Controlled Asphalt Binder Fatigue Testing in the Dynamic Shear Rheometer" 4th international SIIV congress, Palermo, 2007.
16. Airey, G., "Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens", Fuel, Vol. 82, p. 1709-1719, 2003.
17. García-Morales, M., Partal, P., Navarro, F., Martínez-Boza, F.M., Malcolm, R. y Gallegos, C., "The rheology of recycled EVA/LDPE modified bitumen", Rheologica Acta, Vol 43, p. 482-490, 2004.