

LAS CERAS

COMO MODIFICADORES DE BETUNES ASFALTICOS

Félix E. Mariscal Martínez

El objetivo de este estudio, realizado en el Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX, es la determinación de la influencia de la modificación de un betún asfáltico mediante la adición de **Sasobit**[®], aditivo para betunes compuesto de hidrocarburos alifáticos sintéticos de cadena larga (C₄₀-C₁₂₀), obtenidos mediante el proceso de síntesis de Fischer Tropsch, tanto en las propiedades del ligante como en las de las mezclas bituminosas fabricadas con él.

De los resultados obtenidos se concluye que la adición de un 3% de este producto a un betún B 60/70 produce un betún tipo 40/50, reduciendo las temperaturas de fabricación y de compactación de la mezcla en unos 10 °C. El betún obtenido tiene unas características similares o muy cercanas a las de un betún modificado BM-2.

1. INTRODUCCIÓN

El Sasobit utilizado como aditivo para asfaltos se obtiene mediante el proceso de síntesis de Fischer Tropsch, presentando sus cadenas de 40 a 120 átomos de carbono dispuestos de forma lineal, lo que los diferencia notablemente de las parafinas existentes de forma natural en el betún, de menor peso molecular y con propiedades completamente distintas

Esta estructura le confiere unas propiedades únicas, entre las que cabe mencionar un Punto de Fusión y Solidificación próximo a los 100°C, con un rango de fusión situado entre 70 y 120 °C; una dureza excepcional, con un valor de Penetración a 25 °C menor de 1x 0,1 mm y una viscosidad muy baja del orden de 12 mPa.s a 135°C.

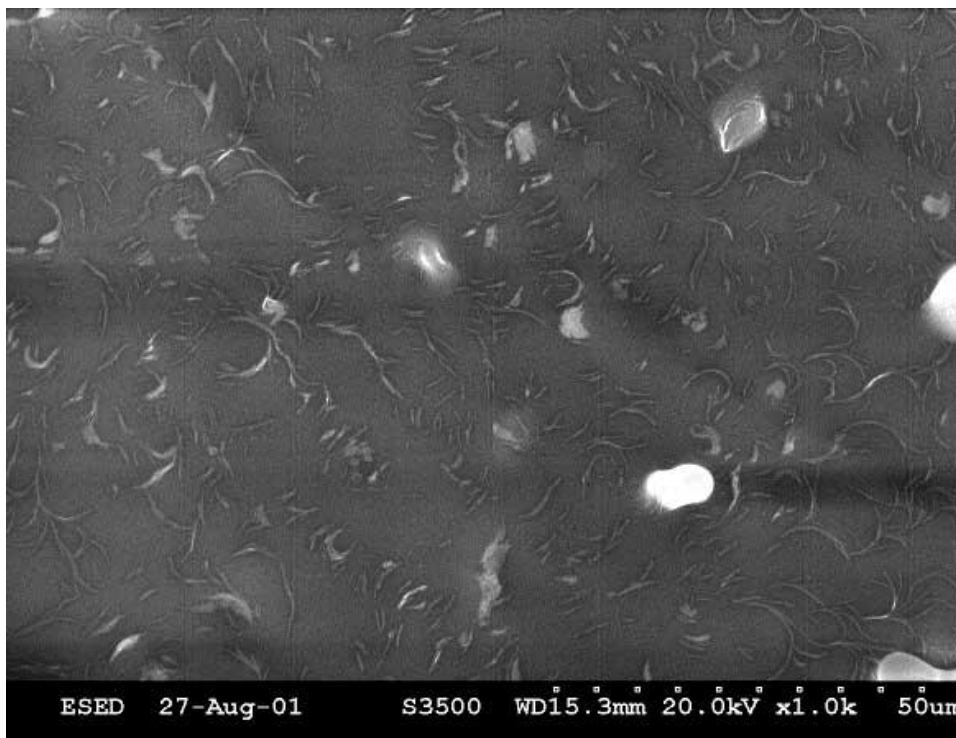


Figura 1. Imagen de microscopía electrónica de una mezcla de betún y Sasobit

Debido a su naturaleza hidrocarbonada, químicamente similar a la del betún, este aditivo se mezcla de forma homogénea con el betún a temperaturas por encima de 115°C., sin que se produzca separación de fases incluso después de la solidificación y recalentamiento del betún modificado.

A temperaturas entre 115 y 70 °C, el aditivo solidifica en el betún formando una distribución microscópica en forma de red de partículas de forma alargada que actúan reforzando el betún a las temperaturas habituales de trabajo de las mezclas bituminosas (Figura 1).

La adición de una pequeña cantidad de este producto, habitualmente un 3 %, sobre un betún asfáltico convencional modifica sustancialmente tanto sus propiedades como las de la mezcla bituminosa que se fabrique con él.

El ligante disminuye su viscosidad a temperaturas de mezclado y se endurece a las de servicio, aumentando el punto de reblandecimiento y disminuyendo su penetración sin alterar sus propiedades a bajas temperaturas, ni su resistencia al envejecimiento.

En la mezcla se produce una reducción de las temperaturas de fabricación y compactación, así como una mejora sustancial de la resistencia a las deformaciones plásticas sin afectar a otros parámetros como la cohesión de la mezcla o la resistencia al agrietamiento por fatiga

Hay que destacar que este aditivo se ha utilizado ya con éxito en otros países (Alemania, Francia, Reino Unido, Sudáfrica, Dinamarca, Italia, Francia, Inglaterra, Hungría, Suiza y Estados Unidos)

2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

El principal objetivo del trabajo realizado es la determinación de la influencia de la modificación de un betún asfáltico mediante la adición de Sasobit, tanto en las propiedades del ligante como en las de las mezclas bituminosas fabricadas con el mismo.

El trabajo se ha dividido en dos fases distintas:

- Una primera parte centrada en la caracterización de los ligantes, un B 60/70

utilizado como referencia (B-ref) y el mismo betún 60/70 modificado mediante la adición de un 3 % de Sasobit (B-Sas) en la que se han estudiado los cambios derivados de la modificación con este producto en la susceptibilidad térmica y las diferentes propiedades convencionales de un ligante.

- En la segunda fase del trabajo se han estudiado distintas propiedades (resistencia a las deformaciones plásticas, ensayo de inmersión compresión, trabajabilidad, módulos dinámicos, fatiga y resistencia a compresión diametral) de una mezcla S12 con ambos ligantes, con el fin de estudiar la influencia de la modificación con Sasobit en las mismas.

3. ESTUDIO DE LIGANTES

El estudio de ligantes ha consistido en la caracterización por métodos empíricos convencionales de un betún de referencia B 60/70 de uso habitual en nuestro país (B-ref) y del ligante resultante de modificar este mismo betún con un 3 % de Sasobit (B-Sas).

La realización de los ensayos convencionales de los betunes se realizó según lo descrito en las normas NLT correspondientes. La viscosidad se determinó utilizando un viscosímetro rotacional "Brookfield" según lo descrito en la norma ASTM D 4402-87.

La modificación del betún con Sasobit se realizó añadiendo el modificador sobre el betún caliente y homogeneizándolo con un agitador mecánico, no observándose ninguna dificultad en el proceso de mezclado. El modificador se utilizó en forma de pastillas sólidas de color claro, con una densidad de unos 940 kg/m³.

3.1. PROPIEDADES CONVENCIONALES DE LOS LIGANTES

En la Tabla 1 se recogen los resultados obtenidos para las propiedades de los ligantes junto a una columna en la que se presenta la relación obtenida entre los valores de las distintas propiedades para el B-Sas y el B-ref.

El ligante elegido como referencia (B-ref) es un betún B 60/70 y todas sus propiedades se encuentran dentro de los valores especificados en el PG-3 para este tipo de ligantes.

Estas propiedades varían fuertemente debido a la modificación del betún con un 3 % de Sasobit. La penetración disminuye de 60 a 42 x 0,1 mm y el punto de reblandecimiento aumenta de 50,2 a 76,8 °C, por encima del valor máximo especificado para un B 13/22 (72 °C) y dentro de lo que se exige a un betún modificado del tipo BM-2 o BM-1 (≥ 65 o ≥ 70 °C, respectivamente). Este endurecimiento se traduce también en un aumento del índice de penetración, propiedad que valora la susceptibilidad de la consistencia del ligante frente a la temperatura y que pasa de -0,7 a 3,4, valor propio de un ligante modificado con polímeros.

Sin embargo, pese a esta mejora en las propiedades a altas temperaturas, las propiedades a bajas temperaturas, medidas mediante el punto de fragilidad Fraass no se alteran, obteniéndose valores idénticos para ambos ligantes (-13 °C), lo que influye en el intervalo de plasticidad, calculado como la diferencia entre el punto de reblandecimiento y el punto de fragilidad Fraass, que da una idea sobre el intervalo de temperaturas entre las que el ligante mantiene unas propiedades adecuadas para su uso, y que pasa de 63,5 a 90,1 °C, aumentando casi un 50 %.

3.2. VISCOSIDAD VS. TEMPERATURA

Debido a las características del modificador utilizado se ha realizado, también, un estudio de variación de viscosidad frente a la temperatura utilizando un viscosímetro rotacional Brookfield.

En cuanto a la resistencia al envejecimiento, en ambos ligantes la variación de masa ha sido prácticamente nula, cumpliendo por tanto lo exigido a cualquier tipo de ligante. El incremento de anillo y bola es menor en el ligante modificado que en el betún de referencia, mientras la reducción de la penetración es algo superior. No obstante, ambos ligantes cumplen sobradamente las especificaciones recogidas en el PG-3.

Sobre el ligante modificado se han realizado también los ensayos propios de betunes modificados con polímero: estabilidad al almacenamiento, flotador y recuperación elástica.

La estabilidad al almacenamiento se ha valorado según la norma NLT-328 no encontrándose incrementos en los valores de penetración y punto de reblandecimiento, lo que indica que la mezcla betún-modificador es estable.

La consistencia mediante el ensayo de flotador a 60 °C ha sido superior a 7.200 s, más de 17 veces el valor medido para el B-ref y que cumpliría ampliamente lo especificado para un betún modificado con polímero.

En cuanto a la recuperación elástica, se ha medido un valor del 8 %, ligeramente por debajo de lo especificado para un BM-2 (10 %), pero superior al esperado en un betún sin modificar.

Si se observan los resultados obtenidos (Tabla 1) se puede ver como a 60 °C el valor de viscosidad de B-Sas es aproximadamente 4,5 veces el de B-ref, mientras que al aumentar la temperatura a 80 °C los valores prácticamente se igualan (B-Sas = 0,95 B-ref), pasando al seguir aumentando la temperatura a ser mayor la viscosidad de B-ref, manteniendo una relación de viscosidades aproximada de B-Sas \approx 0,6 B-ref.

Norma	B-ref	B-Sas	B-Sas/ B-ref	Unidad
-------	-------	-------	-----------------	--------

Ligante original

Penetración (25 °C)	NLT-124	60	42	0,70	0,1 mm
Índice de penetración	NLT-181	-0,7	3,4	4,1*	—
Anillo y bola	NLT-125	50,2	76,8	1,53	°C
Fraass	NLT-182	-13	-13	1,00	°C
Ductilidad (25°C)	NLT-126	>100	>100	1,00	cm
Intervalo de plasticidad	—	63,5	90,1	1,42	°C
Estabilidad almacenamiento al (Δ anillo y bola) (Δ penetración)	NLT-328	—	0,0	—	°C
		—	0,0	—	0,1 mm
Rec. elástica por torsión (25 °C)	NLT-329	—	8	—	%
Consistencia (flotador 60 °C)	NLT-183	410	> 7200	> 17,56	s
Viscosidad: (60 °C)	ASTM D 4402	590.600	2.640.000	4,47	mPa.s
(80 °C)		53.509	50.706	0,95	mPa.s
(100 °C)		5.175	3.637	0,70	mPa.s
(135 °C)		519	333	0,64	mPa.s
(160 °C)		203	118	0,58	mPa.s
(180 °C)		84	59	0,70	mPa.s
VTS	ASTM D 2493	-3,54	-5,2 -3,58	1,46 1,01	—
T de mezcla (200 mPa.s)	—	157	147	10*	°C
T de compactación (300 mPa.s)	—	148	138	10*	°C

Residuo película fina

Variación de masa	NLT-185	0,00	0,00	1,00	%
Penetración (25 °C)	NLT-124	42	28	0,67	0,1 mm
Índice de penetración	NLT-181	-0,5	2,4	2,9*	—
Penetración conservada	NLT-124	71	66	0,93	%
Anillo y bola	NLT-125	54,7	76,4	1,40	°C
Variación anillo y bola	NLT-125	5	0,4	0,08	°C
Ductilidad (25 °C)	NLT-126	>100	85	< 0,85	cm

Tabla 1. Propiedades de los ligantes B-ref y B-Sas.

Estos resultados implican que a las temperaturas de uso del pavimento el B-Sas tiene una mayor viscosidad y por tanto mejores propiedades que el B-ref. Sin embargo, a mayores temperaturas, como las utilizadas durante los procesos de fabricación y extendido de las mezclas, la viscosidad de B-Sas es menor que la de B-ref, lo que implica menores temperaturas de fabricación y compactación.

Esto se ve claramente en la Figura 1, en la que se representa el Logaritmo neperiano del logaritmo decimal de la viscosidad ($\ln(\log \eta)$) frente al logaritmo decimal de la temperatura ($\log T$). En ella se puede observar como los valores obtenidos para el B-ref se ajustan a una recta con una pendiente (VTS) de -3,55, mientras que para los de B-Sas se observan dos rectas distintas: una antes de los 100 °C con una pendiente más pronunciada (VTS = -5,2) y otra prácticamente paralela y por debajo de la obtenida para B-ref (VTS = -3,58).

confiriendo al betún una mayor consistencia mientras que al alcanzar los 100 °C pasan a estado líquido disminuyendo la viscosidad del ligante.

Por último, al calcular la temperatura de mezcla como aquella para la que la viscosidad del ligante son 200 mPa.s y la de compactación como aquella en la que son 300 mPa.s, se obtienen unas temperaturas de fabricación de 157 °C para el B-ref y de 147 °C para el B-Sas y unas temperaturas de compactación de 148 °C para el B-ref y de 138 °C para el B-Sas, lo que implica que la modificación del ligante con Sasobit permite la fabricación, extendido y compactación de las mezclas a temperaturas inferiores hasta en 10 °C.

4. ESTUDIO DE MEZCLAS BITUMINOSAS

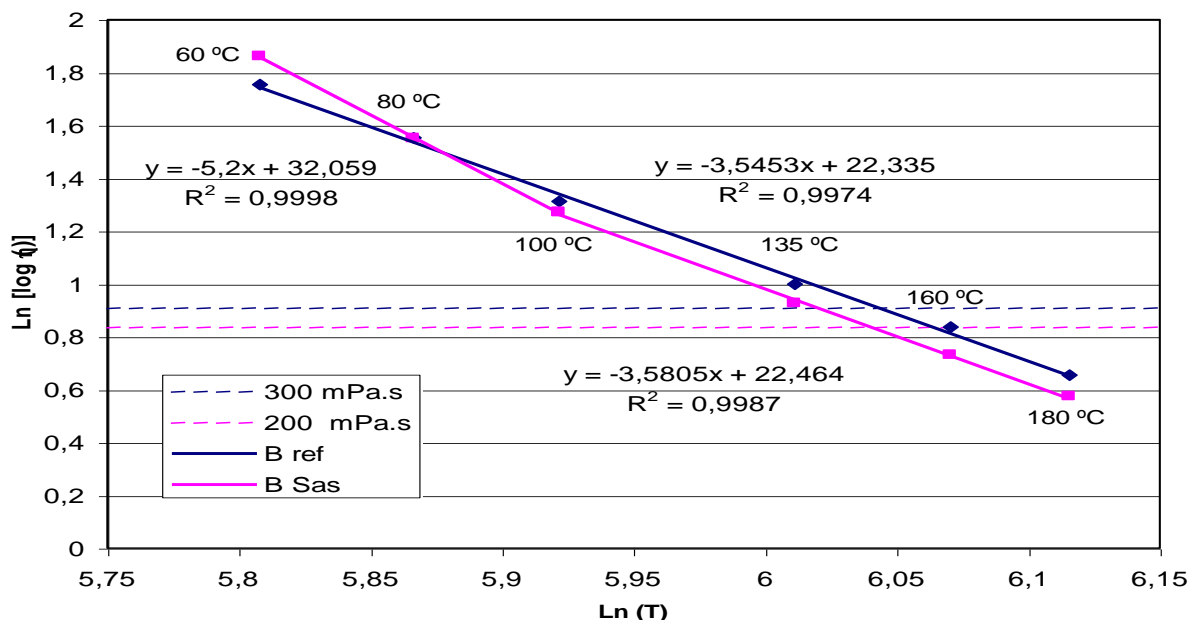


Figura 1. Viscosidad frente a temperatura.

La explicación a esta diferencia viene dada por la naturaleza del modificante, que tiene un punto de fusión en torno a los 100 °C, antes de esta temperatura los hidrocarburos lineales que lo forman se encuentran en estado sólido

Para su utilización en el presente estudio se ha diseñado una mezcla S12 para capas de rodadura, siguiendo los criterios habituales de dosificación a partir del ensayo Marshall y las

especificaciones recogidas en el artículo 542 “mezclas bituminosas en caliente” del Pliego

de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG3).

		Norma	B-ref	B-Sas	B-Sas/ B-ref	Unidad
ENSAYO DE INMERSIÓN COMPRESIÓN						
Resistencia	Aire	NLT-162	29,5	33,9	1,15	kg/cm ²
	Agua		28,1	28,8	1,02	
	Conservada		95	85	0,82	%
RESISTENCIA A LAS DEFORMACIONES PLÁSTICAS						
V105/120	4,9 % s/a	NLT-173	3,7	2,2	0,59	µm/min
	5,2 % s/a		11,7	7,1	0,61	
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAMETRAL						
Resistencia	5 °C	NLT-346	30,7	34,4	1,12	kg/cm ²
	25 °C		9,5	9,2	0,97	
MEDIDA DE MÓDULOS DINÁMICOS						
Módulo	20 °C / 10 Hz	NLT-349	7134	7108	1,00	MPa
Fase			20,8	21,7	1,04	°
RESISTENCIA AL AGRIETAMIENTO POR FATIGA						
ε ₆		NLT-350	95,0	95,6	1,01	Mpa
M ₁₅₀			7546	7744	1,03	(x 10 ⁻⁶)

Tabla 2. Propiedades de las mezclas

fabricadas con los ligantes B-ref y B-Sas.

No se observaron grandes diferencias entre los resultados del ensayo Marshall obtenidos utilizando B-ref y B-Sas, pudiéndose seleccionar como óptimo un único porcentaje de ligante (4,9 % s/a) para ambos ligantes.

Una vez diseñada la mezcla, se han estudiado distintas propiedades (resistencia a las deformaciones plásticas, ensayo de inmersión compresión, trabajabilidad, módulos dinámicos, fatiga y resistencia a compresión diametral) de la misma utilizando ambos ligantes (B-ref y B-Sas), con el fin de estudiar la influencia de la modificación del ligante con Sasobit en las mismas.

En la

Tabla 2 se recogen los resultados obtenidos para las propiedades de las mezclas fabricadas con los ligantes junto a una columna en la que se presenta la relación obtenida entre los valores de las distintas propiedades para el B-Sas y el B-ref.

4.1. ENSAYO DE INMERSIÓN COMPRESIÓN

La susceptibilidad al agua de las mezclas diseñadas se ha estudiado, mediante el ensayo de inmersión compresión (NLT-162), para ambos ligantes (B-ref y B-Sas) y con un contenido del 4,6 % s/a, para situar la mezcla en condiciones desfavorables. Los índices de resistencia conservada obtenidos están claramente por encima de los límites fijados en las especificaciones (75%) tanto en el caso de la mezcla con ligante B-ref (95 %) como en el de la fabricada con B-Sas (85 %).

Hay que destacar que, aunque se produjo un ligero descenso de la resistencia conservada en el ligante modificado, las resistencias obtenidas con el mismo son similares o superiores a las obtenidas con el betún de referencia tanto en aire ($R_{BSas} = 33,9 \text{ kg/cm}^2$, $R_{Bref} = 29,5 \text{ kg/cm}^2$) como en agua ($R_{BSas} = 28,9 \text{ kg/cm}^2$, $R_{Bref} = 28,1 \text{ kg/cm}^2$).

4.2. RESISTENCIA A LAS DEFORMACIONES PLÁSTICAS

La resistencia a las deformaciones plásticas se ha estudiado, mediante el ensayo de pista de laboratorio (NLT-173), para ambos ligantes (B-ref y B-Sas) y con dos contenidos

diferentes de los mismos, un 4,9 % s/a, y un 5,2 % s/a para situar a la mezcla en condiciones desfavorables.

Los resultados de velocidad de deformación obtenidos para el óptimo de ligante (3,7 $\mu\text{m}/\text{min}$ para la mezcla fabricada con B-ref y 2,2 $\mu\text{m}/\text{min}$, para la fabricada con B-Sas) son muy inferiores al valor recogido en las especificaciones para un tráfico T1 (15 $\mu\text{m}/\text{min}$) e incluso al especificado para tráficos más pesados como T0 y T00 (12 $\mu\text{m}/\text{min}$).

En el caso de las mezclas fabricadas con exceso de ligante (5,2 % s/a) de nuevo las mezclas fabricadas con B-ref muestran una velocidad de deformación (11,7 $\mu\text{m}/\text{min}$) superior, en un 65 %, a las obtenidas con B-Sas (7,1 $\mu\text{m}/\text{min}$). Con este contenido de ligante la media de las velocidades obtenidas con B-ref se encuentra ya en el límite de lo especificado para tráficos pesados (12 $\mu\text{m}/\text{min}$), e incluso el resultado de una de las probetas se encuentra por encima de los 15 $\mu\text{m}/\text{min}$ exigidos para un tráfico T1, lo que no sucede en los resultados obtenidos para la mezcla fabricada con B-Sas, que se encuentran en las tres probetas bastante por debajo de los 12 $\mu\text{m}/\text{min}$.

4.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DIAMETRAL

Con el fin de evaluar su cohesión, se ha realizado sobre ambas mezclas el ensayo de tracción indirecta o brasileño (NLT-346) con un 4,9 % s/a de ligante

Las resistencias obtenidas para las mezclas con B-Sas ($R_{25^\circ\text{C}} = 9,15$ y $R_{5^\circ\text{C}} = 34,44$) son muy similares a las obtenidas para las mezclas con B-ref ($R_{25^\circ\text{C}} = 9,47$ y $R_{5^\circ\text{C}} = 30,7$) y se encuentran dentro de los valores que se obtienen habitualmente en este ensayo para mezclas de este tipo, de lo que se deduce que la modificación del ligante no afecta a la cohesión de la mezcla ni a la sensibilidad de dicha cohesión a la temperatura.

4.4. MEDIDA DE MÓDULOS DINÁMICOS

El ensayo se ha realizado según lo descrito en la norma NLT-349, a -15, 5, 20 y 40 °C de temperatura y utilizando frecuencias de 5, 10 y 20 Hz. Los valores obtenidos se han utilizado para calcular la curva maestra de las mezclas,

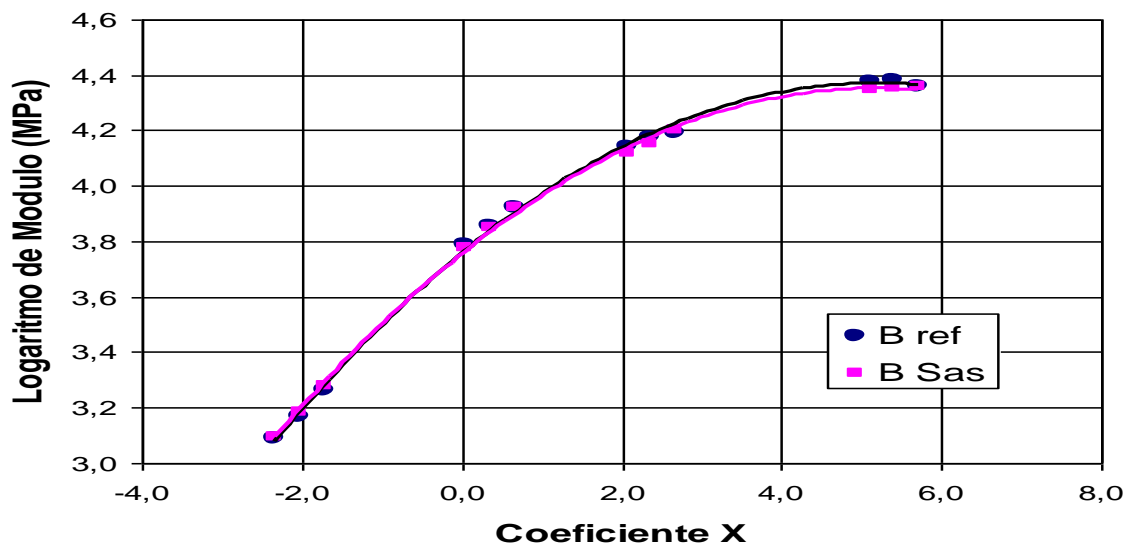


Figura 2. Curva maestra de las mezclas fabricadas con B-ref y B-Sas.

en las que se muestra la dependencia de las propiedades de la mezcla respecto de las condiciones de temperatura y frecuencia.

Las curvas maestras calculadas para ambas mezclas (Figura 2) son prácticamente

superponibles. Los módulos y fases correspondientes a una temperatura de 20 °C y frecuencia de 10 Hz, que suele utilizarse para caracterizar la rigidez de las mezclas bituminosas, prácticamente iguales para las mezclas fabricadas con B-Sas ($M = 7108$ MPa,

fase = 20,8°) y con B-ref (M = 7134 MPa, fase = 21,7°), estando en ambos casos dentro de los valores esperados para una mezcla de estas características.

Es decir, aunque el uso del modificador aumenta la viscosidad del ligante, el módulo dinámico de la mezcla a 20 °C no se ve afectado, de forma similar a lo que sucede con el uso de algunos betunes modificados con polímero.

4.5. RESISTENCIA AL AGRIETAMIENTO POR FATIGA

La resistencia al agrietamiento de la mezcla bituminosa se estima mediante su ley de fatiga, que relaciona los valores de la deformación inicial (ϵ_i) con el número de ciclos resistidos por la probeta (N) y que se determina aplicando el procedimiento descrito en la norma NLT-350.

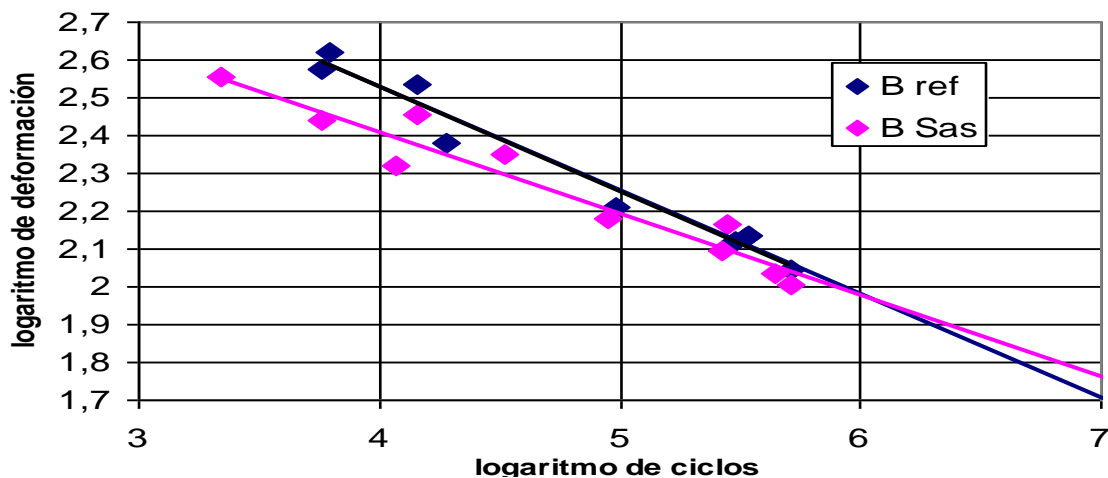


Figura 3. Ley de fatiga de las mezclas fabricadas con B-ref y B-Sas.

En la

Tabla 2 se recogen los parámetros ϵ_6 (deformación para una duración de un millón de ciclos) y M_{i50} (módulo dinámico para una deformación de 50×10^{-6}) que caracterizan la resistencia a fatiga y el módulo dinámico de cada mezcla bituminosa y que como puede observarse son prácticamente iguales para las mezclas fabricadas con B-Sas y B-ref.

Las leyes de fatiga de las mezclas están representadas en la

Figura 3, donde se observa como la obtenida para la mezcla fabricada con B-ref tiene una pendiente más pronunciada que la obtenida con B-Sas indicando que, para los niveles de carga habituales en carretera, las mezclas con B-Sas son más duraderas, pues aguantan un mayor número de repeticiones para una misma carga.

El valor obtenido para la pendiente ($B = -0,2152$) y la deformación correspondiente a una duración de un millón de ciclos ($\epsilon_6 = 95,6$) en el caso de la mezcla fabricada con B-Sas se encuentran dentro de los valores habituales para ese tipo de mezclas.

4.6. ESTUDIO DE TRABAJABILIDAD Y COMPACTABILIDAD

En el estudio de ligantes se ha visto como la modificación del betún de referencia reducía su viscosidad a altas temperaturas, lo que implicaba un descenso de 10 °C en las temperaturas de mezcla y compactación calculadas (Tabla 1). Para ver la influencia de esta variación sobre las

propiedades de la mezcla se ha procedido a la fabricación y posterior ensayo de probetas Marshall con los dos ligantes, utilizando tres temperaturas diferentes de fabricación (130, 140 y 150 °C). El ensayo se realizó según lo descrito en la norma NLT-159 y se fabricaron cuatro probetas por mezcla y temperatura.

En las Tabla 3 se recogen los resultados del ensayo Marshall de las mezclas fabricadas con los

ligantes B-ref y B-Sas a distintas temperaturas y en la Figura 4 se representan estos datos en función de la temperatura de fabricación.

	T (°C)	B-ref	B-Sas	B-Sas/ B-ref	Unidad
Densidad	130	2,329	2,328	1,00	g/cm ³
Huecos mezcla		6,1	6,2	1,02	%
Estabilidad		11,64	13,75	1,18	N
Densidad	140	2,327	2,340	1,01	g/cm ³
Huecos mezcla		6,2	5,7	0,92	%
Estabilidad		11,68	14,33	1,23	N
Densidad	150	2,340	2,345	1,00	g/cm ³
Huecos mezcla		5,7	5,4	0,95	%
Estabilidad		13,22	14,12	1,07	N

Tabla 3. Ensayo Marshall a distintas temperaturas con ligantes B-ref y B-Sas.

En la Figura 4 podemos observar como los resultados obtenidos a 150 °C son similares para ambos ligantes, estando en todos los casos dentro de los valores exigidos por las especificaciones. Sin embargo, al bajar la temperatura de fabricación a 140 °C los valores obtenidos para uno y otro ligante se alejan, obteniéndose en el caso de la mezcla fabricada con B-ref una estabilidad de 11,68 kN, menor que la exigida en las especificaciones (12,5 kN) así como un contenido de huecos en mezcla de 6,2 %, también fuera de las especificaciones., mientras los resultados obtenidos para el B-Sas son similares a los obtenidos al fabricar a 150 °C y están de nuevo dentro de lo exigido en las especificaciones.

La explicación a esta diferencia se encuentra en las temperaturas de compactación calculadas en el apartado del estudio de ligantes. En el caso del B-ref se había obtenido una temperatura de 148 °C por lo que, fabricando a 140 °C se está compactando 8 °C por debajo de la temperatura calculada y

el ligante no está lo suficientemente fluido para conseguir una buena compactación.

Sin embargo, para el B-Sas la temperatura de compactación calculada era de 138 °C, es decir 2 °C por debajo de la utilizada en la fabricación de las probetas, por lo que el ligante seguía teniendo una viscosidad suficientemente baja.

Finalmente, al bajar de nuevo la temperatura de fabricación hasta los 130 °C, los valores obtenidos para las probetas fabricadas con el B-ref son similares a los obtenidos a 140 °C. Los obtenidos para las fabricadas con B-Sas a 130 °C, sin embargo, varían respecto a los de 140 °C, especialmente en las densidades y huecos en mezcla en los que se acerca a los obtenidos para el B-ref, quedando fuera de los valores especificados, algo que cabía esperar, pues ahora la temperatura de fabricación (130 °C) está también por debajo de la temperatura de compactación calculada para el B-Sas (138 °C).

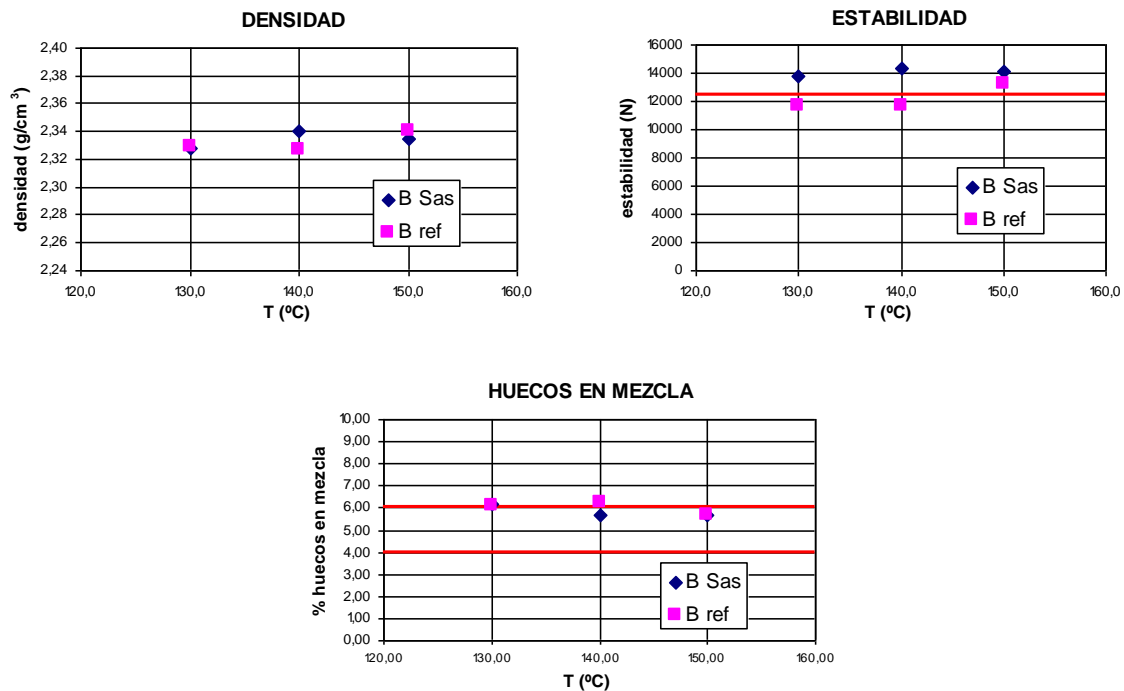


Figura 4. Ensayo Marshall con B-ref y B-Sas a distintas temperaturas de fabricación.

5. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados descritos a lo largo de este estudio, se puede concluir que la modificación de un ligante B 60/70 con hidrocarburos alifáticos lineales de alto peso molecular modifica sustancialmente sus propiedades:

- Aumenta la viscosidad a las temperaturas de servicio transformándolo en un betún más duro que cumple las especificaciones exigidas a un BM-2 (excepto la recuperación elástica (8 % frente al 10 % exigido).
 - No altera sus propiedades a bajas temperaturas.
 - Aumenta el índice de penetración a valores propios de un betún modificado con polímeros.
 - Aumenta el intervalo de plasticidad en casi un 50%, lo que implica un mayor intervalo de temperaturas de uso.
 - Disminuye la viscosidad a altas temperaturas bajando 10 °C las temperaturas de mezcla y compactación.
- En cuanto a la utilización del ligante modificado en la fabricación de mezclas bituminosas:
- No tiene gran influencia en el diseño Marshall de la mezcla, habiéndose podido elegir una misma dosificación para el ligante modificado y el de referencia.
 - Aumenta la resistencia a las deformaciones plásticas de las mezclas.
 - No supone un incremento en la susceptibilidad al efecto del agua.
 - No implica ninguna variación en la cohesión
 - No supone ninguna variación en la rigidez de la mezcla bituminosa fabricada con el mismo en el rango de temperaturas (-15 a 40 °C) y frecuencias (5 a 20 Hz) medido.
 - No supone una merma en la resistencia al agrietamiento por fatiga de la mezcla bituminosa fabricada con el mismo.
 - Implica una reducción en las temperaturas de fabricación y compactación de la misma.

Teniendo esto en cuenta la utilización de este tipo de modificadores debe ser beneficiosa en mezclas bituminosas que van a ir en capa de rodadura o en capa intermedia en zonas susceptibles a las deformaciones plásticas (carriles con intenso tráfico pesado, tramos con pendientes elevadas, áreas de tráfico canalizado como túneles o estructuras, zonas

climáticas con elevadas temperaturas...).

También puede utilizarse en cualquier situación en la que sea necesario reducir la temperatura de aplicación de la mezcla, o añadirse a los betunes modificados para reducir sus temperaturas de fabricación y compactación.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Butz, T., Rahimian I. y Hildebrand G.: "Modifikation von Straßenbaubitumen mit Fischer-Tropsch-Paraffin". Bitumen N° 62, 2000, 91-96.
2. Butz, T., Hildebrandt, G., Richter, F. y Riebesehl, G.: "Drei Jahre Sasobit – ein Erfahrungsbericht". Asphalt N°5, 2000, 11-17.
3. Butz, T., Hildebrand, G. y Rahimian, I.: "Modification of Road Bitumens with the Fischer-Tropsch Paraffin Sasobit". Journal of Applied Asphalt Binder Technology N° 1, 2001, 70-86.
4. Damm, K.-W., Abraham, J., Butz, T., Hildebrand, G., Riebesehl, G.: "Asphalt Flow Improvers As Intelligent Fillers For Hot Asphalts – A New Chapter In Asphalt Technology". Journal of Applied Asphalt Binder Technology N° 2, 2002, 36-69.
5. Richter, F.. Asphalt Stability Improved by Using Synthetic Wax Additives, Better Roads 2002, 34-35.
6. Butz, T. Viskositätssenkende Additive im Asphaltstraßenbau, Gestrata Journal N ° 25, 2003, 21-30