

Las propiedades del asfalto mejoran con los modificadores SBS

por C.P. Valkering,
W.C. Vonk
Koninklijke/Shell, Laboratorium, Amsterdam
y C.D. Whiteoak
Shell International Chemical Company, London



El betón modificado con Cariflex TR puede prolongar notablemente la duración de los macadam permeables o los betunes de drenaje utilizados para reducir las salpicaduras de barro y agua y el ruido del tráfico.

LOS materiales asfálticos convencionales cumplen bien su función en la mayoría de las carreteras. Sin embargo, año a año se les exige más a los pavimentos. El número de vehículos comerciales sigue elevándose, la carga de eje y la presión de los neumáticos son cada vez mayores, el pavimento sufre y, si no se toman medidas apropiadas, su vida útil se reducirá inevitablemente. El resultado es que aumentan los gastos de mantenimiento y se entorpece el tráfico durante los trabajos.

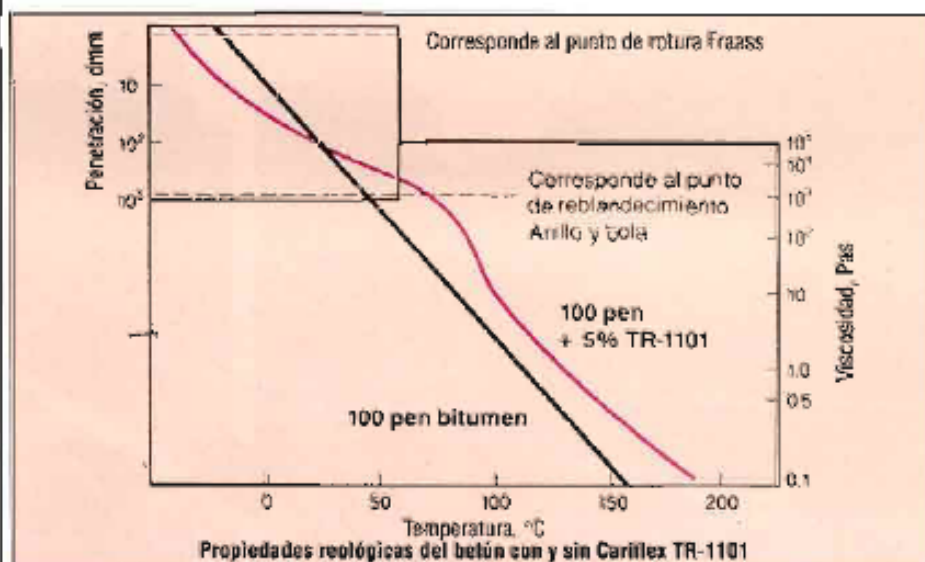
Para contrarrestar los efectos de las mayores cargas del tráfico, se utilizan cada vez con más frecuencia betunes modificados con polímeros, aplicando los adelantos obtenidos en el diseño de las mezclas bituminosas. Los principales objetivos técnicos de utilizar betunes modificados en las mezclas para pavimentación a fin de satisfacer las crecientes demandas del tráfico son:

- mayor resistencia a la deformación permanente;
- mejores características de fatiga a bajas temperaturas;

- mejor fuerza de adhesión/cohesión.

En este artículo se presenta un examen de los beneficios que ofrece la modificación del betón con Cariflex TR 1101, que es un copolímero de bloque estireno-butadieno-estireno (SBS). El SBS es un material singular, ya que el estireno y el butadieno son mutuamente incompatibles y, por lo tanto, pugnan por separarse. Sin embargo, al estar unidos químicamente, los bloques sólo pueden separarse a microescala y esto hace que los bloques terminales de poliestireno de varias moléculas se unan en "dominios". Los "dominios" forman los puntos de entrecruzamiento físico de una red tridimensional de polibutadieno, como puede verse en la figura (1). Los bloques

tibles y, por lo tanto, pugnan por separarse. Sin embargo, al estar unidos químicamente, los bloques sólo pueden separarse a microescala y esto hace que los bloques terminales de poliestireno de varias moléculas se unan en "dominios". Los "dominios" forman los puntos de entrecruzamiento físico de una red tridimensional de polibutadieno, como puede verse en la figura (1). Los bloques



“**C**uando se añade un elastómero SBS al betún caliente, absorbe maltenos del betún y su volumen aumenta hasta nueve veces.”

terminales le dan resistencia al polímero y los bloques intermedios le prestan al material su excepcional elasticidad (ref. 1). Los elastómeros SBS tienen propiedades mecánicas que se comparan favorablemente con las del caucho reticulado y, como la reticulación es física antes que química, el polímero puede ser liberado con sólo aumentar la temperatura por encima del punto de transición cristalina de los campos de poliestireno (alrededor de 10°C): la reticulación física se restablece con el enfriamiento.

Cuando se añade un elastómero SBS al betún caliente, absorbe maltenos del betún y su volumen aumenta hasta nueve veces. A concentraciones de 5 ó 6% (p/p) de SBS, el SBS hinchado representa una importante fracción del volumen del betún y forma una red continua en todo el aglomerante. A menores contenidos de SBS, la red puede no ser continua en todo el betún; pero aunque esté en forma fragmentada, constituye una parte substancial del volumen del betún. La formación de esta red continua queda indicada por el notable aumento del punto de reblandecimiento, que se produce entre 4 y 6% de SBS.

Ensayos de los betunes modificados con SBS

Lamentablemente, los ensayos normalizados de las propiedades reológicas —penetración y punto de reblandecimiento— de los betunes con diferente índice de penetración no proporcionan una descripción válida de los betunes modificados con polímeros. En el ensayo de penetración, ésta disminuye a medida que aumenta la concentración de SBS; pero en el mismo no se detecta la formación de la red continua. Se cree que esto es debido a la relación tensión-deformación no lineal en el caso de los betunes modificados con SBS: la red continua es efectiva a

Propiedades de los betunes modificados con Cariflex TR-1101 con equivalente resistencia a las rodadas; resultados obtenidos en experimentos en pistas de pruebas de laboratorio con mezcla bituminosa densa

Bitumen Grado	Cariflex TR-1101 % en peso	Pen a 25°C mm	Punto de reblandecimiento Anillo y bola °C	Punto de rotura Fraass a 5°C °C	Ductilidad a 5°C cm	Recuperación tras estiramiento 20cm (T=13°C) %
50/60	0	55	58	-10	5	10
60/70	2	60	51	-15	40-100	45
80/100	4	75	55	-20	8->150	78
180/220	6	100	75	-25	100->150	95

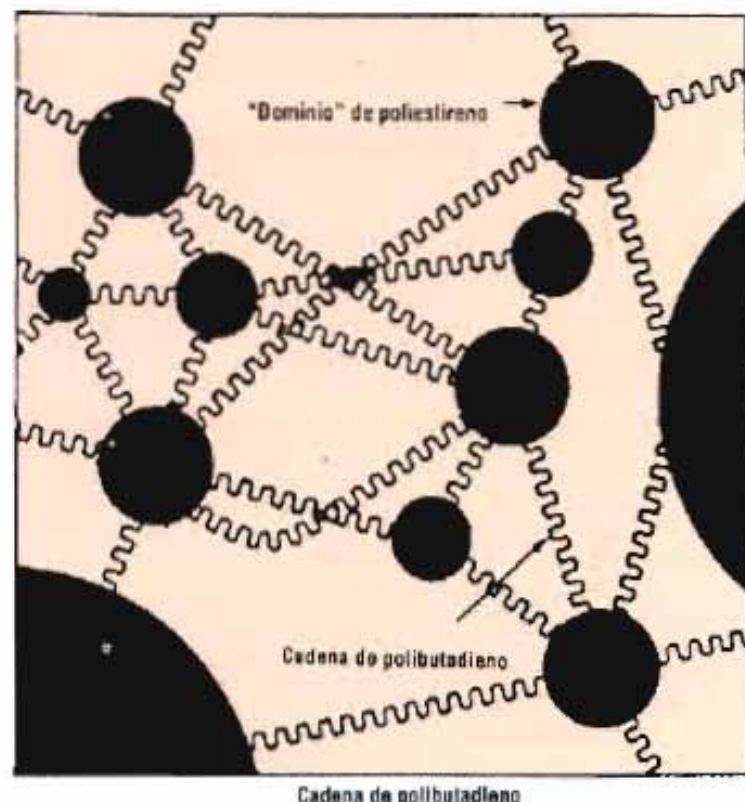


Figura 1 - Red tridimensional de SBS.

Cuadro 1 Comparación de la recuperación elástica de los betunes modificados con SBS y EVA

	SBS			EVA		
Alargamiento dúctil						
	0%	3%	7%	0%	3%	7%
20 cm	5%	74%	96%	17%	48%	52%
50 cm	4%	82%	97%	8%	43%	*

* La muestra falló después de 26 cm de alargamiento (recuperación 48%)

bajos niveles de tensión en el ensayo del punto de reblandecimiento, pero no a los niveles más altos de tensión en el ensayo de penetración. Se ha tratado de correlacionar la penetración y el punto de reblandecimiento de una amplia gama de betunes modificados con polímeros, con sus características de deformación en la mezcla bituminosa; se ha observado claramente que no existe tal relación.

No es sorprendente que sea así. La adición de SBS al betún aumenta el componente elástico del material y ninguno de los ensayos arriba mencionados mide la elasticidad o la re-

cuperación elástica. No obstante, la recuperación elástica puede determinarse mediante el ensayo de la recuperación dúctil. Este ensayo se está generalizando en Europa y ahora forma parte de la especificación alemana para betunes modificados con polímeros (ref. 2). Se realiza normalmente a 10, 13 o 25°C y la pieza de ensayo puede alargarse a 20 ó 50 cm y cortarse en dos mitades; después de una hora de recuperación, la recuperación elástica se mide como porcentaje de la deformación aplicada.

En el cuadro 1 pueden verse los resultados obtenidos a 13°C en be-

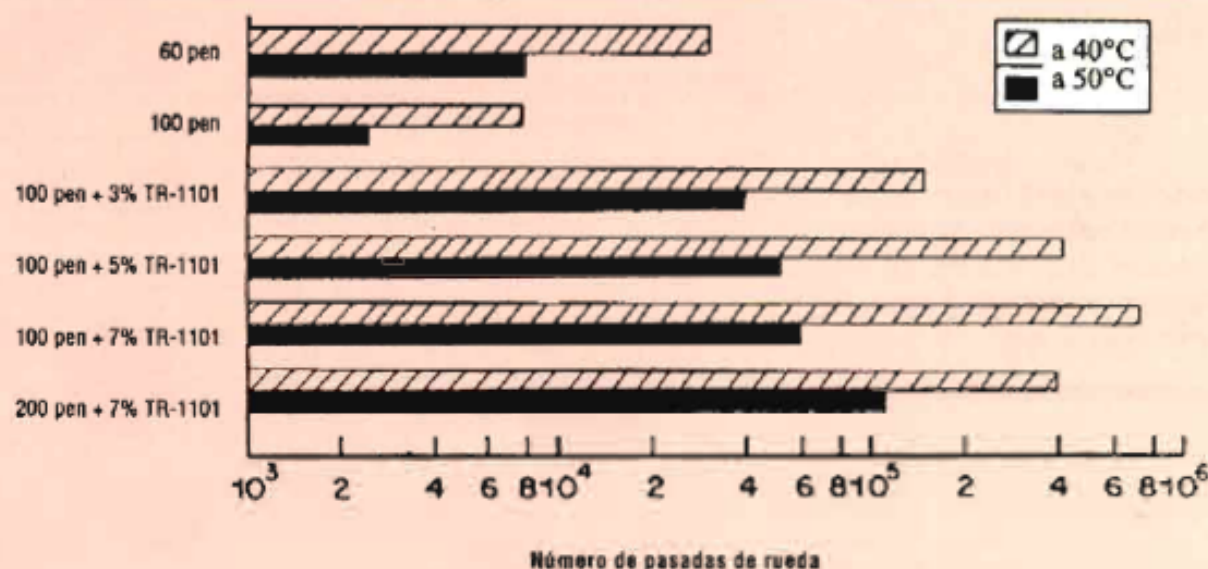


Figura 2 - Número de pasadas de rueda en la pista de pruebas de laboratorio, para lograr 10 mm de profundidad de rodada.

tunes modificados con SBS y con EVA (etileno-acetato de vinilo) después de un alargamiento de 20 cm y de 50 cm. Los resultados indican claramente que la adición de SBS mejora la recuperación elástica del asfalto, aunque la adición sea de 3% y la red polimérica no sea continua. Como se preveía, con EVA (un plástico), la recuperación elástica, aunque mejora, es mucho más baja que con SBS (un elastómero).

En principio, es obvio que la deformación es el resultado del flujo viscoso del betún. Sin embargo, los polímeros SBS pueden introducir altos niveles de elasticidad en el betún y, por definición, le dan altas viscosidades al betún modificado. Los

ensayos de laboratorio han demostrado que la recuperación elástica del betún modificado se relaciona razonablemente bien con la deformación en una pista de pruebas de laboratorio.

Resistencia a la deformación permanente

La pista de pruebas de laboratorio utilizada para evaluar las mezclas modificadas tiene una pista circular de 3,25 m de diámetro exterior, en la que pueden hacerse ensayos de pavimentos de 0,7 m de ancho, a temperaturas controladas con exactitud y que llegan a 60°C. La carga de rueda aplicada puede ser de 20 kN a una

velocidad de 16 km/h; la deformación de rodadas se registra en función del número de pasadas de rueda. Se extendieron pavimentos de mezclas bituminosas densas, fabricados utilizando unos betunes sin modificar y otros modificados con SBS, y se compactaron a 70 mm de espesor sobre capas de base de cemento estabilizadas; la prueba se realizó a 40°C y 50°C.

En la figura 2 se indican los resultados de los ensayos en cuanto al número de pasadas de rueda necesarias para lograr una profundidad de rodada de 10 mm a las dos temperaturas de ensayo. Los resultados demuestran que la vida útil del pavimento en lo que concierne a la re-

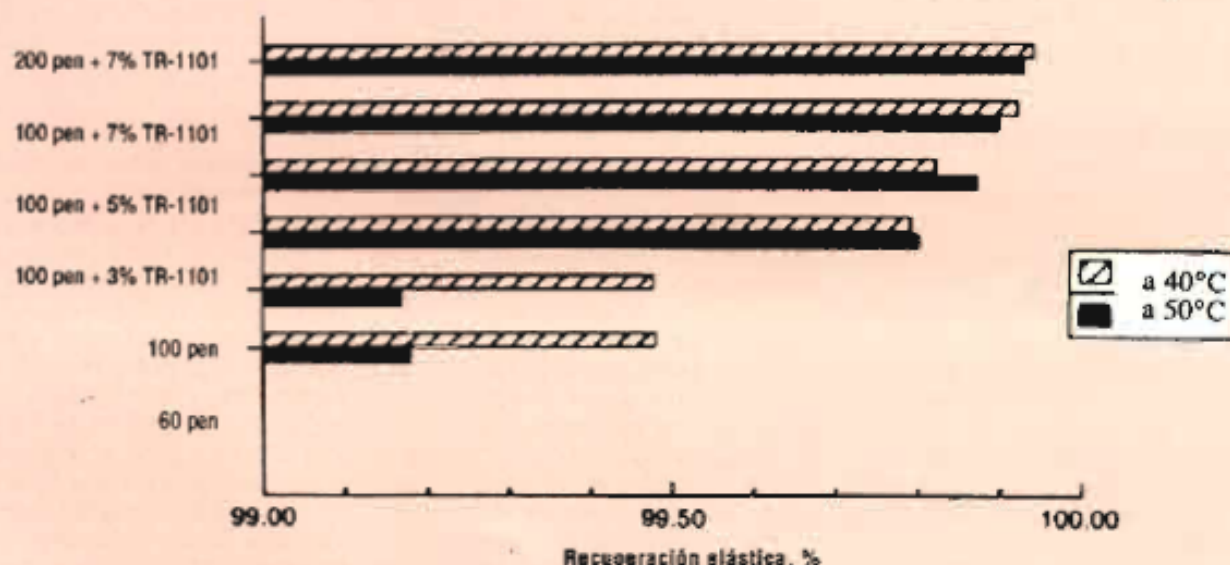


Figura 3 - Porcentaje de recuperación elástica de la deformación medido en la aplicación final de carga del ensayo de deformación dinámica.

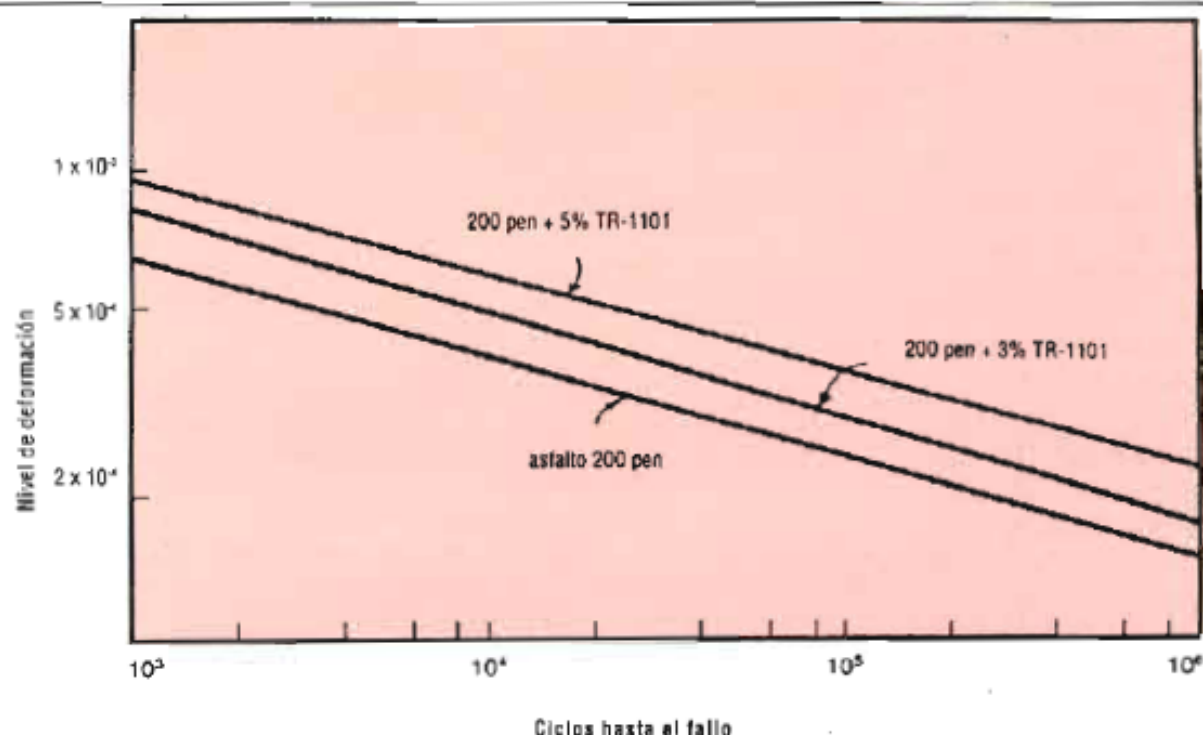


Figura 4 - Nivel de deformación en función de ciclos hasta el fallo a 0°C en los ensayos de fatiga por flexión en tres puntos con deformación constante.

sistencia a las rodadas aumenta en un orden de magnitud cuando se agrega 3% de SBS al betún. A concentraciones mayores, la mejora es todavía más acusada.

Como ya se ha dicho, la validez de los ensayos normalizados para los betunes convencionales, por ej., pruebas Marshall o de deformación estática, tiene que verificarse cuando los ensayos se aplican a los betunes modificados. Como esos dos ensayos son de carga continua, no permiten que los materiales se comporten de manera elástica y, en consecuencia, subestiman sustancialmente la resistencia a la deformación del betún modificado. Para simular con mayor precisión lo que sucede realmente en la carretera, se ha ideado un ensayo de deformación dinámica con cargas transitorias y períodos de re-

poso (ref. 3). En este ensayo, se aplica un esfuerzo de 0,1 MN/m² durante 0,2 s, seguido por un período de reposo de 1,8 s; el ciclo esfuerzo/reposo se aplica 1800 veces, es decir, durante una hora.

Los ensayos de deformación dinámica se realizaron a 40°C y 50°C con las mezclas evaluadas en la pista de pruebas de laboratorio. En la figura 3 puede apreciarse el porcentaje de recuperación elástica en la aplicación de carga final de la prueba. La parte complementaria, es decir, permanente, de la deformación, difiere en un factor de 8. La clasificación de la figura 3 corresponde estrechamente con la de las rodadas en la pista de pruebas de laboratorio, lo que indica que la mejor resistencia a la deformación de las mezclas que contienen betún modificado con SBS es el resultado de la mayor recuperación elástica.

Resistencia al agrietamiento por fatiga

Para comparar la resistencia al agrietamiento por fatiga de los betunes modificados y sin modificar, se emplean ensayos de fatiga por flexión en tres puntos a 0°C. Estos ensayos se realizan aplicando una deformación alternante constante en el centro de una viga de muestra de mezcla bituminosa densa; se mide el número de aplicaciones locales

necesarias para inducir "fallo" en la muestra. Generalmente se produce "fallo" cuando la carga necesaria para mantener el nivel de deformación desciende a la mitad de su valor inicial. Se someten a ensayo entre 8 y 10 muestras, en una variedad de niveles de deformación y se traza un gráfico de los resultados, indicando la deformación contra los ciclos hasta el fallo, como puede verse en la figura 4. Estos resultados demuestran claramente que la adición de SBS mejora la resistencia de la mezcla bituminosa densa al agrietamiento por fatiga. En las condiciones de ensayo, la adición de 5% de SBS aumenta casi en un orden de magnitud el número de aplicaciones locales necesarias para inducir el fallo.

Adhesión agregado/asfalto

Para poder medir la adhesión árido/betún y la cohesión del betún combinadas, se ideó un test en el que se mide la fuerza máxima necesaria para separar dos piezas de árido adheridas por 0,1 mm de betún. Los resultados de los ensayos indican que hasta con 3% de SBS, el aumento de fuerza máxima es similar a lo que se consigue utilizando betún convencional de la misma penetración. Sin embargo, cuando se forma una red continua de polímero (entre 5 y 7%, según sea la naturaleza del betún),

“ Los resultados demuestran claramente que la adición de SBS mejora la resistencia de la mezcla bituminosa densa al agrietamiento por fatiga. ”

“**E**n el caso de los betunes modificados con SBS, el ‘endurecimiento’ generalmente es menor porque el endurecimiento del betún base es contrarrestado en parte por cierta degradación del polímero. Sin embargo, como ya se ha mencionado, no son ni la penetración ni el punto de reblandecimiento los que se relacionan con el comportamiento en la práctica, sino la recuperación elástica.”

el aumento de fuerza adhesiva es mucho mayor de lo que puede esperarse a partir de la reducción en la penetración. De manera que, en comparación con el betún no modificado, la adición de SBS combina una mayor fuerza adhesiva con la máxima deformación permisible.

Características de envejecimiento

Durante su procesamiento en la planta de aglomerado, un betún convencional se endurece, principalmente debido a oxidación, la penetración se reduce entre 20 y 40% y el punto de reblandecimiento aumenta entre 3 y 5°C. En el caso de los betunes modificados con SBS, el “endurecimiento” generalmente es menor porque el endurecimiento del betún base es contrarrestado en parte por cierta degradación del polímero. Sin embargo, como ya se ha mencionado, no son ni la penetración ni el punto de reblandecimiento los que se relacionan con el comportamiento en la práctica, sino la recuperación elástica. Así, la recuperación elástica de los betunes del cuadro 1 se ha medido después del envejecimiento en ensayo en horno de película delgada (RTFOT), para determinar la pérdida de efectividad del SBS durante el envejecimiento. Los resulta-

Cuadro 2					
Comparación de la recuperación elástica de betunes modificados con SBS y EVA después del ensayo RTFOT					
Alargamiento dúctil RTFOT	SBS		EVA		
	3%	7%	3%	7%	
Antes	74%	96%	48%	52%	20 cm
Después	75%	90%	44%	**	
Antes	82%	97%	43%	*	50 cm
Después	82%	93%	***	-	

* La muestra falló después de 26 cm de alargamiento (recuperación 48%)

** La muestra falló después de 12 cm de alargamiento (recuperación 36%)

*** La muestra falló después de 28 cm de alargamiento (recuperación 36%)

dos que aparecen en el cuadro 2 demuestran que sólo se registró una reducción marginal de la recuperación elástica de los betunes modificados con SBS y con EVA después del ensayo RTFOT, pero la ductilidad del betún modificado con EVA se redujo sustancialmente.

La primera prueba práctica en carretera de un betún modificado con SBS se efectuó en el puente de St. Quentin, de Francia, en Marzo de 1976. Después de 9 años de servicio, se tomaron muestras de la superficie y se extrajo el betún modificado de las muestras (ref. 4). Las propiedades del aglomerante recuperado eran buenas en comparación con las características iniciales y sólo se observó una pequeña reducción de la penetración.

Conclusiones

Se ha demostrado que la modificación del betún con Cariflex TR-1101, copolímero de SBS en bloques, da como resultado cambios significativos de las propiedadesológicas del betún, aunque sea a concentraciones de 3% solamente.

La notable mejora de la resistencia a la deformación de la mezcla bituminosa en la pista de pruebas de laboratorio quedó confirmada en los experimentos de deformación dinámica y parece relacionarse bien con la mayor elasticidad del aglomerante.

Aunque la información contenida en esta publicación es, a nuestro leal entender, verdadera y correcta, no garantizamos ninguna de las recomendaciones o sugerencias que se hacen en ella porque las condiciones de uso quedan fuera de nuestro control.

La resistencia al agrietamiento por fatiga a baja temperatura (0°C) aumenta substancialmente con la adición de SBS al betún.

A concentraciones de SBS mayores de 3%, la fuerza adhesiva/cohesiva de los betunes modificados con SBS es mayor que la de los betunes convencionales de penetración equivalente.

El envejecimiento de los betunes modificados con SBS medido en la prueba de horno de película delgada laminada tiene un efecto insignificante en las propiedades de elasticidad del material.

Referencias

1. Vack, S.C. y van Gueswillingen, G.: Improvements of paving grade bitumens with SBS polymers (Perfeccionamiento de los asfaltos para pavimentación mediante el empleo de polímeros SBS). Actas del cuarto simposio de Eurobitume, Madrid, páginas 298-303, octubre de 1989.
2. Technische Lieferbedingungen für Polymermodifizierte Bitumen in Asphaltbeichten im Herstellungs-Teil I. Gebrauchsfertige Polymermodifizierte Bitumen TL-PmB 89 Teil I. Agosto de 1989.
3. Valberg, C.P., Lancon, D.J.L., De Hister, E. y Stoker, D.A.: Retention resistance of asphalt mixes containing non-conventional and polymer-modified binders. Actas de la Association of Asphalt Paving Technologists, vol. 59, febrero de 1990.
4. Harlin, J.P., Jirrel, J.L. y Blondel, J.C.: Twelve years of use without specific maintenance for the bitumen Cariflex TR-1101 bound wearing course of the St. Quentin bridge (El revestimiento asfáltico con Cariflex TR-1101 del puente St. Quentin doce años de servicio sin mantenimiento). Actas del cuarto simposio de Euro-bitume, Madrid, páginas 121-127, octubre de 1989.

Tampoco debe interpretarse nada de lo dicho en esta publicación como recomendación de utilizar ningún producto en conflicto con patentes vigentes que cubran cualquier material o su empleo.

Cariflex, Kraton y Flotainer son marcas registradas de Shell.