

ESTUDIO DEL EFECTO DE CERAS REDUCTORAS DE LA VISCOSIDAD EN UN BETÚN MODIFICADO CON CAUCHO

Rodríguez-Alloza, Ana María
Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, España
anamaria.rodriguez.alloza@upm.es

Gallego, Juan
Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, España
juan.gallego@upm.es

Ignacio Pérez
Universidade da Coruña
A Coruña, España
ignacio.perez1@udc.es

Resumen

Debido a una creciente preocupación sobre el calentamiento global, la industria de las mezclas bituminosas está haciendo un constante esfuerzo para lograr disminuir sus emisiones mediante la reducción de las temperaturas de fabricación y puesta en obra sin que se vean comprometidas las propiedades mecánicas de las mezclas bituminosas. El uso de mezclas con caucho de neumáticos ha logrado demostrar que estas mezclas pueden ser económicas, ecológicas y que mejoran el comportamiento de los pavimentos. Sin embargo, las mezclas con betunes de alto contenido en caucho presentan un inconveniente: su fabricación exige mayores temperaturas de mezclado y puesta en obra debido a la elevada viscosidad causada por la presencia masiva de caucho, siendo la emisión de gases de efecto invernadero mayor que la de las mezclas bituminosas convencionales. Este artículo presenta un estudio realizado sobre el efecto de cuatro aditivos reductores de la viscosidad de naturaleza orgánica añadidos a un betún modificado con un 15% de caucho. Los resultados del estudio indican que los aditivos logran disminuir la viscosidad, aumentar la temperatura de reblandecimiento y disminuir la penetración. Sin embargo, no tienen un claro efecto en el ensayo de recuperación elástica y de ductilidad a 25°C.

Resumo

Devido a uma crescente preocupação com o aquecimento global, a indústria betuminosa está fazendo um esforço constante para atingir emissões mais baixas, reduzindo a temperatura de fabricação e aplicação sem propriedades mecânicas comprometidas de misturas betuminosas. O uso de misturas de borracha de pneus não foi capaz de mostrar que essas misturas podem ser econômicas, ecológicas e melhorar o comportamento do pavimento. No entanto, as misturas de betume com elevado teor de borracha presente uma desvantagem: o seu fabrico requer altas temperaturas de mistura e de aplicação, devido à elevada viscosidade, causada pela presença de massa de borracha, com a emissão de gases com efeito de estufa do que o maior que a mistura de

asfalto convencional. Este trabalho apresenta um estudo sobre o efeito de quatro redutor da viscosidade dos aditivos orgânicos adicionados a um betume modificado com 15% de borracha. Os resultados indicam que os aditivos são capazes de reduzir a viscosidade, aumentar a temperatura de amolecimento e reduzir a penetração. No entanto, eles têm um efeito claro no teste de recuperação elástica e a ductilidade a 25° C.

INTRODUCCION

En los últimos años, la protección ambiental, el ahorro de energía y el desarrollo sostenible se han convertido en importantes temas globales. En la construcción de carreteras, nuevas tecnologías como las mezclas semicalientes (WMA) y las mezclas con caucho de neumáticos se han desarrollado activamente para promover el ahorro de energía y la protección del medio ambiente.

El triturado de caucho de neumáticos se ha estado utilizando como un material respetuoso con el medio ambiente que proporciona pavimentos con un buen comportamiento mecánico, disminuye el ruido ocasionado por el tráfico así como los costes de mantenimiento y aumenta la vida del pavimento (Ruth y Roque, 1995; Liang y Lee, 1996; Huang et al, 2002). Sin embargo, la fabricación de mezclas con caucho requiere aumentar las temperaturas de fabricación hasta 180°C (Akisetty et al, 2009, 2010 y 2011) debido a que el caucho confiere gran viscosidad al ligante y por ello el betún es más sensible a la disminución de la temperatura (CEDEX, 2007). Desde el punto de vista técnico, se han propuesto distintas soluciones para conseguir rebajar estas temperaturas. Entre estas soluciones se encuentran las mezclas semicalientes, que permiten reducir las temperaturas de fabricación y puesta en obra al reducir la viscosidad de los betunes usando aditivos orgánicos, aditivos químicos o procesos de espumación (Hurley y Prowell, 2005; D'Angelo et al).

Si la tecnología de las mezclas semicalientes se aplica a de los betunes con caucho, se podrían producir mezclas con buenas propiedades y un menor coste e impacto ambiental. Aunque hay numerosos estudios de betunes de mezclas semicalientes, apenas se han realizado estudios de betunes y mezclas semicalientes con caucho de neumáticos (Akisetty et al, 2009; Wang et al 2012).

En este trabajo se presentan los resultados de los ensayos de viscosidad dinámica, punto de reblandecimiento, penetración, ductilidad a 25°C y recuperación elástica de betunes con un 15% de caucho y los correspondientes ligantes de control. Los porcentajes de aditivos añadidos han sido 0%, 2% y 4%.

ESTUDIO EXPERIMENTAL

El betún usado en este estudio ha sido un B 50/70, betún asfáltico que permite la fabricación y puesta en obra de las mezclas asfálticas a las temperaturas habituales. A este betún se le añade un 15% en peso de caucho para obtener un betún de alta viscosidad modificado con caucho. Se ha usado un único lote de polvo de caucho procedente de la trituración mecánica de neumáticos fuera de uso a temperatura ambiente.

Los aditivos seleccionados para este trabajo fueron aditivos de tipo orgánico, ceras que se usan para modificar la viscosidad del betún y, por lo tanto, reducir la temperatura de fabricación y compactación de las mezclas bituminosas. El primer tipo de cera, A1, es una cera Fisher Tropsch o cera sintética que se crea durante el proceso de gasificación de carbón, la segunda, A2, es una cera Montana obtenida por extracción con disolvente de ciertos tipos de lignito, la tercera, A3, es también una cera Montana mezclada con una amida de ácido graso y la cuarta y última, A4, es puramente una amida de ácido graso.

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

Viscosidad

Cada betún se ensayó usando un viscosímetro rotacional Brookfield. La viscosidad se midió en el rango de temperaturas más amplio posible de modo que se pudiera observar con mayor claridad el fenómeno de la disminución de la viscosidad debido a la incorporación del aditivo. La Norma usada en este ensayo fue la UNE-EN 13302:2010 (Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la viscosidad dinámica de los ligantes bituminosos usando un viscosímetro de rotación de aguja. Los resultados obtenidos se resumen en las Figuras 1-9. En las figuras B+15%C se referirá al betún B 50/70 al que se le ha añadido un 15% de polvo de caucho en peso.

Tal y como se puede observar en la Figura 1, la adición de 15% de polvo de neumático en un betún B 50/70 aumenta la viscosidad del asfalto en gran medida y, consecuentemente, aumentarán las temperaturas de fabricación y de compactación, siendo este el principal inconveniente de los betunes modificados con caucho. En la Figura 2 se presenta la influencia del aditivo A1 en la viscosidad dinámica en un betún sin caucho. Las ceras Fisher Tropsch tienen puntos de fusión entre 85°C y 115°C (D'Angelo et al, 2008). Se puede observar que a partir de los 100 °C se produce un cambio ya que, al fundirse la cera, las viscosidades disminuyen, quedando la curva de 4% de la cera A1 por debajo de la del 2%. La adición de cera A2 (Figura3) hace disminuir la viscosidad. Se puede observar que el cambio se produce entre los 110-115° C tal y como se preveía (Drüschner, 2009; Damm et al, 2002) y que la curva del 4% queda levemente por debajo de la del 2%. Con la cera A3 (Figura 4) el cambio de viscosidades se produce entre los 90 y los 100°C, puesto que este tipo de cera tiene un punto de fusión más bajo que las ceras Fisher Tropsch (D'Angelo et al, 2008). En este caso también se puede observar que la curva del 4% queda por debajo de la del 2%. En cuanto al efecto de la cera A4 (Figura 5) es el mismo que el descrito anteriormente salvo que el descenso de viscosidad ocurre a una temperatura más alta, por encima de los 120°C, ya que este tipo de cera tiene un punto de fusión más alto (Hirsch, 2007; Wölfe y Orklamünder, 2007).

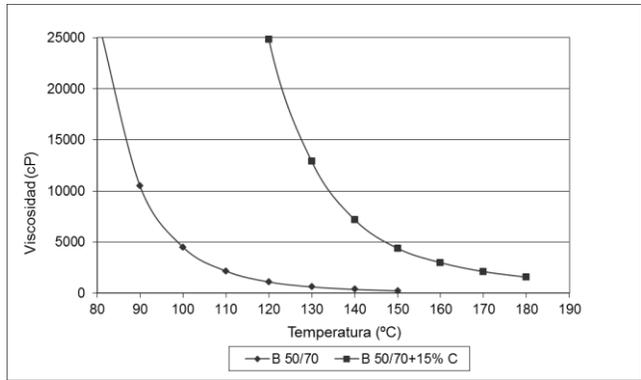


Figura 1: Influencia del caucho en el betún B 50/70

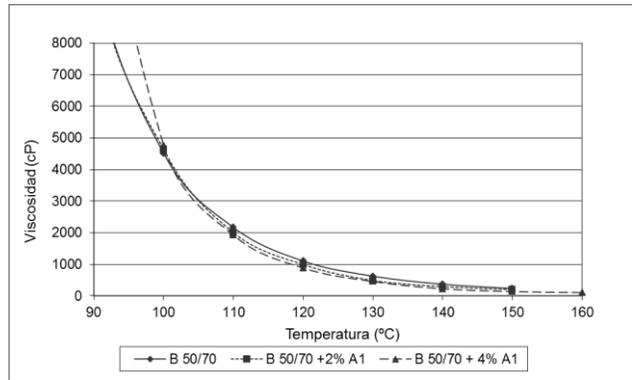


Figura 2: Influencia del aditivo A1 en la viscosidad del betún B 50/70

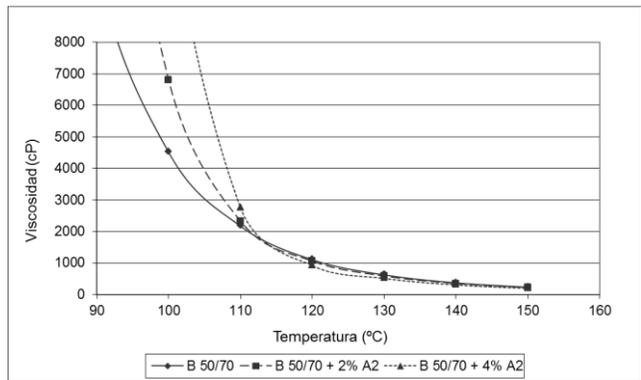


Figura 3: Influencia del aditivo A2 en la viscosidad del betún B 50/70

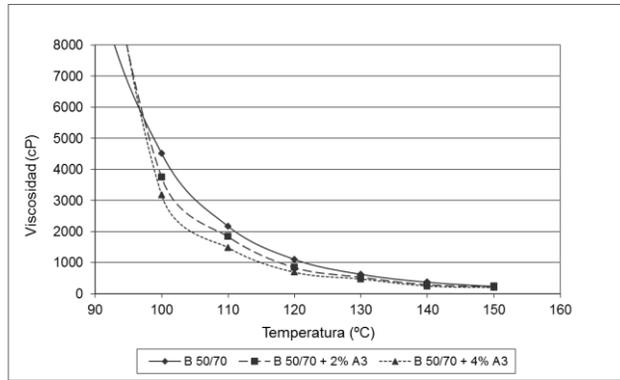


Figura 4: Influencia del aditivo A3 en la viscosidad del betún B 50/70

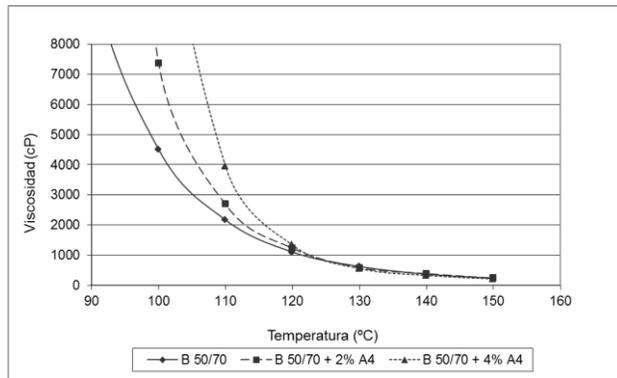


Figura 5: Influencia del aditivo A4 en la viscosidad del betún B 50/70

Las Figuras 6-9 muestran la influencia de los aditivos en betunes con un 15% de caucho. Se puede observar que con todos los aditivos, la viscosidad en betunes con 15% de caucho disminuye, más cuanto mayor es el contenido de aditivo, lo cual indica que cada uno de ellos tiene el potencial de reducir la temperatura de mezcla y compactación de las mezclas bituminosas con caucho.

La viscosidad del betún con caucho que contiene el aditivo A1 (Figura 6) disminuye en proporción a la cantidad de aditivo ya que la viscosidad es más baja cuando el contenido de cera A1 es del 4%. En el caso de la ceras A2 y A3 (Figuras 7 y 8), la viscosidad decrece considerablemente, especialmente con se ha añadido un 4%. La cera A4 (Figura 9) disminuye considerablemente la viscosidad cuando se ha añadido un 4% al betún, sin embargo, la adición de un 2% produce un efecto menos pronunciado.

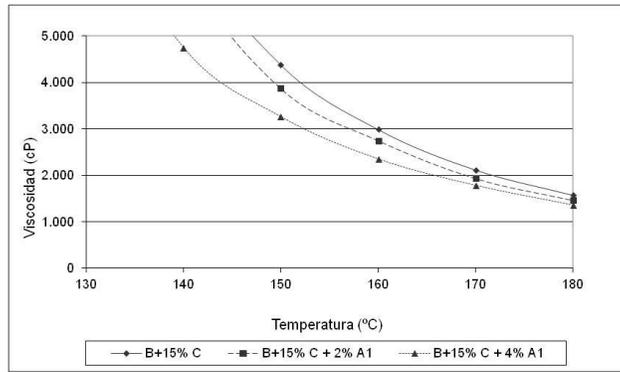


Figura 6: Influencia de A1 en la viscosidad del betún B 50/70 modificado con un 15% de caucho

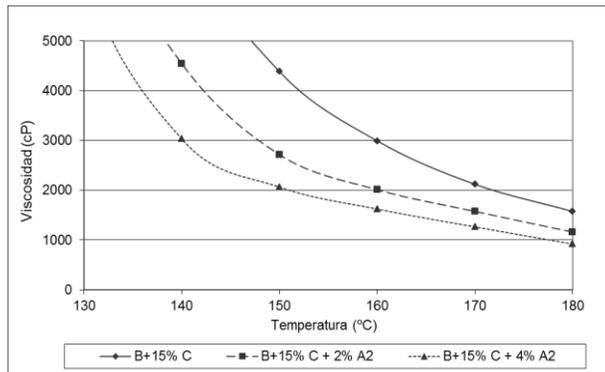


Figura 7: Influencia de A2 en la viscosidad del betún B 50/70 modificado con un 15% de caucho

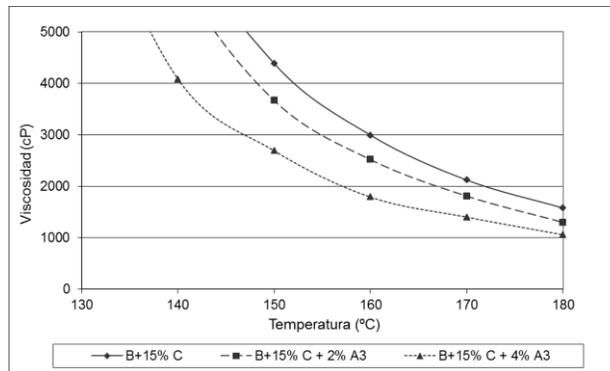


Figura 8: Influencia de A3 en la viscosidad del betún B 50/70 modificado con un 15% de caucho

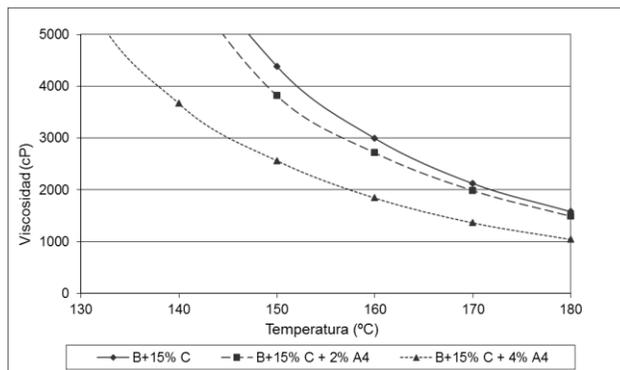


Figura 9: Influencia de A4 en la viscosidad del betún B 50/70 modificado con un 15% de caucho

Al añadir los aditivos a un betún B 50/70 y a un betún B 50/70 con un 15% de caucho se produce una bajada de la viscosidad que se traducirá en una bajada de las temperaturas de fabricación de las mezclas bituminosas. Para estimar teóricamente cuánta temperatura permiten hacer descender estos aditivos se han hecho unos cálculos tomado como referencia que la mezcla idónea del B 50/70 con los áridos para fabricar las mezclas bituminosas se produce cuando la viscosidad del betún es próxima a los 180 cP (mPa.s); valor que se alcanza a una temperatura de unos 170°C y que para un betún B 50/70 con un 15% de caucho será próxima a los 1.500 cP (mPa.s); valor que se alcanza a una temperatura de unos 180°C. El resumen de estos cálculos se encuentra en las Figuras 10 y 11. En ambos casos se puede observar como el 4% de cada aditivo logra hacer descender la temperatura de fabricación de las mezclas bituminosas más que si se añadiera solamente un 2% de aditivo.

En el caso de un betún sin caucho el aditivo que más logra disminuir la temperatura de fabricación es el 4% de la cera A1, logrando disminuirla unos 25°C, seguido por el 4% de la cera A2. Para betunes B 50/70 con un 15% de caucho el aditivo que más logra reducir la temperatura de fabricación es el 4% de la cera A2, llegando a reducirla unos 18°C, seguido por el 4% de la cera A4 y el 4% de la cera A3.

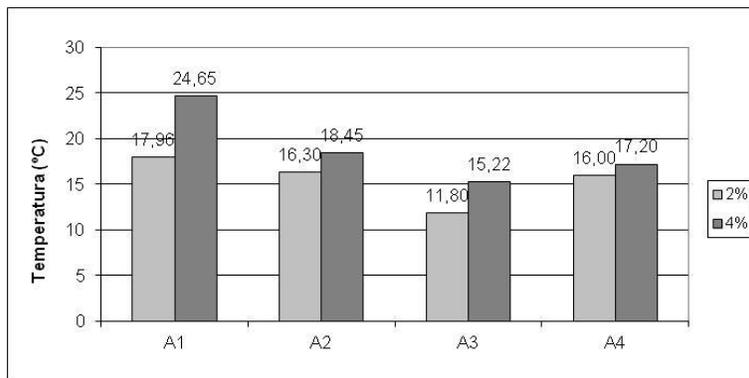


Figura 10: Descenso de la temperatura en el betún B 50/70

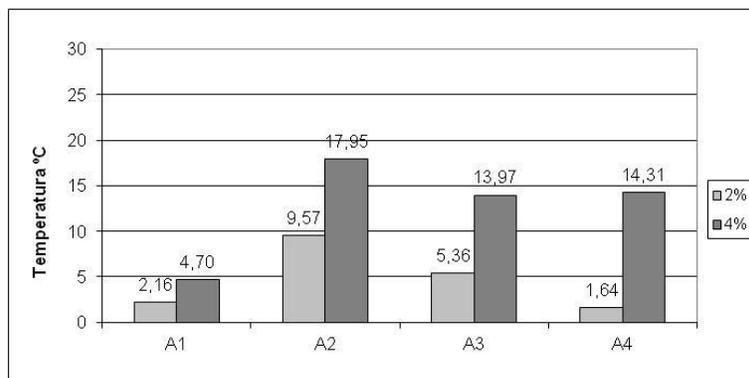


Figura 11: Descenso de la temperatura en el betún B 50/70 modificado con un 15% de caucho

Punto de reblandecimiento y penetración

Los resultados del ensayo de anillo y bola se muestran resumidos en las Figuras 12 y 13. Se puede observar que las temperaturas de reblandecimiento aumentan debido, por un lado, a la

presencia de caucho y por otro, a la incorporación de los aditivos orgánicos. Luego tanto el caucho como cualquiera de los aditivos estudiados actuarán como estabilizantes mejorando la resistencia a deformaciones plásticas de las mezclas bituminosas. Este aumento de la temperatura de reblandecimiento está de acuerdo con el hecho de que las ceras utilizadas tienen temperaturas de fusión superiores a 90 °C por lo que a temperaturas inferiores no sólo no fluidifican el ligante sino que incluso le dan más consistencia. La cera que logra un mayor punto de reblandecimiento la A4 seguida por la A2, el A3 y la A1.

El ensayo de penetración define la consistencia del betún a 25°C de temperatura a partir de un ensayo de indentación. Los resultados son los mostrados en las Figuras 14 y 15. Se puede observar que la incorporación de caucho, reduce la penetración, ya que el caucho hace que el ligante sea más consistente. Por otro lado, la incorporación de aditivo también disminuye la penetración. Esto es debido a que los aditivos reductores de la viscosidad no se fluidifican hasta su fusión, que se produce a temperaturas mayores de 90°C. El ensayo de penetración se realiza a 25°C, temperatura en la que los aditivos aumentan la consistencia del ligante. Además, al comparar los diferentes aditivos entre sí, el betún más consistente es siempre el que contiene como aditivo la cera A1 y el más blando el que contiene la cera A2.

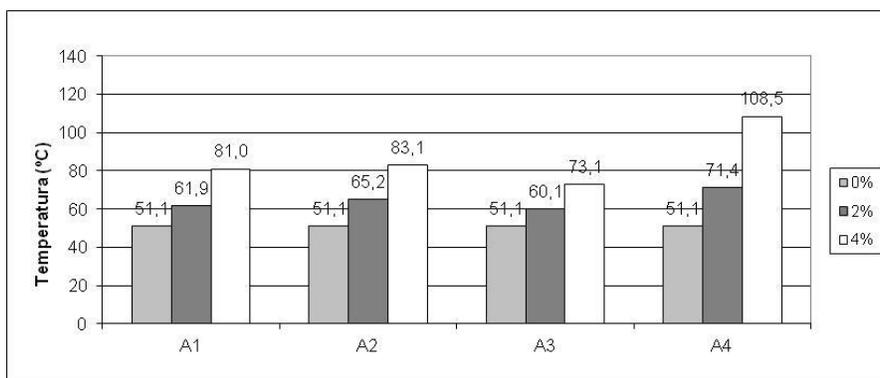


Figura 12: Influencia de las ceras en el punto de reblandecimiento del betún B 50/70

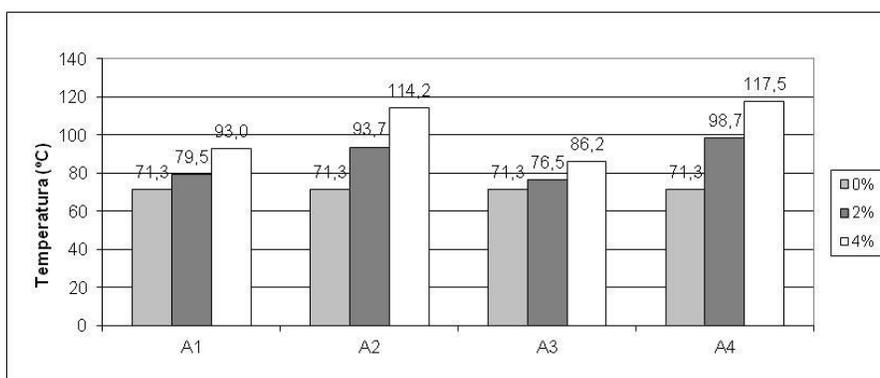


Figura 13: Influencia de las ceras en el punto de reblandecimiento del betún B 50/70 modificado con un 15% de caucho

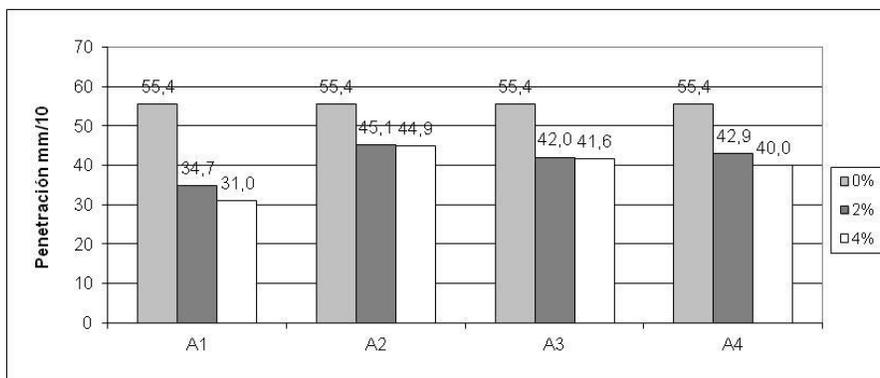


Figura 14: Influencia de las ceras en la penetración del betún B 50/70

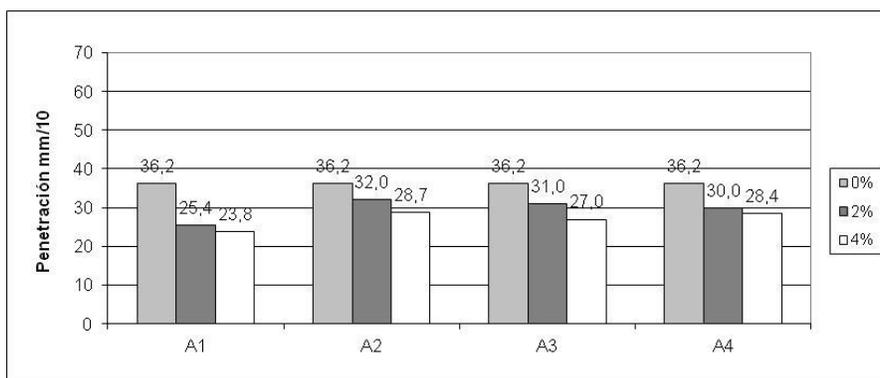


Figura 15: Influencia de las ceras en la penetración del betún B 50/70 modificado con un 15% de caucho

CONCLUSIONES

En este estudio se ha observado que la incorporación de los cuatro aditivos orgánicos estudiados hace posible disminuir la viscosidad del ligante modificado con un 15% de caucho. El aditivo que consigue una mayor disminución de la temperatura de fabricación es el 4% de A2 (cera Montana), seguido por la cera A3 (cera Montana con mezclada con una amida de ácido graso) y la cera A4 (amida de ácido graso). Sin embargo, en el betún sin caucho, la cera más eficaz es una cera Fisher Tropsch. También se ha observado que, en términos generales, la reducción teórica de temperatura de fabricación de mezclas bituminosas es menor en los betunes con un 15% de caucho que en los betunes puros y que el 4% de cualquiera de los aditivos logra disminuir la viscosidad más que si se añadiera solamente un 2% de aditivo.

Asimismo, la incorporación de estos aditivos en el betún modificado con un 15% de caucho hace que la penetración disminuya, que la temperatura de reblandecimiento aumente, lo cual concuerda con el hecho de que las temperaturas de fusión de estas ceras está por encima de la temperatura a la que se desarrollan estos ensayos de penetración y punto de reblandecimiento. El aditivo que más aumenta la temperatura de reblandecimiento es el 4% de la cera A4 seguido por el 4% de la cera A2. Y el aditivo que más ha reducido la penetración ha sido 4% de de la cera A1. Se ha observado que a mayor contenido de aditivo, mayor es la temperatura de reblandecimiento y menor es el resultado del ensayo de penetración. Este hecho es muy importante, porque tanto la penetración como la temperatura de reblandecimiento forman parte de las propiedades que se exigen en las especificaciones técnicas de ligantes y, por tanto, para diseñar un betún con caucho

para mezclas semicalientes, no sólo ha de considerarse la reducción de viscosidad que logra el aditivo, sino los importantes cambios que ocasionan en otras propiedades. En definitiva, han de considerarse conjuntamente el contenido de caucho y de aditivo de modo que el producto resultante encaje en las especificaciones y no se vean comprometidas otras propiedades del ligante como podría ser una excesiva rigidez de la mezcla bituminosa por la escasa penetración del ligante.

REFERENCIAS

- Akisetty CK., Lee S, Amirkhanian SN. High temperature properties of rubberized binders containing warm asphalt additives. *Constr. Build. Mater.* 2009; vol. 23, pp. 565-573, 1.
- Akisetty CK, Gandhi T, Lee S-, Amirkhanian SN. Analysis of rheological properties of rubberized binders containing warm asphalt additives. *Canadian Journal of Civil Engineering* 2010;37(5):763-71.
- Akisetty C, Xiao F, Gandhi T, Amirkhanian S. Estimating correlations between rheological and engineering properties of rubberized asphalt concrete mixtures containing warm mix asphalt additive. *Constr Build Mater* 2011;25(2):950-6.
- CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas). Manual de Empleo de Caucho de NFU en Mezclas Bituminosas. Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente; 2007.
- D'Angelo J et al. Warm-Mix Asphalt: European Practice. Report No. FHWA-PL-08-007. American Trade Initiatives, Alexandria, USA; 2008.
- Damm K, Abraham J, Butz T, Hildebrand G and Riebeschl G. Asphalt Flow Improvers as 'Intelligent Fillers' for Hot Asphalts—A New Chapter in Asphalt Technology. *Journal of Applied Asphalt Binder Technology* 2002; pp. Pp 36–69.
- Drüschner L. Experience with Warm Mix Asphalt in Germany. Sønderborg : NVF-rapporter. Guest report in conference; 2009.
- Hirsch V. Warm Mix Asphalt Technologies. BASt, Germany, Presentation to WM A Scan Team; 2007.
- Huang B, Mohammad LN, Graves PS, Abadie C. Louisiana experience with crumb rubber-modified hot-mix asphalt pavement. *Transport Res Rec: J Transport Res Board* 2002; vol. 1789:1–13.
- Hurley G, Prowell B. Evaluation of Sasobit® for Use in Warm Mix Asphalt. NCAT Report; 2005.
- Liang RY, Lee S. Short-term and long-term aging behavior of rubber modified asphalt paving mixtures. *Transport Res Rec: J Transport Res Board* 1996; vol. 1530:11–7.
- Nölting M. 10 Years of Sasobit Technology Experiences, Applications and Outlook. BASt, Germany, Presentation to WM A Scan Team; 2007.
- Ruth BE, Roque R. Crumb rubber modifier (CRM) in asphalt pavements. *Proceedings of the Transportation Congress*, 1995; p. 768–85.

Wang H, Dang Z, You Z and Cao D. Effect of warm mixture asphalt (WMA) additives on high failure temperature properties for crumb rubber modified (CRM) binders. *Constr. Build. Mater.* 2012; vol. 35, pp. 281-288, 10.

Wölfe H and Orlamünder K. Bitumen Modification with Additives for Road Construction—Technology of Low-Temperature Asphalt. BAST, Germany, Presentation to WM A Scan Team; 2007.