

Estudio comparativo del comportamiento reológico de dos betunes asfálticos modificados con cauchos termoplásticos de estireno-butadieno-estireno (SBS)¹

G. RICO (*); L. PARGADA (**); R. SOLERA (***); M. BLANCO (****)

RESUMEN Desde el punto de vista reológico, los betunes asfálticos presentan un comportamiento newtoniano a las temperaturas de uso. Su modificación mediante la adición de cauchos termoplásticos de estireno-butadieno-estireno (SBS) les confieren naturaleza pseudoplástica a dichas temperaturas, transformándolos en nuevos materiales con un amplio margen de aplicaciones en el campo de la obra pública.

COMPARATIVE STUDY OF RHEOLOGICAL PERFORMANCE OF TWO ASPHALTIC BITUMENS MODIFIED BY THERMOPLASTIC ELASTOMERS OF STYRENE-BUTADIENE-STYRENE (SBS)

ABSTRACT *From the rheological point of view, the asphaltic bitumens have a "Newtonian" behaviour at common (used) temperatures. These bitumens are modified by the addition of thermoplastic rubber of styrene-butadiene-styrene. This way, they acquire a pseudoplastic behaviour and are transformed into a new materials which have lots of possible applications in the public work.*

Palabras clave: Impermeabilización; Betunes asfálticos; Cauchos termoplásticos; Estireno-butadieno-estireno.

1. INTRODUCCIÓN

Los productos bituminosos se encuentran entre los materiales más antiguos conocidos y utilizados por el hombre, las múltiples citas bíblicas son una muestra de ello y, concretamente, su empleo era, por lo general, como impermeabilizantes (1). Investigadores americanos han dado cuenta del empleo de estas sustancias en tiempos muy remotos, como lo muestra el yacimiento californiano de Rancho Brea, cuyo nombre ya es de por sí bastante indicativo (2). Eric Bodka, profesor de la Universidad de París publica en la prestigiosa revista *Nature* en 1996 un trabajo donde afirma que en el Paleolítico Medio se empleaba betún como adhesivo (3).

Betunes, metales, materiales inorgánicos que se emplearon en los albores de la Historia siguen usándose con profusión y no por ello pierden actualidad. En lo relativo a los materiales bituminosos habría que recordar que son sustancias que fluyen con facilidad a temperaturas elevadas y, por el contrario, se vuelven quebradizos a bajas temperaturas; sin embargo, otras propiedades como su inercia química, durabilidad e impermeabilidad les convierten en materiales útiles y, hasta cierto punto, económicos para el campo de la construcción.

Los inconvenientes citados anteriormente se obvian por medio de una serie de procedimientos que cronológicamente podrían enumerarse como su transformación en oxiasfaltos, incorporación de aditivos de tipo anfígeno, cambios estructurales mediante reacciones catiónicas orgánicas o por modificación con polímeros (4-7).

La modificación de los betunes de destilación ordinaria puede realizarse con plásticos como es el caso del polipropileno atáctico (APP) o bien con elastómeros, como es el caso del copolímero termoplástico estireno-butadieno-estireno (SBS).

En este artículo se presentan las propiedades tecnológicas de dos betunes y de las ocho mezclas obtenidas por adición de caucho termoplástico de estireno-butadieno-estireno en distintas proporciones, así como las características reológicas tanto de los productos originales como de los nuevos materiales obtenidos en el proceso de modificación.

Las propiedades tecnológicas de los nuevos materiales se han determinado con el fin de comprobar la validez de los

¹ Este trabajo es fruto del convenio de colaboración entre el Área de Materiales del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y la Sección Departamental de Química Orgánica I de la Universidad Complutense de Madrid.

(*) Licenciada en Ciencias Químicas. Profesora Titular de E.U. del Departamento de Química Orgánica. Universidad Complutense de Madrid.

(**) Doctora en Ciencias Químicas. Jefe de la Sección Departamental de Química Orgánica I. Universidad Complutense de Madrid.

(***) Licenciada en Ciencias Químicas. Jefe de Servicio. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX).

(****) Doctor en Ciencias Químicas. Jefe del Área de Materiales. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX).

mismos de acuerdo con la normativa vigente en nuestro país, así como con la normativa europea que en estos momentos está elaborando CEN (Comité Europeo de Normalización). En función de los valores obtenidos se podrá conocer qué productos son aptos para su aplicación en el campo de la impermeabilización. La metodología experimental empleada se encuentra ampliamente descrita en la literatura científica (8).

Para un mejor conocimiento de los materiales sintetizados, se han determinado una serie de nuevas características que contribuyen al mejor conocimiento de los mismos (9-10). De todas ellas, y por la extensión a que nos condiciona el artículo, nos vamos a referir a las de carácter reológico. Es bien sabido que en los materiales de base bituminosa no tiene mucho sentido hablar de viscosidad, puesto que en la práctica cuando tiene lugar su puesta en obra tanto por la propia naturaleza de los citados materiales como de las temperaturas de aplicación, el material tiene carácter diferente al newtoniano. Todo esto lleva consigo la necesidad de conocer su comportamiento reológico en una gama amplia de temperaturas (11-12).

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. MATERIALES EMPLEADOS

Se han utilizado dos betunes asfálticos (150/200) de distintos orígenes que denominamos M y C y, como agente modificador, un caucho termoplástico comercial de estireno-butadieno-estireno (SBS). La incorporación del elastómero a los betunes se ha llevado a cabo en proporciones 5, 8, 11 y 14%.

La preparación de los betunes modificados se realizó introduciendo el betún en un recipiente metálico y elevando la temperatura hasta 160° C, con agitación constante. Una vez alcanzada dicha temperatura se añadió el polímero y, paulatinamente, se aumentó la agitación hasta 800 r.p.m. El tiempo para conseguir una buena homogeneización de las mezclas es de 3 h.

2.2. CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA

Tanto los betunes originales como los productos obtenidos en su modificación, se han sometido a una serie de pruebas de tipo convencional con objeto de cuantificar su modificación y determinar su idoneidad como material impermeabilizante en Ingeniería Civil, según la normativa vigente. Las pruebas a que hacemos referencia son:

- Penetración.
- Punto de reblandecimiento, anillo y bola.
- Punto de rotura Fraas.
- Ductilidad.
- Índice de penetración.
- Pérdida por calentamiento.
- Fluencia.
- Plegabilidad a -15° C.

2.3. CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA

El comportamiento reológico de los materiales se ha determinado a partir de los diagramas tensión frente a velocidad de deformación.

La obtención de estos diagramas reológicos se ha realizado a partir de los datos experimentales obtenidos empleando un reómetro capilar INSTRON, modelo 321L, de gran precisión en lo referente a controles de temperatura, velocidades de deformación y medida de cargas.

Los ensayos se efectuaron a velocidades de 0,12; 0,40; 1,2; 4,0 y 12,0 cm/min. y temperaturas comprendidas entre 35 y 75° C para los betunes de destilación ordinaria originales C y M. Para las mezclas, las velocidades de deformación fueron las mismas, pero las temperaturas estaban comprendidas entre 50 y 105° C. En todos los casos las pruebas se realizaron en intervalos de 5° C.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA

Los resultados recogidos en la tabla I indican un aumento en el punto de reblandecimiento para todas las mezclas, que se va haciendo mayor a medida que se incrementa el contenido en polímero. Asimismo, se observa una disminución del punto de rotura Fraas, que se hace notable a partir de adiciones superiores al 5%. Por último, el índice de penetración, I. P., aumenta como era de suponer a medida que lo hace el contenido en elastómero.

3.2. CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA

En las figuras 1 a 10 se muestran los diagramas reológicos tensión de cizalla frente a velocidad de deformación para los betunes originales C y M, así como para los ocho nuevos materiales betún/SBS: 95/5, 92/8, 89/11 y 86/14.

Analizando detenidamente los mencionados diagramas se puede afirmar que:

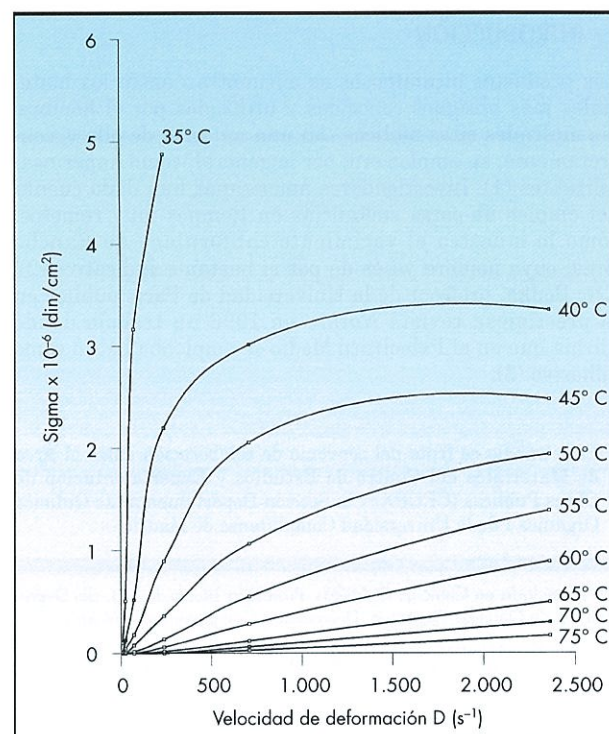


FIGURA 1. Diagrama reológico del betún C 150/200.

Características	BETÚN C					BETÚN M				
	Original	95/5	92/8	89/11	86/14	Original	95/5	92/8	89/11	86/14
Penetración (25° C, 100 g, 5s) 0.1 mm	175	74,5	58	48	41	143	61	31	30	28
Punto de Reblandecimiento (anillo-bola) ° C	35,4	73,6	93	103	113	41,3	65,6	99,9	116,1	123
Rotura Fraas ° C	-12	-13	-32	<-35	<-35	-12,5	-20	<-35	<-35	<-35
Ductilidad 25° C, cm	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
Índice de Penetración	-3	4,6	6,3	6,8	7,3	-1	2,6	5,4	6,8	7,2
Peso Específico g/cm ³	1,01	1,009	1,008	1,007	1,005	1,022	1,02	1,018	1,017	1,014
Pérdida por Calentamiento (163° C, 5h)	0,05	0,02	0,02	0,02	0,03	0,08	0,01	0,01	0,01	0,01
Fluencia	Fluencia Total	Fluye	Fluye	No Fluye	No Fluye	Fluencia Total	Fluencia Total	No Fluye	No Fluye	No Fluye
Plegabilidad -15° C	Rompe	Rompe	Rompe	Rompe	No Rompe	Rompe	Rompe	Rompe	Rompe	No Rompe

TABLA I. Características tecnológicas de los betunes originales y modificados.

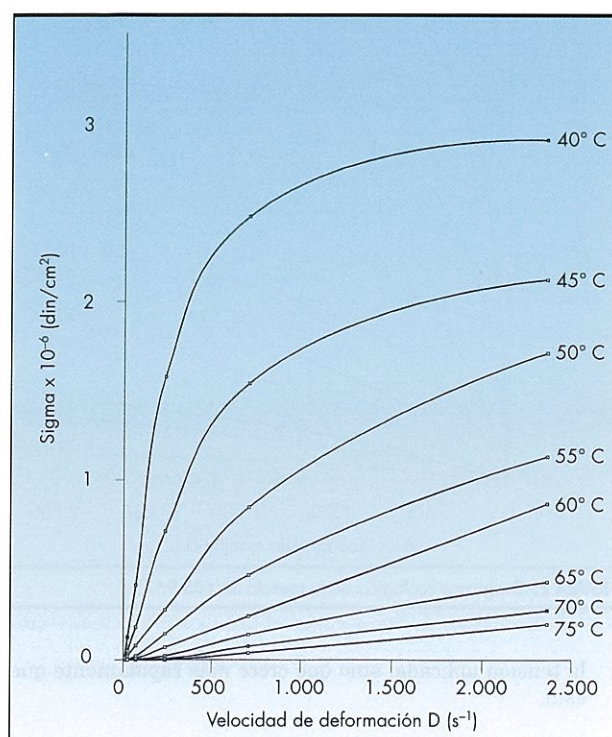


FIGURA 2. Diagrama reológico del betún M 150/200.

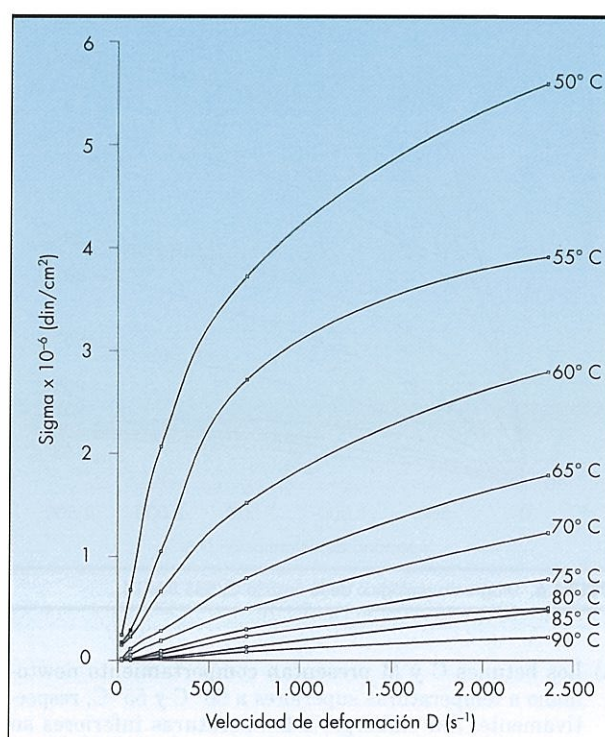


FIGURA 3. Diagrama reológico de la mezcla C/SBS 95/5.

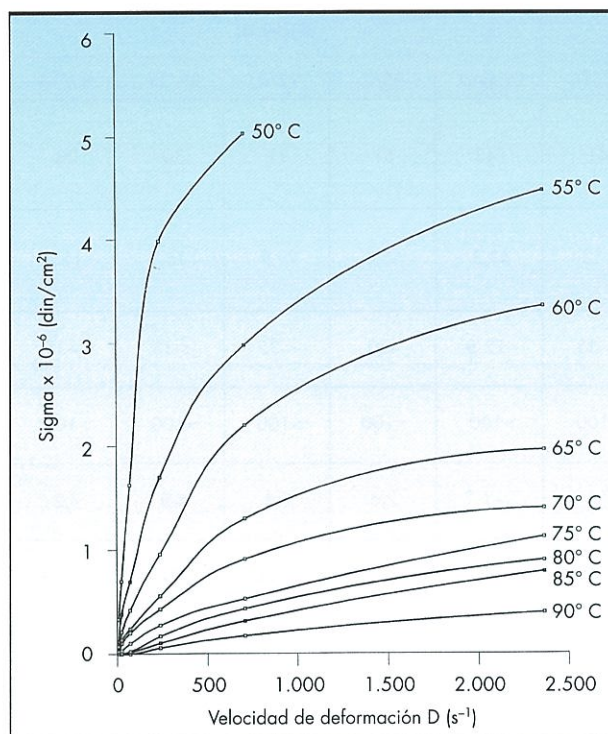


FIGURA 4. Diagrama reológico de la mezcla C/SBS 92/8.

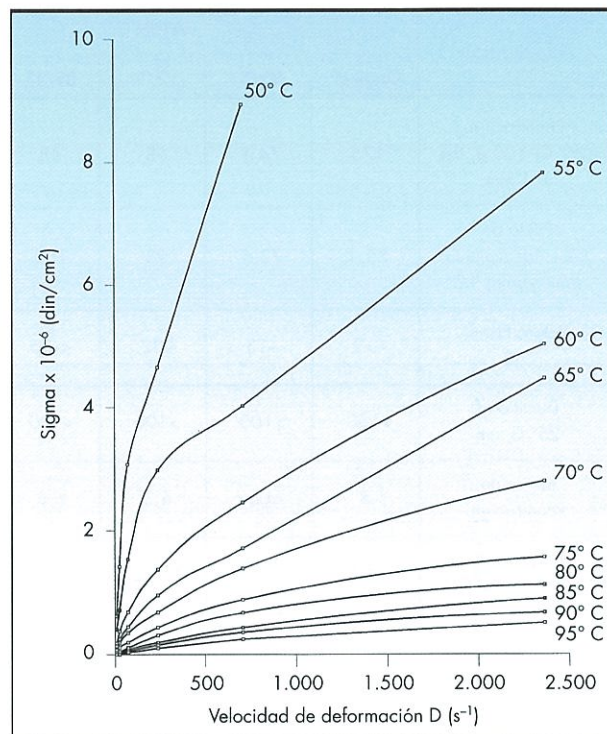


FIGURA 5. Diagrama reológico de la mezcla C/SBS 89/11.

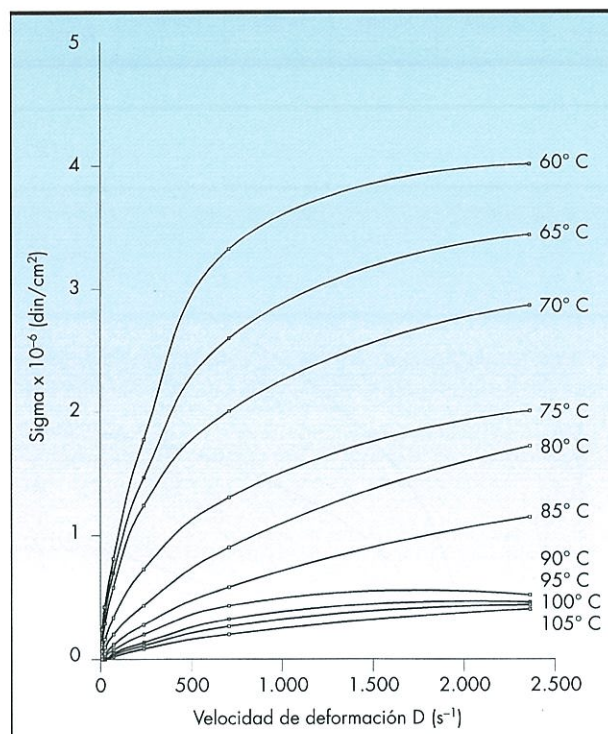


FIGURA 6. Diagrama reológico de la mezcla C/SBS 86/14.

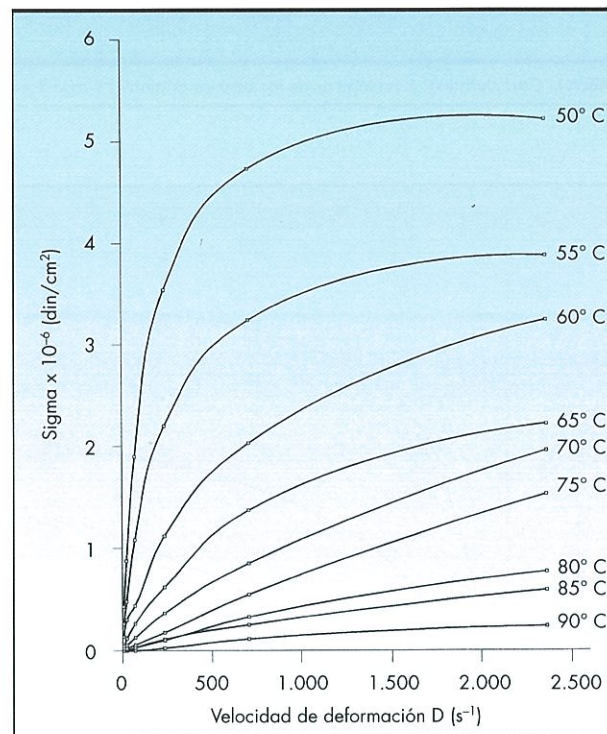


FIGURA 7. Diagrama reológico de la mezcla M/SBS 95/5.

a) Los betunes C y M presentan comportamiento newtoniano a temperaturas superiores a 60° C y 55° C, respectivamente. Sin embargo, a temperaturas inferiores su naturaleza es pseudoplástica, ya que el gradiente de velocidad de deformación no es directamente proporcional a

la tensión aplicada, sino que crece más rápidamente que ésta.

b) El comportamiento no newtoniano se agudiza a medida que aumenta el contenido del polímero incorporado, obser-

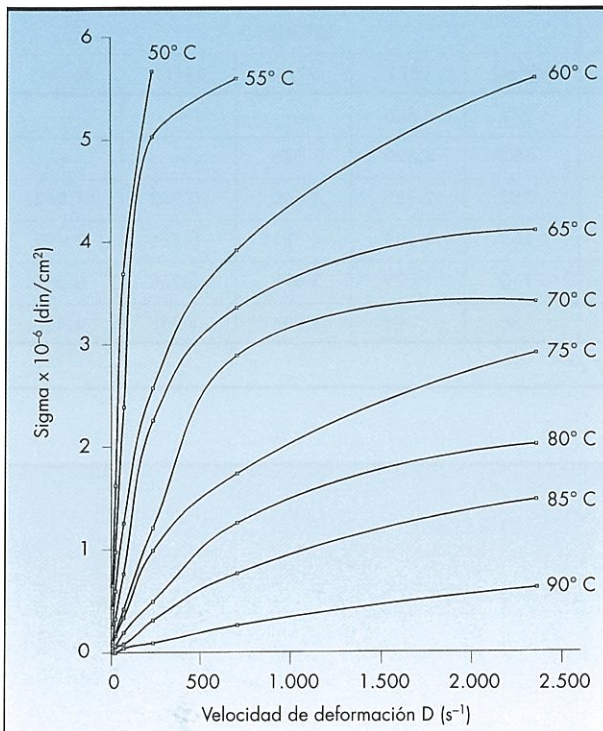


FIGURA 8. Diagrama reológico de la mezcla M/SBS 92/8.

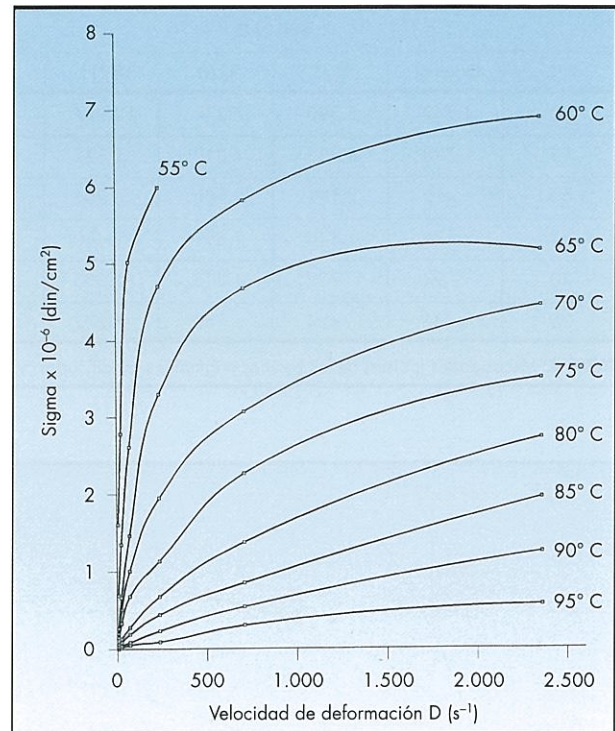


FIGURA 9. Diagrama reológico de la mezcla M/SBS 89/11.

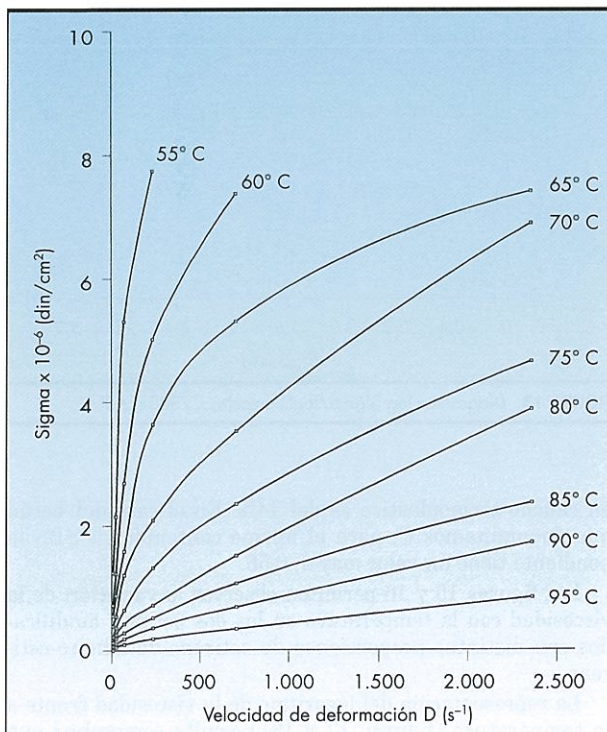


FIGURA 10. Diagrama reológico de la mezcla M/SBS 86/14.

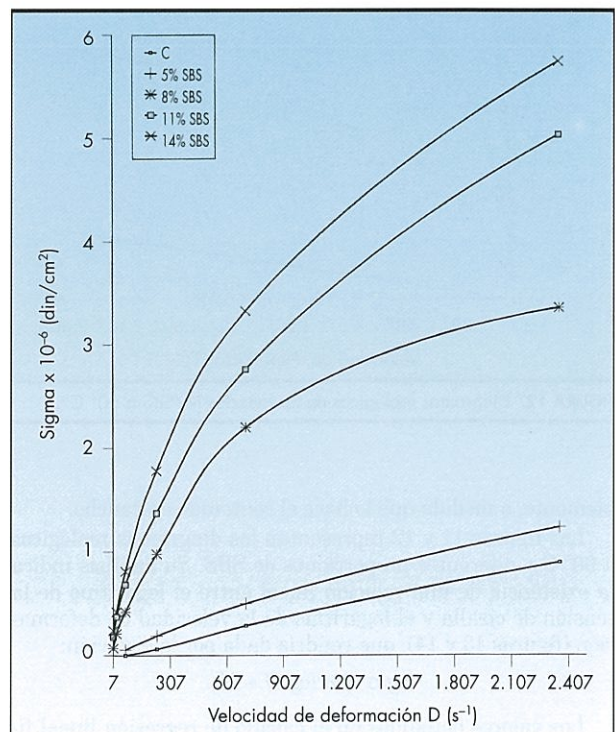


FIGURA 11. Diagramas reológicos de las mezclas C/SBS a 60°C.

vándose que la tensión es directamente proporcional a la velocidad de deformación a temperaturas cada vez más elevadas.

En la tabla II se recogen las viscosidades a diferentes temperaturas de los materiales originales y modificados con

diferente contenido en elastómero, calculados a partir de los diagramas reológicos. Para determinar dichas viscosidades se ha fijado la velocidad de deformación a $708,7 \text{ s}^{-1}$.

Como puede observarse, la viscosidad disminuye, en todos los casos, al aumentar la temperatura y aumenta, nota-

BETÚN C						BETÚN M				
T° C	Original	95/5	92/8	89/11	84/14	Original	95/5	92/8	89/11	86/14
50	1.542	5.390	7.277	12.937	—	1.229	6.846	—	—	—
55	798	3.935	4.312	5.822	—	682	4.690	8.086	—	—
60	412	2.199	3.180	4.366	4.690	350	2.938	5.660	10.942	13.853
65	176	1.148	1.881	2.480	3.666	203	1.984	4.581	8.786	9.972
70	94	722	1.315	2.005	2.830	110	1.229	3.678	5.268	6.630
75	41	434	760	1.272	1.844	56	792	2.506	4.258	4.420

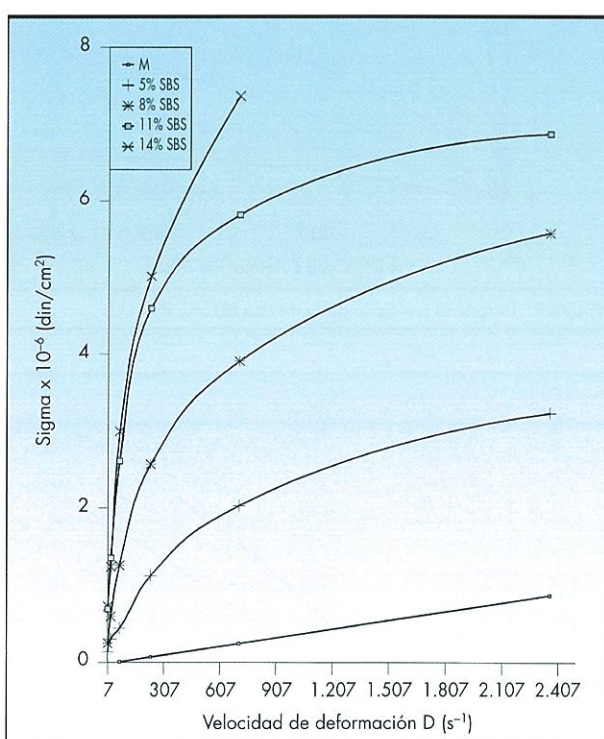
TABLA II. Viscosidades (poises) de los betunes originales y modificados. $\dot{\gamma} = 708,7 \text{ s}^{-1}$.

FIGURA 12. Diagramas reológicos de las mezclas M/SBS a 60° C.

blemente, a medida que lo hace el contenido en caucho.

Las figuras 11 y 12 representan los diagramas reológicos a 60° C y diferentes proporciones de SBS. Su análisis indica la existencia de una relación lineal entre el logaritmo de la tensión de cizalla y el logaritmo de la velocidad de deformación (figuras 13 y 14), que vendría dada por la ecuación:

$$\log \sigma = m \log D + M_0$$

Los valores obtenidos en el cálculo de regresión lineal figuran en la tabla III.

Los datos iniciales de las pendientes indican un comportamiento casi newtoniano para los dos betunes. A medida que se incrementa el contenido en polímero, los valores van disminuyendo, lo cual es un reflejo de la tendencia a la plasticidad.

El hecho anterior se hace más patente en el betún M cuya pendiente alcanza un valor de 0,34 cuando el contenido

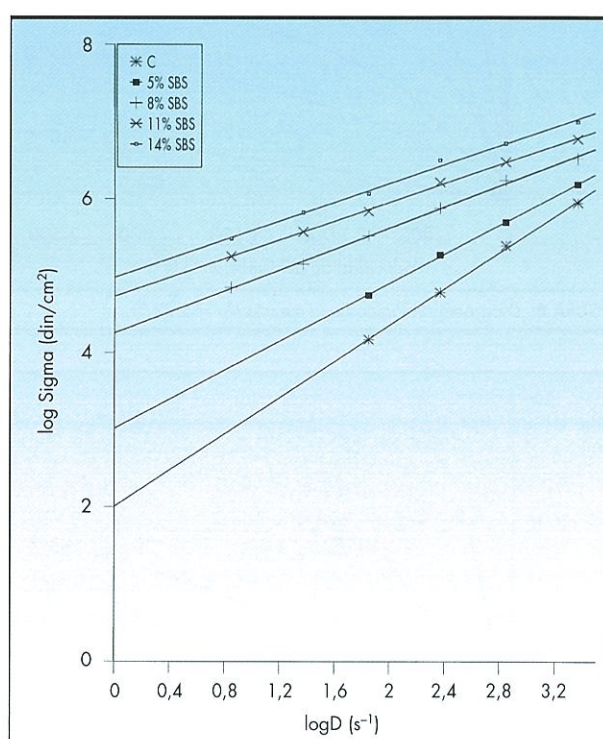


FIGURA 13. Diagramas log Sigma/log D mezclas C/SBS a 60° C.

en caucho termoplástico es del 14%. En el caso del betún que denominamos C, para el mismo contenido en SBS la pendiente tiene un valor mayor, 0,56.

Las figuras 15 y 16 permiten observar la variación de la viscosidad con la temperatura en los dos betunes modificados con distintas proporciones de estireno-butadieno-estireno.

La representación del logaritmo de la viscosidad frente a la temperatura (figuras 17 y 18) permite comprobar que existe una relación lineal entre ellas en el intervalo de temperaturas comprendido entre 50 y 75° C, según la ecuación:

$$\log \eta = -m T + M_0$$

El valor de la pendiente m nos informa sobre la susceptibilidad térmica del material, comprobándose que en ambos betunes hay una disminución de la susceptibilidad térmica al tiempo que se incrementa el contenido en el copolímero

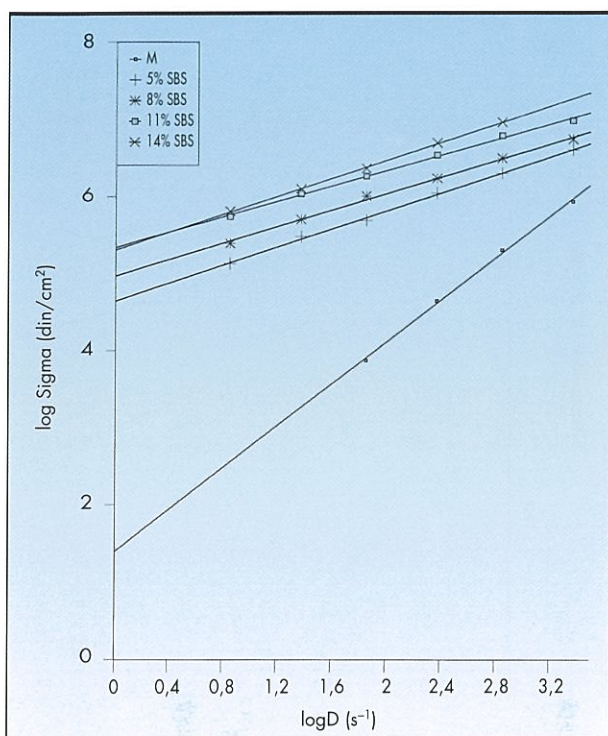
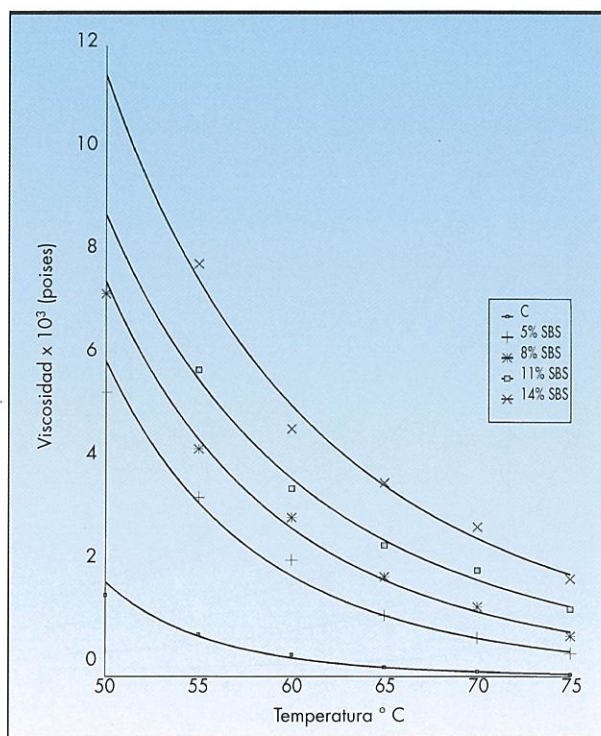


FIGURA 14. Diagramas log Sigma/log D mezclas M/SBS a 60° C.

FIGURA 15. Diagramas viscosidad/T mezclas C/SBS $v=708,66 \text{ s}^{-1}$.

BETÓN C			
% SBS	M_0	m	r
0%	4,75	1,1	0,993
5%	9,69	0,68	0,993
8%	10,03	0,67	0,994
11%	11,00	0,55	0,999
14%	11,24	0,56	0,998

BETÓN M			
% SBS	M_0	m	r
0%	5,20	1,01	0,999
5%	10,76	0,56	0,996
8%	11,56	0,54	0,987
11%	12,60	0,48	0,988
14%	12,90	0,34	0,994

TABLA III. Cálculo de los coeficientes de regresión de las rectas $\log \sigma = m \log D + M_0$.

BETÓN C			
% SBS	M_0	$m \cdot 10^2$	r
0%	6,36	-6,30	0,999
5%	6,05	-4,54	0,997
8%	5,76	-3,82	0,998
11%	5,93	-3,80	0,972
14%	5,42	-2,86	0,930

BETÓN M			
% SBS	M_0	$m \cdot 10^2$	r
0%	5,75	-5,32	0,994
5%	5,84	-3,94	0,999
8%	5,43	-3,74	0,991
11%	6,34	-3,70	0,994
14%	6,15	-3,33	0,998

TABLA IV. Cálculo de los coeficientes de regresión de las rectas $\log \eta = -m T + M_0$.

SBS. Los valores del análisis de regresión aparecen reflejados en la tabla IV.

4. CONCLUSIONES

1. La normativa vigente indica las características que debe presentar un betún asfáltico en función de su aplicación.

La determinación de las propiedades tecnológicas de los betunes C y M muestran que ninguno de los dos puede utilizarse, directamente, en la confección de láminas impermeabilizantes, por lo cual se hace preciso la modificación de los mismos.

2. Los resultados experimentales obtenidos en los nuevos materiales sintetizados a partir de los dos betunes men-

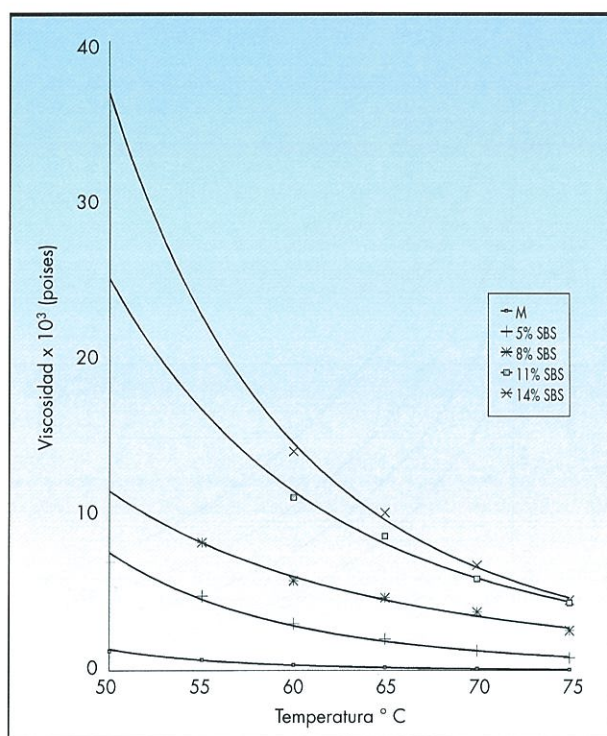


FIGURA 16. Diagramas viscosidad/T mezclas M/SBS $v=708,66 \text{ s}^{-1}$.

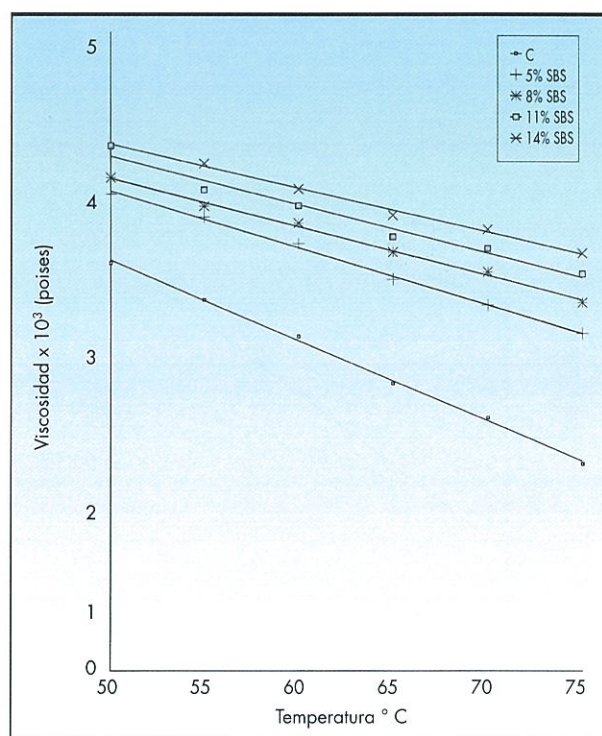


FIGURA 17. Diagramas logvisc/T mezcla C/SBS $v=708,66 \text{ s}^{-1}$.

cionados alcanzan valores de la penetración que están dentro del intervalo requerido para los másticos bituminosos modificados.

- Los puntos de reblandecimiento aumentan con la incorporación de polímero. El betún C alcanza un valor de 113°C con la adición de un 14% de caucho termoplástico y el betún M, de $161,1^{\circ}\text{C}$ y 123°C en las proporciones del 11 y 14%, respectivamente, por encima de los 110°C que establece la normativa actual.
- El comportamiento pseudoplástico aumenta a medida que lo hace el contenido en estireno-butadieno-estireno. El intervalo de pseudoplasticidad está comprendido entre el punto de reblandecimiento y el de Rotura Fraas. En el caso de betún C original este intervalo es de $47,4^{\circ}\text{C}$ mientras que en la mezcla C/SBS 86/14 es de 148°C . Asimismo, el intervalo de plasticidad en el betún M original es de $53,8^{\circ}\text{C}$ y en la mezcla M/SBS 86/14 es de 158°C .
- El estudio reológico realizado en los betunes originales muestra que, en general, a temperaturas superiores a 60°C presentan un comportamiento newtoniano y a temperaturas inferiores presentan carácter pseudoplástico.
- Las curvas reológicas de los materiales betún-polímero indican que el comportamiento pseudoplástico aumenta al incrementar el contenido en elastómero, lo que se demuestra por los valores de las pendientes de las rectas $\log \sigma = m \log D + M_0$, que disminuyen al aumentar el punto de reblandecimiento, mostrando una agudización del carácter no newtoniano.
- En los nuevos compuestos sintetizados, la susceptibilidad térmica disminuye en todos los casos con la adición del caucho termoplástico de estireno-butadieno-estireno.

5. BIBLIOGRAFÍA

- BRION, Y. y BRULÉ, B. Rapport du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Serie Physique et Chimie, PC-6 (Julio, 1986).
- BLANCO, M. "Los materiales sintéticos en la impermeabilización en Ingeniería Civil". III Curso de Impermeabilización en Ingeniería Civil. CEDEX. Madrid (1990).
- Diario El País. Madrid, 3 de abril de 1996.
- BLANCO, M.; CUEVAS, A. y ORTEGA, J. J. "Modification of a Spanish Origen Bitumen by Using the Friedel and Crafts Reaction with Toluylene-2,4-diisocyanate and Evaluation of Final Products Characteristics". Proc. Third Int Sym. "Testing of Hydrocarbons Binders and Materials", 131-143. Belgrado (1983).
- RODRÍGUEZ DE SANCHO, I y BLANCO, M. "Modification of an Ordinary Bitumen for Using in Roofing and Waterproofing". Proc. Sem. "Bitumen and Asphalt Technology", 187-198. Dubrovnik (1988).
- RODRÍGUEZ DE SANCHO, I y BLANCO, M. "Modification of an Ordinary Distillation Bitumen for Using in Roofing and Waterproofing". Proc. Qual. Build, Vol. II, 483-494. París (1989).
- RODRÍGUEZ DE SANCHO, I. "Modificación de betunes asfálticos por adición de polipropileno para su uso en impermeabilización". Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid (1990).

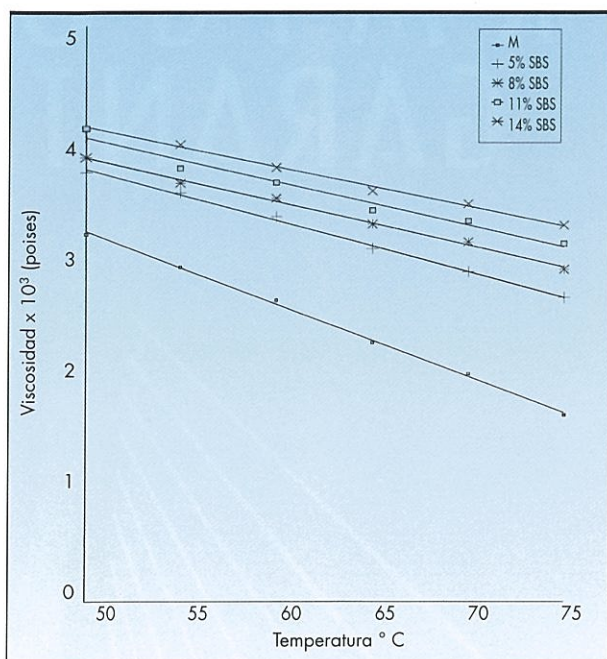


FIGURA 18. Diagramas logvisc/T mezcla M/SBS $v=708,66 \text{ s}^{-1}$.

8. RODRÍGUEZ DE SANCHO, I. "Nuevos materiales betún-polímero para impermeabilización". Monografía CEDEX M-33 Madrid (1992).

9. RODRÍGUEZ DE SANCHO, I.; BLANCO, M.; MONTERO, L.; HERNÁNDEZ, D. y PARGADA, L. "Nuevos métodos analíticos avanzados para investigación y desarrollo de materiales en Ingeniería Civil". An. J. Eng. Estruct. 5, 137-148 Portoalegre (Brasil), (1991).

10. PAROLI, R. M.; DUTT, O.; RODRÍGUEZ DE SANCHO, I. y BLANCO, M. "Characterization of Bitumens Using High Performance Gel Permeation Chromatography and Thermal Analysis for Improving Performance of bitumen/polymer Blends for Waterproofing". Proc. Int. Roofing, 418-430, Madrid, (1992).

11. BLANCO, M.; PARGADA, L. y SOLERA, R. "Estudio comparativo de másticos preparados por adición de polímeros de diferente comportamiento viscoelástico a un betún 150/200 de destilación ordinaria". Proc. XXV Reunión Biental de la Real Sociedad de Química, 326 (1994).

12. ORTEGA, J. J.; BLANCO, M. y CUEVAS, A. "Idoneidad de los actuales métodos de ensayo para evaluar las características de los ligantes bituminosos". Trabalhos Técnicos. Inst. Bras. de Petróleo, 526-542, Rio de Janeiro (Brasil) (1.981) Belgrado (1983).

Ingeniería de Coordinación en Materia de Seguridad y Salud

Formación

- De Técnicos competentes en Coordinación de Seguridad y Salud, durante la elaboración del Proyecto y durante la Ejecución de la obra

Aplicación

De la normativa vigente
Del R.D. 1627/97

- Estudios Básicos de Seguridad y Salud
- Estudios de Seguridad y Salud
- Planes de Seguridad y Salud
- Puesta a disposición de personal para:
 - Tareas de supervisión
 - Coordinación de Seguridad y Salud
 - Encargados

Equipo Profesional Multidisciplinar
Cualificado en Prevención de Riesgos Laborales del Sector de la Construcción y afines

- Ingenieros Técnicos de Obras Públicas y otros

Clientes

- Promotores
- Constructores
- Asociaciones Empresariales
- Cooperativas
- Profesionales liberales del Sector
- Mutuas de Accidentes de Trabajo
- Consultorías de Prevención
- Ministerio de Fomento
- Ayuntamiento de Madrid
- Otros

Asesores

- En Temas de Prevención para la firma de Convenios Colectivos
- En las necesidades de prevención de su empresa
- En la Gestión del Aviso Previo
- Servicio integral a las PYMES de Construcción (Contratas, subcontratas y Autónomos)
- En Preauditorías



COPREDIJE S.L.

Paseo de Reina Cristina, nº20, 1ª A
28014 MADRID
Tel.: 91 502 07 67
Tel. móvil: 908 511 353 (Ext.1)
Fax: 91 501 04 87

"Obras Intrínsecamente Seguras"