COMPORTAMIENTO DE LOS BETUNES MODIFICADOS CON POLIMEROS MEDIANTE ENSAYOS CONVENCIONALES DE CONSISTENCIA (1)

BALTASAR RUBIO (*)
JOSE OLIVARES (**)

RESUMEN. En este trabajo se analizan las ventajas que tiene la mezcla resultante obtenida por adición a un betún asfáltico de ciertos polímeros. En el estudio se han utilizado cuatro polímeros comerciales: EVA 1 y 2, NR y SBS, valorándose el comportamiento de estos betunes-polímeros mediante ensayos convencionales de consistencia. Se han estudiado también los métodos de incorporación más idóneos, utilizando la microscopía óptica de fluorescencia para comprobar el grado de dispersión del polímero en el ligante. Aunque admitiendo que los ensayos normalizados de consistencia pueden informar suficientemente sobre este tipo de adiciones, se reconoce que para obtener un conocimiento más completo y a largo plazo de la microestructura de estas mezclas y su relación con problemas de envejecimiento y propiedades mecánicas, sería deseable el poder disponer de algunos ensayos más específicos, como pueden ser las microscopía electrónica y de fluorescencia, cromatografía GPC, etc.

ABSTRACT. *In this work the advantages of the resulting mixture of adding certain polymers to a bituminous asphalt are analyzed. In the study four polymers are used: EVA 1 and 2, NR and SBS. Through conventional tests of the consistency, the behaviour of these bitumens is valued. The most qualified methods have been used, by means of the fluorescence optic microscopy in order to check the dispersion level of the polymer in the binder. Although we admit that the standardized consistency tests can inform enough about this sort of admixtures, we recognize that to obtain a deeper knowledge at long term of the microstructures of these mixtures and its relation with aging problems and mechanics properties, it would be desirable to dispose of more specific tests, such as the fluorescence electronic microscopy, cromatography GPC, and so on.*

INTRODUCCION

Los ligantes hidrocarbonados son productos termoplásticos, comportándose a temperaturas bajas como un sólido frágil y con cierta elasticidad y a temperaturas más elevadas como un fluido moderadamente viscoso y con deformación no recuperable.

Su utilización en la construcción de firmes para carreteras se debe, entre otras, a sus buenas propiedades adhesivas y mecánicas, su elevada inercia química y su impermeabilidad al agua.

Al ser materiales termoplásticos, la acción del calor los vuelve lo suficientemente fluidos para envolver y «mojar» completamente, en principio, las partículas minerales que forman los áridos, permitiendo su baja viscosidad en esta condiciones la densificación de la mezcla, la cual adquiere posteriormente una vez frío el ligante, la cohesión y resistencia suficientes para resistir a la acción del tráfico.

Para el comportamiento de un firme construido en estas condiciones, es evidente que lo deseable sería que la consistencia del ligante para las temperaturas extremas de servicio se modificara poco,

(1) Esta comunicación forma parte de un trabajo más amplio sobre el estudio y posibilidades de empleo de estos materiales realizado en el CEC, a petición de la Dirección General de Carreteras, del MOPU. Igualmente, un resumen del mismo ha sido presentado por los autores en un Seminario sobre los Betunes-polímeros organizado por la RILEM y celebrado recientemente en Dubrovnik (Yugoslavia).

(*) Dr. en Ciencias Químicas. División de Normalización y Ensayo de Materiales del Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (MOPU).
(**) Licenciado en Ciencias Químicas. Jefe de Sección. División de Normalización y Ensayo de Materiales del Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (MOPU).

es decir que su susceptibilidad térmica fuera lo más baja posible, quedando así alejado de sus zonas tanto de sólido frágil como de fluido viscoso. Para determinar este intervalo o zona de seguridad, se suelen incluir en las especificaciones de los betunes los ensayos de punto de fragilidad Fraass y punto de reblandecimiento, que delimitan así los límites de una cierta consistencia empírica del material y definen, por tanto, un intervalo o zona teórica de temperaturas de susceptibilidad para cada betún. En las especificaciones españolas, este intervalo es de unos 63 °C para el tipo 20/30, de 60 °C para el 60/70 y de 56 °C para el 150/200, lo que en principio puede parecer suficiente. Sin embargo, si bien el punto de Fraass puede ser considerado como un límite de zona térmica relativamente segura, —sin tener en cuenta el posible efecto de la fatiga—, en los materiales termoplásticos la consistencia puede hacerse desgraciadamente peligrosa antes de alcanzarse el límite superior marcado por el punto de reblandecimiento, lo que reduce en la práctica bastante la zona teórica de seguridad.

En realidad, sin embargo, no tiene excesivo interés para un ligante determinado la determinación de este intervalo o zona real de seguridad, que no es específica del ligante puro sino condicionada por las características propias de cada mezcla árido-ligante. De todas formas, parece lógico suponer que cuanto mayor sea la zona teórica de seguridad de un ligante puro definida por sus puntos de Fraas y reblandecimiento, mayor habrá de ser su intervalo o zona real de seguridad.

En las mezclas bituminosas, su comportamiento está en gran parte condicionado por las características del ligante, su susceptibilidad térmica y la correspondiente rigidez del mástic filler-betún. El problema de la susceptibilidad a las deformaciones plásticas, en firmes expuestos a elevadas temperaturas, se puede resolver en bastantes casos mediante materiales más adecuados, tamaño y forma de los áridos, granulometrías con un mayor rozamiento interno, o bien utilizando betunes más duros. Sin embargo, cuando por las especiales características del tráfico, orografía del tramo, tipo de firme, temperaturas extremas, etc., lo anterior no es suficiente o factible desde el punto de vista técnico o económico, la solución puede estar en el empleo de aditivos que mejoren la susceptibilidad térmica del ligante, ensanchando o desplazando su intervalo o zona real de seguridad.

En la figura 1 se expresa gráficamente en escalas bilogarítmicas la consistencia, medida por la viscosidad, de un betún normal y de uno «ideal», en función de la temperatura. Como puede observarse en el gráfico, se trata de conseguir un betún cuya consistencia se modifique lo menos posible dentro del intervalo de temperaturas de servicio, lo

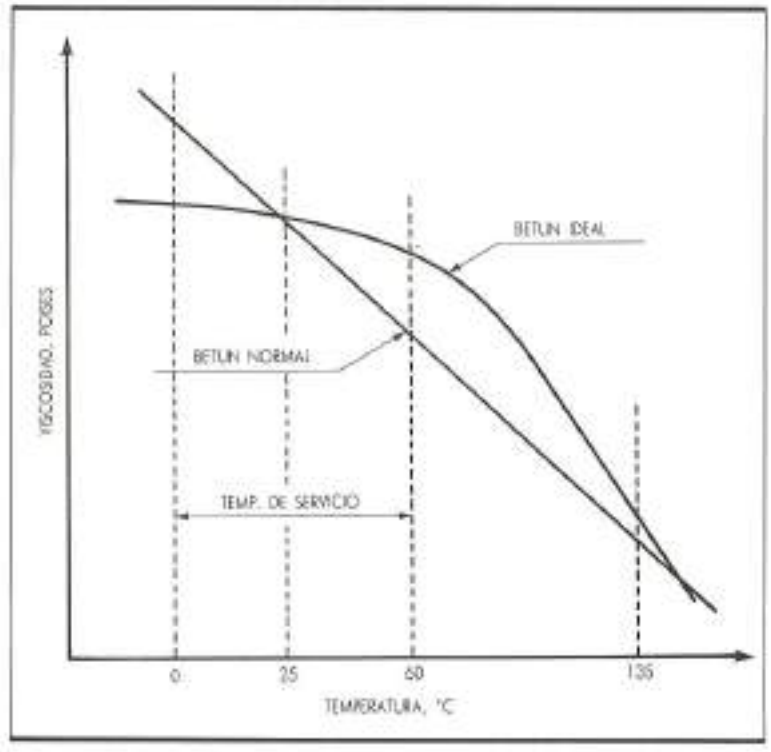

FIGURA 1. Susceptibilidad térmica de betunes.

cual es, en principio, una de las características que se consiguen en estos materiales mediante la adición de ciertos aditivos, como los polímeros.

BETUN-POLIMEROS

Los betunes son coloides con una dispersión más o menos estructurada de las micelas en el seno de una fase continua, lo que significa que la miscibilidad de un polímero en el betún depende no solamente de la propia solubilidad del polímero sino también del estado coloidal del betún en el que se disuelve el polímero. La mezcla de un betún y un polímero hace pues intervenir tanto la naturaleza y estructura del propio polímero como la del betún.

En lo concerniente al betún, tienen influencia sobre la compatibilidad con los polímeros el contenido de asfaltenos, la aromaticidad de la fase dispersante, los maltenos, así como la naturaleza del estado coloidal, sol o gel. En cuanto al polímero, su compatibilidad depende fundamentalmente de su estructura y composición química.

Los polímeros son compuestos orgánicos de elevado peso molecular, formados por la repetición sucesiva de uno o varios grupos estructurales, llamados monómeros, y son los aditivos de uso más generalizado para modificar las propiedades reológicas de los betunes asfálticos. La gran variedad de polímeros existentes, con diferente estructura química y parámetros moleculares, así como la compleja composición de los betunes asfálticos, son posiblemente las causas de que no se conozca bien el mecanismo de modificación y no se hayan podido establecer hasta ahora relaciones precisas entre los ligantes modificados con polímeros y sus propiedades, a pesar del gran número de trabajos realizados.

Los betunes-polímeros se fabrican, en general, por dispersión del polímero en el betún en caliente y con agitación. En ciertos casos se necesita un tercer componente, que puede ser una resina o un plastificante, para favorecer la compatibilidad del polímero con el betún o mejorar algunas propiedades de la mezcla. Este procedimiento de fabricación se utiliza preferentemente con los polímeros termoplásticos, por ejemplo cloruro de polivinilo (PVC), polietileno (PE), polipropileno (PP) y copolímeros de polibutadieno (BR), caucho natural (NR) y caucho de estireno-butadieno (SBR), y con los elastómeros termoplásticos de estireno-butadieno (SBS) y estireno-isopropeno (SIS).

Ciertos polímeros originan una verdadera reticulación espacial mediante reacción química irreversible, dando lugar a un producto insoluble y rígido. Tal sucede con las resinas epoxi, los poliuretanos y los poliésteres. La incorporación de alguno de estos productos al betún se realiza «in situ», con una manipulación posterior siempre de corta duración.

TECNICAS DE INCORPORACION

La incorporación de un polímero a un betún es un proceso complejo que hay siempre que estudiar en el laboratorio para cada caso particular; sus resultados dependen tanto de la elección del polímero como de la forma de incorporarlo.

Al parecer, en esta incorporación el polímero pasa primero por una fase de macrodispersión —partículas simplemente dispersas en la masa bituminosa—, sin efecto alguno aparente sobre las propiedades de la mezcla. En una fase posterior, las partículas del polímero se hinchan a causa de la absorción de aceites malténicos, para finalmente dispersarse en forma molecular por la masa del betún. Es a partir de este momento cuando tiene lugar el verdadero efecto reológico sobre el ligante.

Entre las dificultades que se pueden presentar en este proceso de incorporación destacaremos las siguientes:

- Dificultades de fabricación y conservación del ligante aditivado.
- Mala dispersión del polímero en el betún, por problemas de compatibilidad betún-polímero o procedimiento de dispersión.
- Falta de homogeneidad del producto resultante, puesta de manifiesto después de un almacenamiento prolongado.

Otro inconveniente que puede presentarse es la necesidad de tener que trabajar a elevadas temperaturas a efectos de manejabilidad de la mezcla, con los riesgos que ello puede suponer para las propiedades finales del betún-polímero.

Comercialmente los polímeros se presentan en formas muy diversas: sólida, en planchas o gránulos, en polvo y finalmente en forma de emulsión o látex.

Si están en forma sólida, como por ejemplo los cauchos, se prepara una mezcla madre (masterbachs) con una proporción de polímero relativamente elevada, que luego se añade a la cantidad de ligante necesaria para obtener la concentración deseada final. El procedimiento suele proporcionar una buena dispersión y homogeneidad.

Si está en forma de polvo, se incorpora directamente sobre el betún caliente y con agitación.

La incorporación en forma de látex se realiza añadiendo éste al betún fundido a temperatura entre 140 y 170 °C y con agitación constante. El

depósito deberá ser lo suficientemente grande para admitir el aumento de volumen de la masa a causa de la espuma producida por el agua de la emulsión de látex. Esta adición debe realizarse poco antes de su utilización.

Finalmente hay que recordar que el almacenamiento en caliente y demora en la utilización de bastantes de estos betunes-polímeros puede originar una degradación del sistema, con la consiguiente pérdida de actividad y eficacia; en algunos casos su conservación debe realizarse con control de temperatura.

CONTROL DE CALIDAD DE LA DISPERSION

En general, el proceso de incorporación al betún del polímero provoca una degradación inevitable de éste que, en principio, puede ayudar a conseguir una buena dispersión, aunque es preciso considerar que una temperatura demasiado alta, un tiempo de agitación prolongado y/o un período de almacenamiento excesivo, pueden producir una degradación en el polímero, con la consiguiente pérdida de sus propiedades. Por otro lado, si la dispersión conseguida o la compatibilidad entre el betún y el polímero no son buenas, puede producirse una separación entre ambos componentes.

Para observar la dispersión de un polímero en el seno de un betún asfáltico, una de las técnicas utilizadas más frecuentemente es la microscopía óptica de fluorescencia por reflexión.

El Centro de Estudios de Carreteras hace poco tiempo que dispone de esta técnica, por lo que solamente vamos a exponer algunos casos puntuales.

En las fotografías 1 y 2 se muestran dos mezclas de un betún B80/100 con un 5 % de elastómero termoplástico de butadieno estireno (SBS), que ha sido previamente pulverizado mediante molido criogénico. Las dos mezclas han sido preparadas con las mismas condiciones de tiempo y temperatura de mezclado, y su única diferencia radica en el tipo de agitador usado en su fabricación.

En ambas fotos se observa una dispersión de glóbulos esféricos de SBS en la fase betún, si bien en la primera, fabricada con un agitador más potente, se observa una mejor distribución de los mismos y con diámetros más pequeños. En cuanto a las propiedades ensayadas de estas dos mezclas, lo más significativo es una diferencia de 10 °C en el punto de reblandecimiento y de 1,5 unidades en el índice de penetración.

La fotografía 3 corresponde a una mezcla betún-SBS idéntica en composición y condiciones de preparación a la número 1, con la sola diferencia de que el polímero SBS ha sido incorporado en granza. En la fotografía puede observarse una más heterogénea dispersión del polímero, con glóbulos esféricos de diámetro muy pequeño junto a otros irregulares y de mayor tamaño.

En resumen, en nuestra opinión la microscopía por fluorescencia creemos que es una técnica de fácil y rápida aplicación para observar la dispersión de las mezclas de un betún y un polímero, y que será aún de mayor interés si se consigue relacionar adecuadamente la microestructura de esta dispersión con las propiedades resultantes de las mezclas betún-polímero.

En cuanto a la degradación de los polímeros durante el proceso de fabricación de las mezclas con un betún, pensamos que una técnica adecuada puede ser la cromatografía sobre geles permeables (GPC), que permite una separación por tamaños

FOTOGRAFIA 1.

FOTOGRAFIA 2.

moleculares. El mayor peso molecular de un polímero frente a un betún hace posible esta separación, pudiéndose determinar la distribución de los pesos moleculares del polímero antes y después del mezclado con el betún, como ha sido indicado por Brion y Brulé. Esta técnica puede ser utilizada igualmente para valorar el envejecimiento de los betunes modificados con polímeros.

En el Centro de Estudios de Carreteras se ha adquirido recientemente un equipo de cromatografía líquida de alta eficacia (CLHP-GPC), pero no se dispone aún de datos experimentales.

En nuestra opinión, creemos que la cromatografía líquida GPC es una técnica eficaz y rápida para determinar la degradación del polímero en los procesos de mezclado y almacenamiento. Además, esta técnica puede ser también de utilidad como control de recepción para la determinación de la proporción de polímero en una mezcla betún-polímero, en el que se represente el área del pico correspondiente a éste frente a la proporción del mismo. Una vez establecida la curva de calibrado, se podría determinar así en pocos minutos la cantidad de polímero presente en un ligante modificado.

PRINCIPALES VENTAJAS DEL EMPLEO DE POLIMEROS

La adición de un polímero a un ligante se reconoce que tiene sobre la mezcla así obtenida las siguientes ventajas:

— Disminución de la consistencia, puesta de manifiesto por una reducción de la penetración y aumento del punto de reblandecimiento.

FOTOGRAFIA 3.

— Aumento de la ductilidad a bajas temperaturas.
— Aumento de la tenacidad, resistencias a la abrasión y al impacto.
— Disminución de la fluencia a bajas temperaturas.
— Disminución de pérdida de aceites volátiles y aumento de la resistencia al envejecimiento.
— Disminución de los procesos de oxidación y polimerización.
— Un aumento de la susceptibilidad térmica, lo que se traduce en la práctica por un mayor intervalo entre las temperaturas definidas por los puntos de Fraass y de reblandecimiento, o sea lo que se ha denominado antes zona teórica de seguridad.

PARTE EXPERIMENTAL. ENSAYOS DE LABORATORIO

A continuación se pasan a analizar algunos de los resultados obtenidos en el Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX, sobre un trabajo en el que se han estudiado los comportamientos de algunos betunes modificados con polímeros mediante ensayos tradicionales de consistencia.

Los polímeros empleados han sido:

— Un caucho natural no vulcanizado (NR).
— Un elastómero termoplástico de butadieno-estireno (SBS).
— Dos copolímeros de etileno-acetato de vinilo EVA.
  EVA 1, con un 28 % de acetato de vinilo.
  EVA 2, con un 40 % de acetato de vinilo.

Los betunes empleados han sido del tipo B80/100, del mercado nacional y procedentes de refinerías españolas.

PREPARACION EN LABORATORIO DE LAS MEZCLAS BETUN-POLIMERO

Como ya hemos indicado, las mejoras de las propiedades reológicas obtenidas con la adición de polímeros dependen, entre otras, del proceso de incorporación. Por ello, la primera parte de este estudio estuvo orientada al establecimiento de las condiciones más idóneas de preparación de las mezclas, tanto en lo que se refiere a tiempos como a temperaturas y formas de mezclado, hasta obtener una buena dispersión del polímero en el betún.

En este sentido, se prepararon una serie de mezclas con un betún de penetración media y cada uno de los polímeros estudiados, variando temperaturas y tiempos de mezclado crecientes.

ENSAYOS CONVENCIONALES UTILIZADOS

Una vez definidas las condiciones óptimas para la incorporación del polímero, el trabajo se centró en la valoración de las propiedades reológicas de la mezcla betún-polímero mediante algunos ensayos convencionales de laboratorio.

Para este fin los ensayos elegidos fueron:

— Penetración con aguja (NLT-124/84).
— Punto de reblandecimiento anillo y bola (NLT-125/84).
— Indice de penetración (NLT-181/84).
— Punto de fragilidad Fraas (NLT-182/84).
— Viscosidad a altas temperaturas (NLT-197/85).

La penetración es una medida empírica y convencional de la consistencia de un material bituminoso, y se utiliza en numerosas especificaciones como un índice para la clasificación de los betunes. Realizando el ensayo a temperaturas crecientes, normalmente 0, 25 y 46 °C, se utiliza como una medida de la susceptibilidad a la temperatura en estos materiales.

El punto de reblandecimiento determina, igualmente de forma empírica, la temperatura a la que un material bituminoso pasa de un estado relativamente sólido a uno fluido.

Mediante una expresión calculada a partir de estos dos parámetros se obtiene el llamado índice de penetración, expresión que permite mediante números sencillos una clasificación de estos materiales en función de su susceptibilidad térmica.

El extremo inferior de la consistencia, lo que se puede considerar como zona frágil, se determina en estos materiales mediante el punto de fragilidad Fraass. Entre esta temperatura y la del punto de reblandecimiento se extiende la que hemos denominado antes zona teórica de seguridad.

Finalmente, la viscosidad a altas temperaturas tiene utilidad en la determinación de la temperatura óptima de mezclado con los áridos.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS Y ANALISIS DE LOS MISMOS

En las figuras 2 a 8 se representan gráficamente algunos de los resultados obtenidos en este trabajo, que pasamos seguidamente a comentar.

En la figura 2 se indican los valores de la penetración a 25 °C en función de los contenidos de polímeros estudiados. Claramente se pone de manifiesto que ya con valores muy bajos de polímeros, del orden del 1 %, se produce en todos los casos un descenso brusco de la consistencia inicial, aunque selectivo según el polímero; para porcentajes mayores este descenso parece que tiende a estabili-

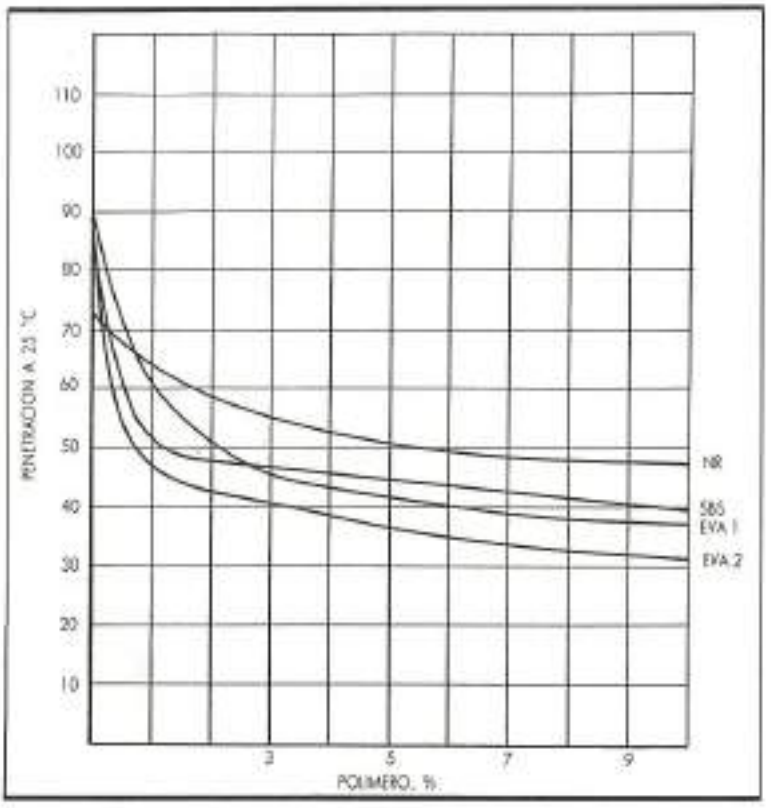

FIGURA 2. Influencia del contenido de polímero sobre la penetración.

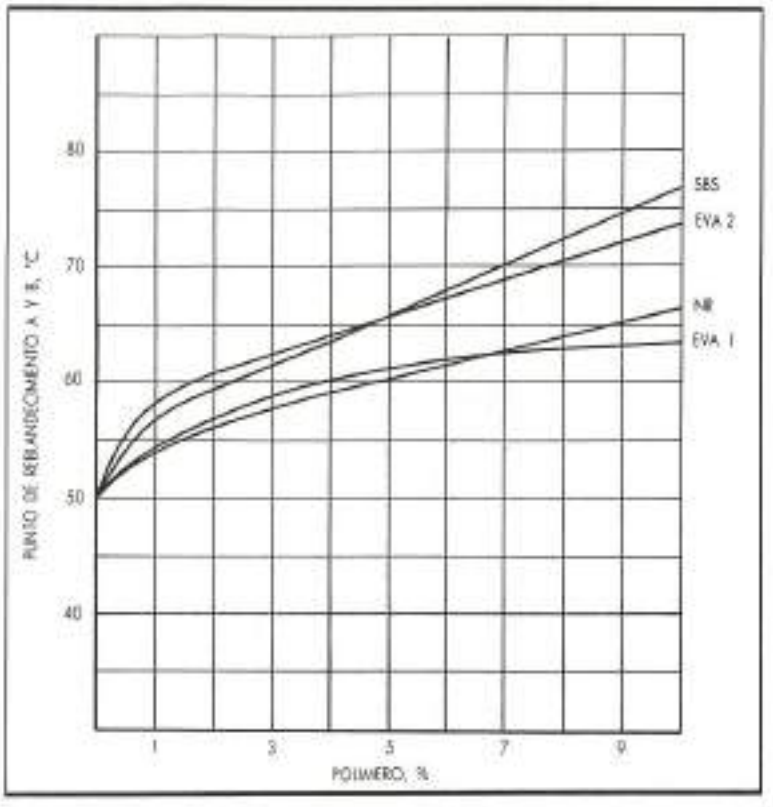

FIGURA 3. Influencia del contenido de polímero sobre el punto de reblandecimiento A y B.

zarse. Las mezclas con copolímeros EVA son las que presentan penetraciones más bajas, en mayor medida en el caso del EVA 2; la menor disminución de la consistencia se produce con el caucho natural (NR).

La figura 3 nos representa las variaciones observadas en el punto de reblandecimiento con contenidos crecientes de polímeros. En todos los casos se producen sustanciales aumentos de la temperatura del punto de reblandecimiento. Estos aumentos son tanto mayores cuanto más altas son las proporciones de polímero. Para concentraciones de polímero superiores al 5 %, los incrementos mayores, del orden de 25 °C, se obtienen con el elastómero SBS, mientras que en porcentajes inferiores los mejores resultados se obtienen con el EVA 2; por el contrario, los menores aumentos, algo menos de 15 °C, se consiguen con el EVA 1.

En la figura 4 se presentan los valores obtenidos para los índices de penetración. Se observa en los cuatro polímeros un aumento casi uniforme, aunque selectivo, de este parámetro, que pasa de valores próximos a cero para el betún puro a casi tres para el copolímero SBS, mientras los menores incrementos se dan con el EVA 1. Así, tomando como referencia el valor del índice +1, se observa que únicamente con un 2 % de SBS se alcanza ya este valor, mientras que se necesita un 8 % de EVA 1.

Resumiendo respecto a estos tres ensayos, las diferencias de comportamiento entre las mezclas con polímeros EVA y SBS ponen de manifiesto claramente la influencia que la estructura química del polímero tiene sobre las propiedades físicas y reológicas del ligante modificado. Igualmente en el comportamiento de los dos polímeros EVA se observa la influencia que los parámetros moleculares propios del polímero tienen sobre las modificaciones conseguidas, diferencias en el índice de fluidez así como en el porcentaje de acetato de vinilo, sin que se pueda atribuir con los datos obtenidos estas modificaciones a un parámetro determinado.

Con objeto de analizar las posibles diferencias de consistencia en los betunes-polímeros a temperaturas medias y altas, se realizaron medidas de viscosidad a temperaturas crecientes con un betún puro y este mismo betún con un 5 % de los polímeros SBS y EVA. En la figura 5 se representan los resultados obtenidos en un diagrama viscosidad-temperatura, en el que se observa claramente el

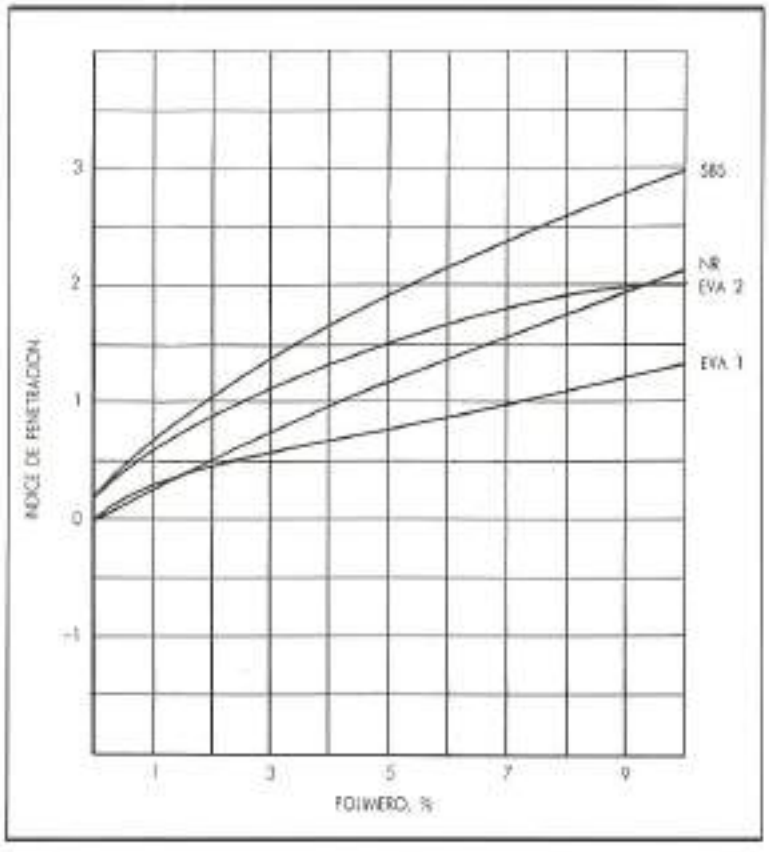

FIGURA 4. Influencia del contenido de polímero sobre el índice de penetración Pfeiffer.

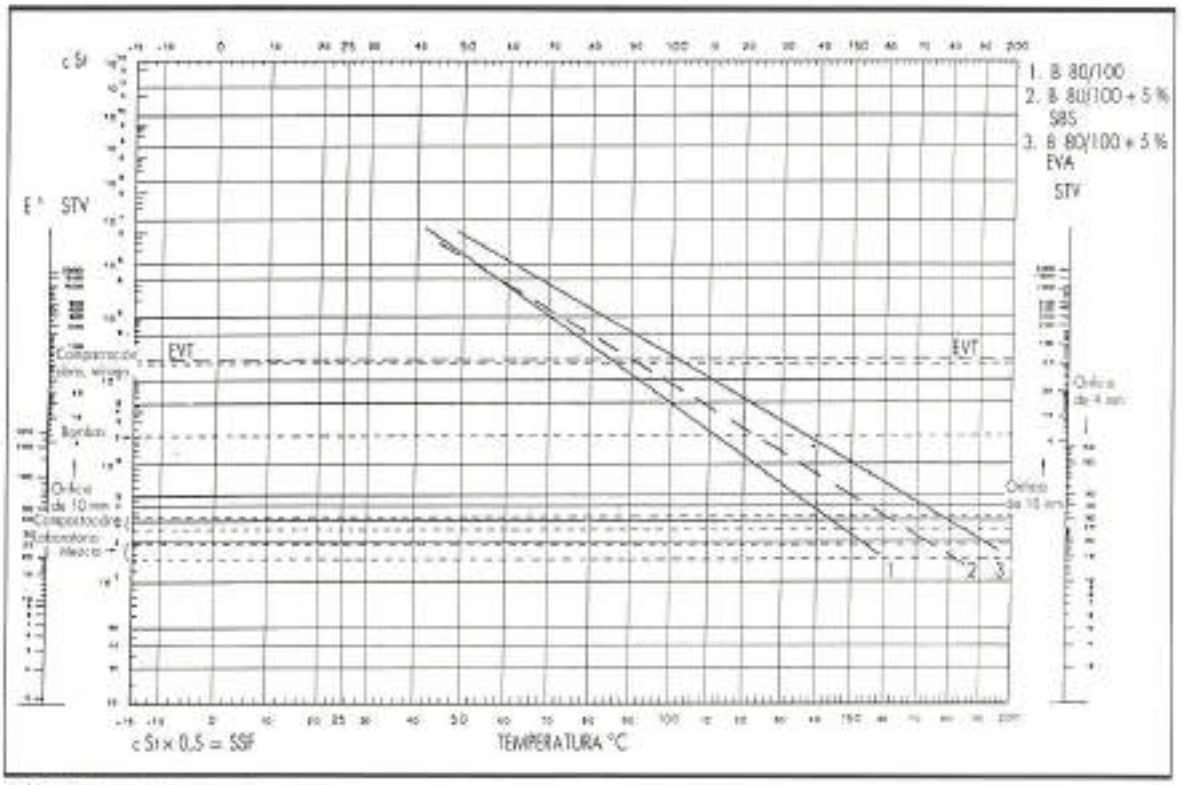

FIGURA 5. Viscosidad-temperatura.

endurecimiento general de los productos resultantes, hecho ya puesto de manifiesto anteriormente en otros ensayos de consistencia. En este gráfico se puede comprobar que las temperaturas necesarias para el mezclado con los áridos de estos materiales aditivados, son unos 20 °C más altas que en el betún con SBS y del orden de 40 °C si se utiliza un EVA, que con el betún puro.

Se estudiaron también las variaciones de consistencia de los betunes polímeros a temperaturas próximas a la ambiente. Como betún base se eligió un tipo 60/70, y en la figura 6 se representan los resultados comparativos de la penetración, a escala logarítmica, frente a las temperaturas, para un porcentaje medio del 5 % de los polímeros SBS, NR y EVA 1. Se puede observar que los betunes modificados presentan pendientes inferiores a la del betún original, lo que demuestra la menor susceptibilidad de los betunes-polímeros respecto a la temperatura. El betún modificado con SBS es el que manifiesta el mejor comportamiento.

Para estudiar la influencia de la naturaleza química del betún sobre las propiedades reológicas de los betunes-polímeros, en la figura 7 se representan los puntos de reblandecimiento anillo y bola de dos betunes 80/100 procedentes de crudos diferentes, uno de naturaleza asfáltica y el otro parafínica, con distintas proporciones del polímero SBS. Puede observarse claramente que los valores más altos de este parámetro se obtienen en el betún procedente del crudo asfáltico, del orden de 8 a 10 °C mayor que en el betún parafínico.

Finalmente, en la figura 8 se representan los resultados de la adición de un polímero a betunes de diferentes penetraciones. El ejemplo estudiado corresponde a tres betunes de penetraciones 40/50, 80/100 y 150/200, con diferentes porcentajes de polímero EVA. En la figura se puede observar claramente que la influencia del polímero es muy superior en el betún más blando y mínima en el más duro.

Como resumen del trabajo experimental realizado se pueden deducir las siguientes consecuencias.

Es necesario un estudio previo para establecer con claridad las condiciones de idoneidad del betún-polímero, que serán consecuencia tanto de la composición y estructura interna de ambos componentes como de los parámetros moleculares del polímero.

Se han de establecer a continuación las condiciones más idóneas de adición y mezclado del polí-

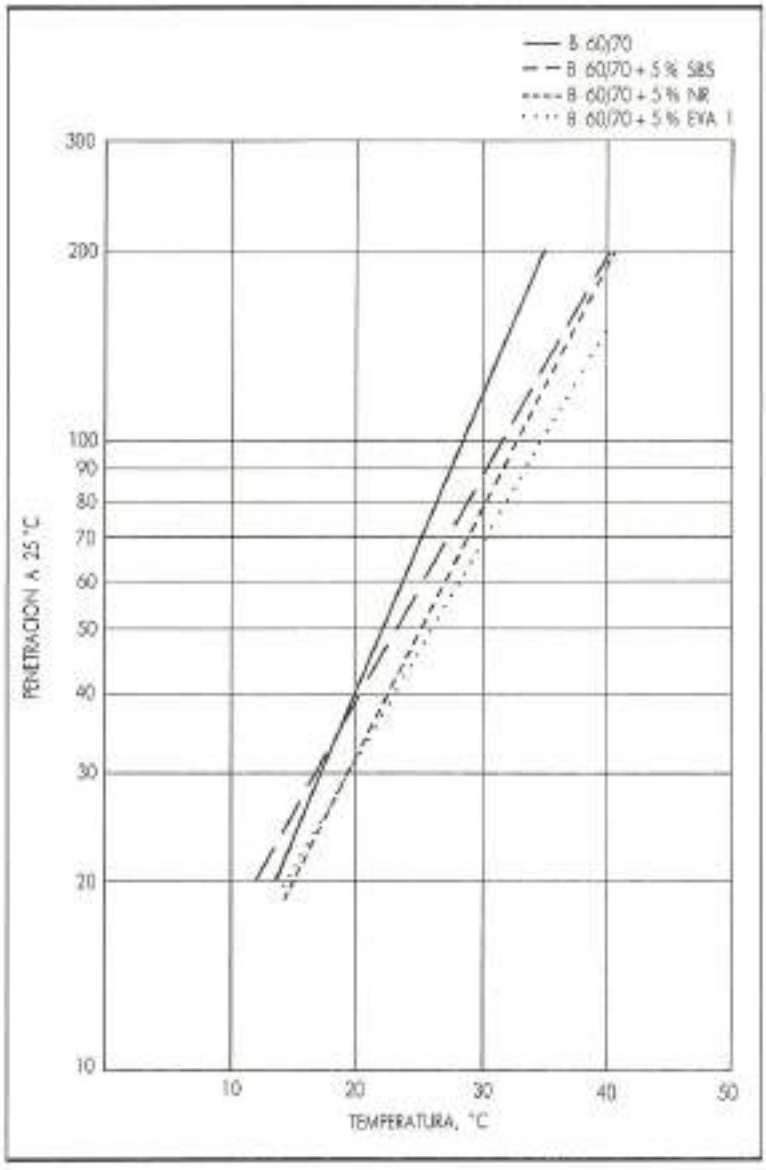

FIGURA 6. Variación de la penetración en función de la temperatura.

mero, estudiando y analizando forma y temperatura hasta conseguir una buena dispersión. Hay que tener en cuenta, además, que un calentamiento excesivo y/o prolongado del polímero puede degradarlo con menoscabo de su actividad.

La adición de polímeros a los ligantes bituminosos produce una modificación en su estructura que conduce a una verdadera mejora de sus propiedades reológicas, puestas de manifiesto en sustanciales reducciones de la penetración y aumentos del punto de reblandecimiento, viscosidad e índice de penetración; se ha observado igualmente una disminución de las relaciones de penetración a diferentes temperaturas.

Los puntos de fragilidad Fraass de los betunes-polímeros no presentan una clara tendencia con relación al betún base, dependiendo, al parecer, de la temperatura de transición vítrea (Tg) del polímero incorporado.

El sustancial aumento obtenido en los puntos de reblandecimiento de los betunes-polímeros estudiados, juntamente con los valores prácticamente iguales de los puntos de Fraass, se traduce en la práctica en un incremento neto considerable de la que hemos denominado zona teórica de seguridad. Así, en el caso del betún 80/100 estudiado, con un intervalo o zona teórica de seguridad de unos 60 °C, la adición de un 5 % de polímero incrementa

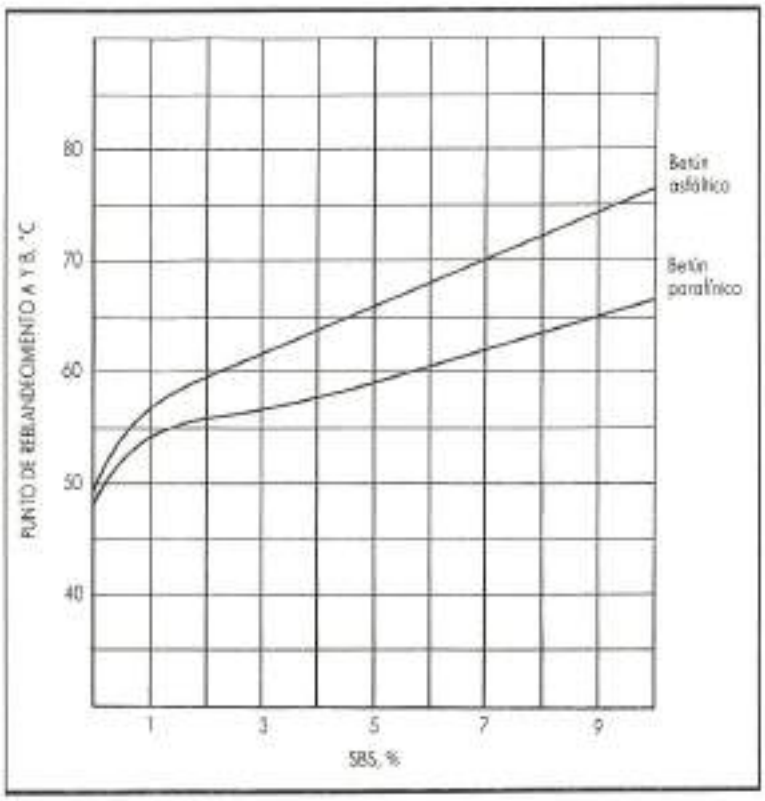

FIGURA 7. Influencia del contenido de polímero sobre betunes de diferentes orígenes.

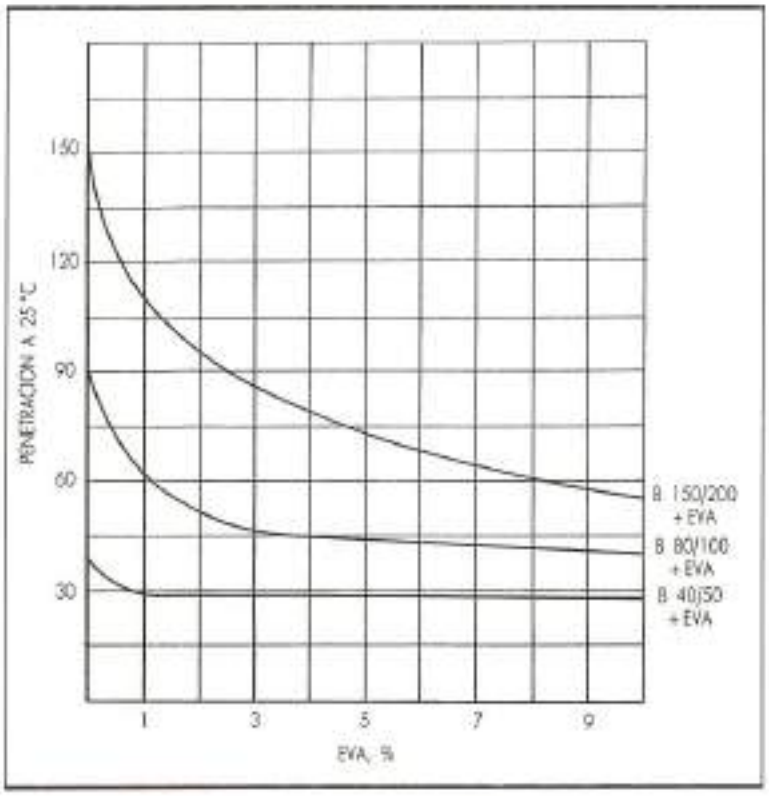

FIGURA 8. Influencia del contenido de polímero sobre betunes de diferentes penetraciones.

este valor unos 10 °C si se utilizan los EVA 1 y NR, y algo más de 15 °C con los EVA 2 y SBS.

Aunque los cuatro polímeros analizados mejoran sustancialmente las propiedades reológicas de los betunes asfálticos, los más adecuados parecen ser los copolímeros EVA 2 y SBS, aunque hay que tener en cuenta que el EVA 1 presenta una más fácil dispersión.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

En resumen, los ensayos de consistencia tradicionales utilizados en este trabajo permiten hacer una primera valoración de las propiedades reológicas de los betunes modificados con polímeros, y esto de una forma sencilla y con equipos de empleo habitual en los laboratorios de ensayos de materiales para carreteras. Sin embargo, creemos que este tipo de ensayos pueden ser insuficientes para una valoración más completa de las características de estos materiales; propiedades tales como la elasticidad y la cohesión deberían poder ser conocidas mediante ensayos sencillos y normalizados, como pueden ser los de recuperación elástica, tenacidad, impacto por bola, etc.

Queremos por último señalar que debería poderse tener un conocimiento más profundo de la microestructura de estos ligantes modificados y su relación con propiedades mecánicas y envejecimiento, para lo que serían precisos equipos más específicos, como microscopía óptica de fluorescencia, microscopía electrónica, cromatografía de GPC, así como ensayos dinámicos, con objeto de estudiar y poder obtener ligantes modificados con mejores características y durabilidad.

BIBLIOGRAFIA

RUBIO GUZMAN, B., 1976: «Modificación de los ligantes bituminosos con polímeros». Conferencia sobre Dosificación de mezclas bituminosas. CEIA.

ORTEGA, J., 1972: «Los ligantes modificados con aditivos». Carreteras.

DO PINO, F., RUBIO, B., 1985: «Spanish Experience with the use of modified binders». 3.rd EUROBITUME Simposium. The Hague.

JOLIVET, Y., CHEVRIER, E.: «Correlation entre le vieillissement in situ et au laboratoire de liants modifiés anhydres». EUROBITUME 85.

BRULE, B., BRION, Y.: «Associations bitumes-polymeres: relations entre la composition, la structure et les propietés». EUROBITUME 85.

BRION, Y., BRULE, B.: «Etude des mélanges bitumes-polymeres. Composition-Estructure-Propiétés». Rapport des Laboratoires. LCPC. Juillet 1986.

OLIVARES, J.: «Ligantes tradicionales y modificados». Jornadas Nacionales de Firmes Flexibles. 3.ª Sesión. Oviedo. Noviembre 1986.

VALERO, L.; RUBIO, B.; MUÑOZ, J. M., OLIVARES, J., 1979: «Estudio de la modificación de las propiedades reológicas de los ligantes bituminosos por medio de elastómeros naturales y artificiales y otros procedimientos». Madrid.

NOVEDADES EDITORIALES

Librería Ciencia-Industria, S. L.

Plaza de San Juan de la Cruz, 3
Tels. 234 85 56 y 233 75 43

PEDIDOS: Contra reembolso ☐ — Cheque adjunto ☐

MINE WINDING AND TRANSPORT

Walker, S. C. —1903—

1988 ed. 546 págs. 21.836 pts.

CONTENIDO: Steel wire ropes. Wire rope haulage systems. Belt conveying systems. Miscellanous conveyors. Underground locomotives. Free steered vehicles. Winding engines. In and about the shaft. In pipe transport. Aerial ropeways. Surface mining transport.

CORROSION HANDBOOK. Vol. 3

Behrens, D. —21057—

1988 ed. 282 págs. 58.088 pts.

CONTENIDO: Acid halides. Amine salts. Bromides. Bromine. Carbonic acids. Lithium hydroxide. Keyto materials compositions. Subject index.

THE OCEAN BASINS AND MARGINS. Vol. 7b. The Pacific ocean

Naim, A. E. M. —12061—

1988 ed. 642 págs. 19.398 pts.

CONTENIDO: Bering sea. Aleutian arc, Alaska. The northeast pacific ocean and margin. The interplay of accretionary and attritionary tectonics along the California margin. The stratigraphy and tectonics of China. The geology of the China sea. Complexities in the development of the Caroline plate region; western equatorial pacific. The norfolk ridge system and its margins. ...

BETUN
+
(POLIMEROS + TECNOLOGIA + EXPERIENCIA)
=
BETUN MODIFICADO
TELCO B-65
Diseñado especialmente para fabricar
MEZCLAS DRENANTES
compsa
Tecnología viva
Cedaceros, 4 - 28014 Madrid
Tels.: 522 64 90 - 531 75 07 - Telex: 44116 - COEL - E
DISTRIBUIDOR DE ASFALTOS REPSOL Y PETRONOR

CENTRALES ELECTRICAS • AGRONOMIA • OBRAS HIDRAULICAS
• CARRETERAS • PUERTOS Y COSTAS • ARQUITECTURA Y URBANISMO •
GEOLOGIA Y GEOTECNIA • MEDIO AMBIENTE • PLANTAS INDUSTRIALES

inypsa

INFORMES Y PROYECTOS, S.A.

INGENIEROS CONSULTORES

MADRID

General Díaz Porlier 49
Teléfono (91) 402 45 92*
Télex 42496 inyp E
28001 MADRID

BARCELONA

Gran Vía de Carlos III, 124
Teléfono (93) 205 08 62
Télex 97809 inyp E
08034 BARCELONA