

ESTUDIO DE LOS LIGANTES MODIFICADOS CON POLIMEROS COMERCIALIZADOS EN ESPAÑA PARA SU EMPLEO EN CARRETERAS

JUAN LUIS DE BENITO GONZALEZ (*)

AMADOR GOMEZ SAIZ (**)

BALTASAR RUBIO GUZMAN (***)

RESUMEN. En España, como en la mayor parte de los países industrializados, los betunes modificados con polímeros se emplean en la fabricación de mezclas bituminosas para aquellos casos en que el firme por sus condiciones especiales (orografía del tramo, tráfico pesado, condiciones climáticas, etc.) están sometidos a fuertes sollicitaciones.

En el mercado nacional existen betunes-polímeros procedentes de distintas refinerías y empresas constructoras, presumiblemente fabricados con diferentes betunes de partida, tipos y contenidos de polímeros y procedimientos de mezclado, pero sin disponer de información sobre ello porque no son facilitados estos datos por los fabricantes.

En este trabajo se han seleccionado seis betunes polímeros que podrían ser representativos del mercado nacional y se han caracterizado mediante los ensayos convencionales recogidos en las especificaciones de los betunes asfálticos y mediante otros ensayos específicos para los betunes-polímeros. Como referencia se ha utilizado un betún puro de penetración similar a la de los betunes-polímeros.

Los resultados obtenidos indican que los betunes-polímeros disponibles en nuestro país presentan propiedades sensiblemente diferentes y, en consecuencia, las mezclas bituminosas fabricadas con ellos, tendrán igualmente propiedades diferentes.

ABSTRACT. *In Spain, as in most industrialized countries, polymer modified bitumens are used in the manufacture of bituminous mixtures for those pavements with special conditions (orography, heavy traffic, climatic conditions, etc.) which are subject to considerable strength.*

There are polymer-bitumens from different refineries and construction companies on the national market, presumably made from different bitumens, types and content of polymers, and mixing procedures. Information about this data is rarely provided by manufactures.

Six polymer-bitumens, that can be regarded as representative of the national market, have been selected for this work, and they are characterised through conventional tests included in the specification for road bitumens. And using other specific tests for polymer-bitumens an unmodified bitumen with a penetration similar to that of the polymer-bitumens has been used as comparison.

The results obtained indicate that the polymer-bitumens available in our country have got different properties and, as a result, the bituminous mixtures manufactured with them, will likewise have different properties.

1. INTRODUCCION

Los ligantes bituminosos modificados con polímeros se emplean en construcción de carreteras, en aquellos ca-

sos específicos en que las propiedades de los ligantes tradicionales son insuficientes para cumplir con éxito la función que tienen encomendada, es decir, en la fabricación de mezclas bituminosas especiales para pavimentos que están sometidos a sollicitaciones excesivas, bien por efecto del tráfico o por otras causas, como temperaturas extremas, agentes atmosféricos, tipología del firme, etcétera.

Los campos de aplicación más frecuentes de estos materiales son:

— Tratamientos superficiales en vías de fuerte intensi-

(*) Licenciado en Ciencias Químicas. Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (MOPU).

(**) Licenciado en Ciencias Químicas. Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (MOPU).

(***) Doctor en Ciencias Químicas. Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (MOPU).

dad de tráfico y/o con temperaturas extremas, en los que el ligante debe tener una buena cohesión en un amplio intervalo de temperatura, con el fin de evitar el deslizamiento por exudación del ligante en el verano, así como la pérdida de gravilla en el invierno.

- Aglomerados drenantes que deben presentar una buena resistencia a las deformaciones plásticas y una buena cohesión, así como una buena resistencia al envejecimiento y al agua, a pesar de su elevado contenido en huecos.
- Capas de rodadura en tramos de gran intensidad de tráfico pesado y canalizado, como las vías lentas, que requieren una buena resistencia, tanto a las deformaciones plásticas, como a la fatiga.
- Aglomerados para pavimentación de obras de fábrica, en los que se requiere una gran impermeabilidad, buena flexibilidad y poca susceptibilidad a la temperatura.
- Refuerzos en capas delgadas, donde la mezcla bituminosa debe tener excelentes propiedades mecánicas.
- Lechadas bituminosas en carreteras de fuerte tráfico, para evitar el deslizamiento provocado por la exudación del ligante y para proporcionar la cohesión y evitar desprendimiento de gravilla, especialmente en las de mayor tamaño máximo del árido.
- Membranas absorbentes de tensiones (SAM), que deben de presentar buena resistencia, flexibilidad y resiliencia para absorber las tensiones de la capa subyacente.

Debido al gran número de aplicaciones que tienen los betunes-polímeros en carreteras, resulta evidente que sus propiedades deben de estar en función de la aplicación concreta a que se destinen y del problema específico que se pretenda resolver.

Con objeto de tener una visión general de las propiedades que tienen los betunes-polímeros del mercado nacional, en este trabajo se han caracterizado seis betunes-polímeros especialmente fabricados para su empleo en construcción de carreteras. La caracterización de estos materiales se ha realizado, por un lado, mediante los métodos convencionales generalmente empleados para los betunes asfálticos, y de otro, por una serie de métodos desarrollados para determinar las propiedades más específicas de los betunes polímeros, descritos en una publicación anterior (1).

Se pretende, por tanto, estudiar de forma sistemática las propiedades de estos nuevos ligantes, lo que permitirá evaluar y comparar sus propiedades.

El mejor conocimiento de estos ligantes servirá de base para seleccionar los betunes-polímeros más adecuados para cada aplicación concreta.

2. MATERIALES

Los ligantes bituminosos utilizados en este trabajo han sido los siguientes:

- Un betún tipo B60/70 de uso generalizado en carre-

teras, suministrado por PROAS, que se ha utilizado como control para comparar los betunes-polímeros con él.

- Seis betunes modificados con polímeros, procedentes de las refinerías de REPSOL y BPMED y de las compañías COMPOSAN y PROBISA.

3. METODOS DE ENSAYO

A continuación se relacionan los métodos de ensayo utilizados para caracterizar los ligantes objeto de este estudio y se describen brevemente aquellos que no están normalizados.

- Penetración a 25 °C (NLT 124/84).
- Punto de Reblandecimiento (A y B) (NLT 125/84).
- Índice de Penetración (NLT 181/84).
- Punto de Fragilidad Fraass (NLT 182/84).
- Efecto del calor y del aire sobre los materiales bituminosos en película fina (NLT 185/84).
- Ductilidad a 5 °C (NLT 126/84).
- Flotador a 60 °C (NLT 183/85).
- Viscosidades a 60, 100 y 135 °C, determinadas en un viscosímetro rotacional (Haake RV-3), utilizando un dispositivo de cilindros coaxiales (SV-II estriado).

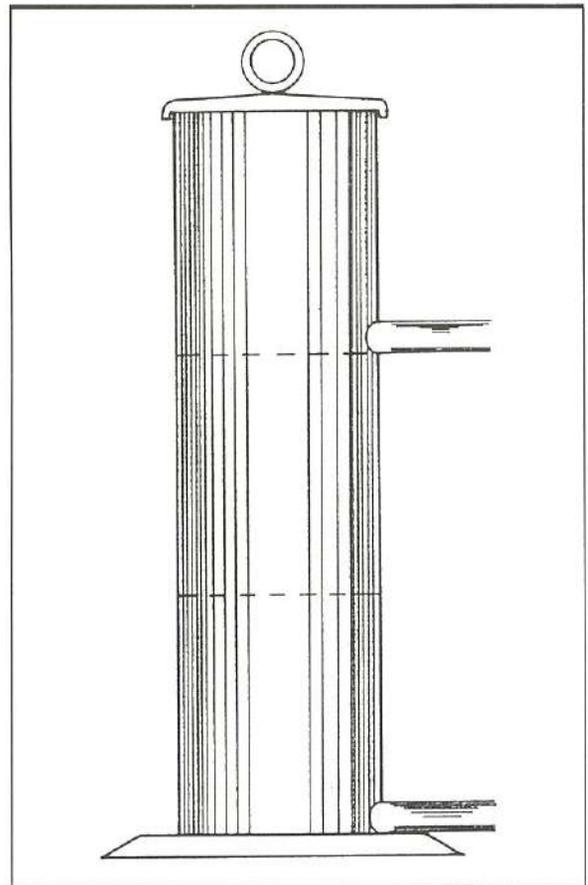


FIGURA 1. Esquema del recipiente para ensayo de estabilidad al almacenamiento.

— Estabilidad al almacenamiento realizada de acuerdo con el método propuesto en la Comisión 4 de Materiales de la VSS (2) y Fetz (3), con ligeras modificaciones. El esquema del dispositivo empleado se muestra en la figura 1.

El ensayo consiste en verter 60 g de betún-polímero en el tubo metálico y cerrarlo con el fin de evitar oxidaciones. A continuación se introduce en una estufa a 165 °C durante 120 horas. Transcurrido este tiempo se toman 2 muestras, de unos 20 g cada una, de la parte superior e inferior a través de los tubos laterales de salida. Se homogeneiza independientemente cada una de las muestras y se determina el punto de reblandecimiento (anillo y bola) de ambos.

El resultado de la estabilidad al almacenamiento se expresa como la diferencia entre los puntos de reblandecimiento del betún-polímero de la zona superior e inferior.

— Caída de bola (4), realizado de acuerdo con el método desarrollado por la compañía Elf; es un ensayo sencillo de tracción a carga constante, cuyo esquema

se muestra en la figura 2. El procedimiento operativo es como sigue: se vierten 8 g de betún-polímero en la caja cilíndrica y se coloca inmediatamente el centrador y la bola. Se deja enfriar durante una hora a temperatura ambiente y a continuación se introduce este dispositivo en un baño termostatzado a 25 °C durante otra hora. Transcurrido este tiempo se coloca el conjunto con la bola hacia abajo en el soporte y se anota el tiempo que tarda la bola en desplazarse 30 cm.

— Recuperación elástica mediante dispositivo de torsión (5) realizado de acuerdo con el procedimiento descrito en el anejo 3 de la orden circular número A-169-86/04001, si bien se introdujeron algunas modificaciones para mejorar su ejecución. Un esquema de los distintos componentes del aparato de medida se muestra en las figuras 3 y 3 bis.

El ensayo en líneas generales consiste en aplicar un giro de 180 °C en el cilindro central (una vez llenada la caja y termostatzada la muestra betún-polímero a 25 °C), en el sentido contrario a las agujas del reloj, y

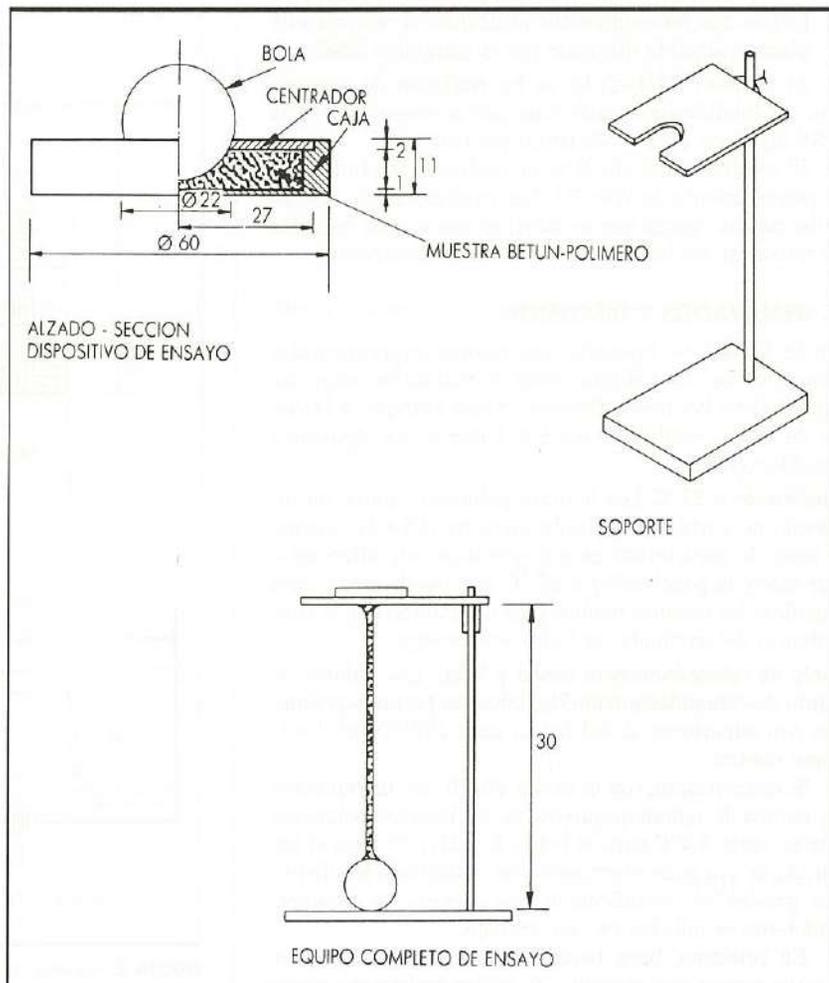


FIGURA 2. Esquema del ensayo de caída de bola.

medir el ángulo recuperado por el cilindro sobre la semicorona graduada. La recuperación elástica se expresa como porcentaje del ángulo recuperado respecto al inicial de 180 °C.

- Recuperación elástica mediante el ductilómetro, se ha realizado según el procedimiento descrito por King y colaboradores (6), que recomiendan que la probeta se estire a una velocidad de 5 cm/min hasta un alargamiento de 20 cm y a una temperatura de 10 °C. El modo de operar es similar al establecido en la norma de medida de ductilidad de los materiales bituminosos, NLT 226/84. Una vez conseguido un alargamiento de 20 cm en las condiciones del ensayo se detiene el sistema de tracción y se mantiene la muestra en esta posición durante 5 minutos. Transcurrido este tiempo, se corta la probeta por su parte central y después de una hora se mide la longitud de la probeta. La recuperación elástica se expresa como el porcentaje de longitud recuperada respecto a la longitud inicial de 20 cm.
- Recuperación elástica mediante el reómetro de placa deslizante. Para determinar la recuperación elástica de los betunes modificados con polímeros se han empleado dos procedimientos utilizando el reómetro de placa deslizante diseñado por la compañía Shell.

El primero (Método 1), se ha realizado de acuerdo con las condiciones establecidas por la comisión 4 de la VSS (2) y por Fetz y colaboradores (3).

El segundo (Método 2) se ha realizado basándose en el procedimiento de Witt (7). Las condiciones de ensayo y las curvas típicas que se obtienen por ambos métodos se muestran en las figuras 4 y 5, respectivamente.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

En la tabla 1 se muestran los valores experimentales obtenidos de los distintos ensayos realizados sobre las muestras de betunes utilizados en este trabajo. A la vista de estos resultados pueden hacerse las siguientes consideraciones:

Penetración a 25 °C. Los betunes polímeros tienen un intervalo de variación bastante estrecho (53-63), aunque el resto de características son sensiblemente diferentes. Por tanto, la penetración a 25 °C sólo puede servir para clasificar los betunes modificados de acuerdo con la consistencia determinada mediante este ensayo.

Punto de reblandecimiento (anillo y bola). Los valores de punto de reblandecimiento de todos los betunes-polímeros son superiores al del betún puro B60/70 utilizado como control.

Si comparamos con el betún 60/70, los incrementos de puntos de reblandecimiento de los betunes polímeros varían entre 4,9°C para el betún E y 21,7 °C para el betún A, lo que pone claramente de manifiesto los distintos grados de modificación que tienen los betunes-polímeros estudiados en este trabajo.

En principio, para betunes de similar penetración, cuanto mayor sea el punto de reblandecimiento mejor

será la resistencia a las deformaciones plásticas de las mezclas bituminosas fabricadas con ellos. Aunque hay que tener en cuenta que el elevado punto de reblandecimiento no debe significar que la temperatura de mezcla sea tan alta que se corran riesgos de degradación del ligante durante la fabricación de la mezcla bituminosa.

Índice de penetración. Los valores del índice de penetración (Pfeiffer y Van Doormal) de los betunes-polímeros son superiores al valor del betún control, lo que indica que los ligantes modificados tienen una menor susceptibilidad a la temperatura.

El intervalo tan amplio de variación obtenido en este índice (0,62-3,90) responde posiblemente a la distinta composición y porcentaje de polímero incorporado, y pone de manifiesto la distinta susceptibilidad a la temperatura de los diferentes betunes-polímeros ensayados. A excepción del ligante E, todos presentan un índice superior a la unidad, lo que indica una baja susceptibilidad a los cambios de temperatura de los ligantes modificados.

Punto de fragilidad Fraas. Los valores obtenidos de todas

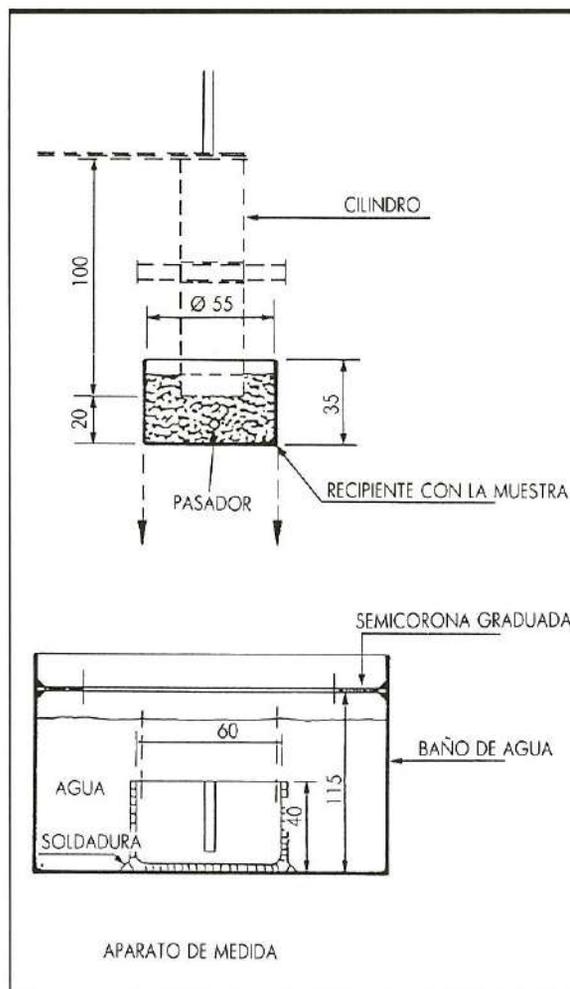


FIGURA 3. Esquema del dispositivo de torsión de recuperación elástica.

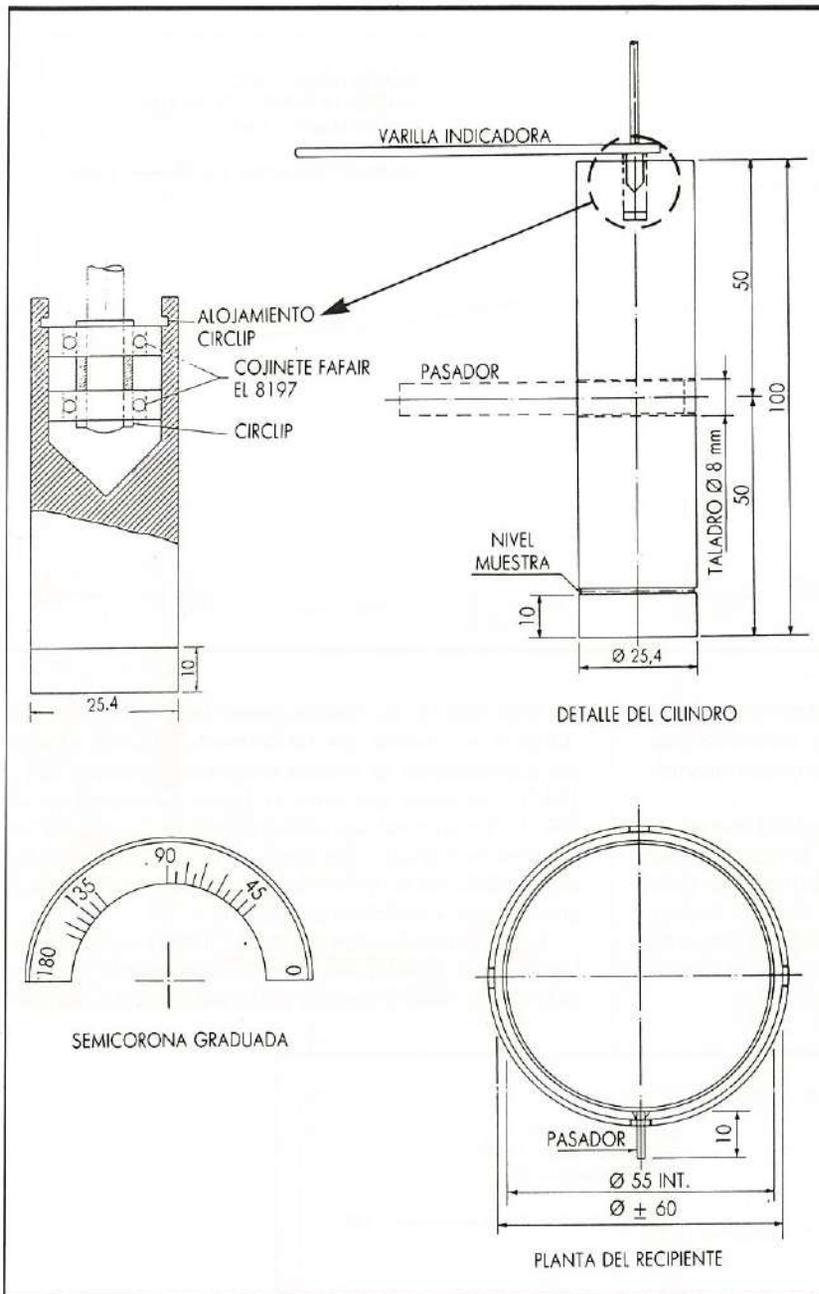


FIGURA 3 bis. Esquema del dispositivo de torsión de recuperación elástica.

las muestras de betún-polímero tienen puntos de fragilidad inferiores al betún B60/70. Los valores de fragilidad Fraass obtenidos varían entre -9 y -26°C , lo que supone una diferenciación importante en cuanto a la resistencia a la fragilidad a bajas temperaturas.

Si consideramos lo que se denomina intervalo de plasticidad (diferencia entre valores de punto de reblandecimiento y de Fraass), los betunes-polímeros presentan un intervalo de plasticidad superior al betún B60/70 al tener los primeros con relación a éste un punto de re-

blandecimiento más alto y una temperatura de fragilidad más baja.

Viscosidad a varias temperaturas. Los valores de viscosidad a 60 , 100 y 135°C de los betunes-polímeros estudiados son superiores a los del betún control a excepción de los betunes modificados E y F. Aunque se desconocen los datos de composición de estos ligantes comerciales, posiblemente su menor viscosidad sea debida a la menor consistencia del ligante base utilizado en su preparación. Las mayores viscosidades a 60°C de los betu-

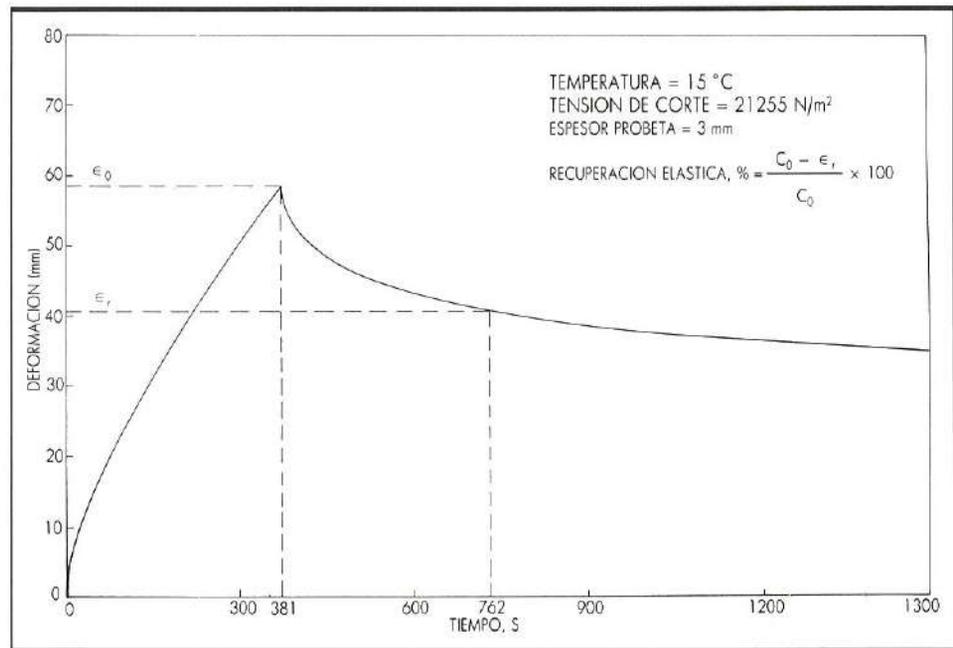


FIGURA 4. Recuperación elástica, Método 1.

nes-polímeros con relación al betún control supone, en principio, una mejor resistencia a las deformaciones plásticas de las mezclas preparadas con ligantes modificados frente a los convencionales.

La representación gráfica de la viscosidad frente a la temperatura para los distintos ligantes, permite estimar la temperatura de mezcla y compactación de las mezclas bituminosas con ellas preparadas. En este trabajo se ha tomado, para comparar los distintos ligantes, como temperatura de mezcla aquella en que el ligante tiene una viscosidad de 200 centipoises.

A la vista de las temperaturas de mezcla obtenidas (tabla 1) se observa que los betunes-polímeros presentan temperaturas de mezcla comprendidas entre 165 y 184 °C, mientras que para el betún de control es de 165 °C. En general las temperaturas de mezcla de los ligantes modificados son como mínimo diez grados superiores a la del betún control, a excepción del ligante D que es igual a la del betún B60/70.

Las diferentes temperaturas de mezcla de los distintos betunes modificados son suficientemente grandes para que se determinen, en cada caso concreto, las tem-

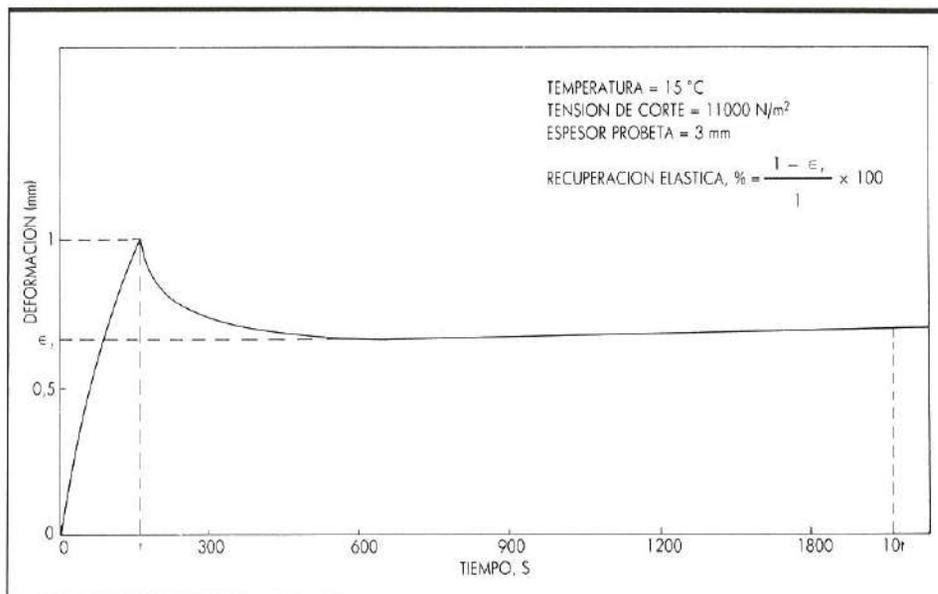


FIGURA 5. Recuperación elástica, Método 2.

CARRETERAS Y AEROPUERTOS

REFERENCIA	B60/70	A	B	C	D	E	F			
CARACTERÍSTICAS INICIALES										
PENETRACION A 25 °C, 0,1 mm	62	63	63	53	56	60	56			
P. REBLANDECIMIENTO (A y B), °C	50,8	72,5	58,5	60,1	62,2	55,7	59,5			
INDICE DE PENETRACION	-0,46	3,9	1,36	1,22	1,78	0,62	1,24			
P. FRAGILIDAD FRAAS, °C	-8	-13	-9	-14	-26	-12	-12			
VISCOSIDAD A 60 °C (D = 1s ⁻¹), cP	5,50 × 10 ⁵	1,22 × 10 ⁶	5,51 × 10 ⁵	1,78 × 10 ⁶	1,49 × 10 ⁶	2,42 × 10 ⁵	4,85 × 10 ⁵			
VISCOSIDAD A 100 °C (D = 10s ⁻¹), cP	8,75 × 10 ³	1,54 × 10 ⁴	9,20 × 10 ³	2,20 × 10 ⁴	9,80 × 10 ³	7,64 × 10 ³	8,66 × 10 ³			
VISCOSIDAD A 135 °C (D = 100s ⁻¹), cP	8,15 × 10 ²	1,85 × 10 ³	1,18 × 10 ³	1,61 × 10 ³	8,32 × 10 ²	9,70 × 10 ²	1,06 × 10 ³			
TEMPERATURA MEZCLA (η = 200 cP), °C	165	184	170	182	165	176	175			
FLOTADOR A 60 °C, s	538	> 27.600	782	2.178	8.110	762	> 10.800			
DUCTILIDAD A 50 °C, cm	6	50	30	20	4	24	44			
ESTAB. ALMAC. $\frac{P.R. \text{ sup. } ^\circ\text{C}}{P.R. \text{ inf. } ^\circ\text{C}}$, dif.	55,0 55,0	0,0 8,2	80,8 72,6	59,4 55,8	3,6 0,0	64,0 62,2	5,0 1,0	58,0 57,0	53 52,6	0,4
CAIDA DE BOLA, s	317	4.557	8.526	1.470	10.833	2.020	4.740			
REC. ELASTICA TORSION 25 °C, %	5	87	41	59	6	36	69			
REC. ELASTICA DUCTILOM 10 °C, %	10	90	45	45	—	50	75			
REC. ELAS. REOMETRO (METODO 1), %	15	57	30	35	30	32	25			
REC. ELAS. REOMETRO (METODO 2), %	21	59	38	40	33	35	32			
ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE PELICULA FINA										
VARIACION EN MASA, %	-0,40	0,01	-0,03	-0,09	-0,08	0,07	-0,06			
PENETRACION 25 °C, 0,1 mm	39	55	56	41	44	45	54			
PENETRACION RETENIDA, %	63	87	89	77	79	75	96			
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO (A y B), °C	58,0	75,3	60,0	66,8	70,5	60,0	51,7			
AUMENTO DEL PUNTO DE REBLANDECIMIENTO (A y B), °C	7,2	2,8	1,5	6,7	8,3	4,3	-7,8			
DUCTILIDAD A 5 °C, cm	3	35	12	9	3	15	55			

TABLA 1. Características de los ligantes modificados.

peraturas de mezcla y de compactación mediante medidas de viscosidad a varias temperaturas. Además, es necesario tener en cuenta que si las temperaturas de mezcla estimadas son muy elevadas, pueden producirse degradaciones del polímero, con la consiguiente pérdida de las características iniciales del ligante.

Flotador a 60 °C. Este ensayo se ha incluido en la caracterización de los betunes-polímeros como método sencillo, económico y rápido para determinar la consistencia a esta temperatura.

Como se puede observar en la tabla 1, todos los betunes polímeros presentan consistencias, expresadas en segundos flotador, superiores a la del betún control, lo que indicaría una mejor resistencia a las deformaciones plásticas de las mezclas bituminosas preparadas con estos betunes-polímeros con relación a otra preparada con un betún puro de similar penetración.

Es de destacar en estos resultados que en los betunes polímeros A y F, el agua no ha penetrado en el interior del flotador y los segundos que se indican co-

rresponden al tiempo que ha estado el flotador en el baño de agua a 60 °C.

Se han comparado estos resultados del flotador con los de viscosidad a 60 °C de los mismos ligantes, obteniéndose un coeficiente de correlación lineal de 0,63 que no permite establecer una correspondencia entre ellos. Este coeficiente es inferior al obtenido por J. M. Muñoz y F. Do Pino (9) con betunes de destilación (0,989), posiblemente porque los betunes modificados presentan anomalías de flujo con un comportamiento newtoniano.

Ductilidad a 5 °C. La ductilidad a 5 °C de los betunes-polímeros ensayados varía entre 4 y 50 cm, lo que significa que los betunes modificados tienen comportamientos diferentes en cuanto a capacidad de deformarse a bajas temperaturas.

Aunque el ensayo de ductilidad se ha relacionado con diferentes propiedades (estructura coloidal, durabilidad, contenido de parafinas, etc.) no se ha llegado a interpretar claramente su significado. En lo que a betunes mo-

dificados se refiere, E. J. Bartz (8) indica que valores altos de ductilidad en betunes-polímeros denotan la existencia de una buena dispersión del polímero en el seno del betún y una buena adhesividad. De acuerdo con este criterio, en general, los ligantes modificados estudiados presentarían, por su mayor ductilidad, una adhesividad superior al betún de control, excepto el betún-polímero D que presenta una ductilidad más baja que el betún control.

Estabilidad al almacenamiento. Las diferencias entre los puntos de reblandecimiento obtenidos varían entre 0 y 8,2 (tabla 1). En el betún B 60/70 (sin modificar) no se observan diferencias entre los puntos de reblandecimiento de la parte superior e inferior por tratarse de un betún normal de destilación. El betún-polímero C tampoco presenta diferencias entre los puntos de reblandecimiento, posiblemente porque la dispersión del polímero en el betún y la compatibilidad de ambos es buena. En el resto de los betunes-polímeros los incrementos de punto de reblandecimiento varían en función de la compatibilidad betún-polímero y del grado de dispersión del polímero en el ligante.

Caída de bola. Tal como se muestra en la tabla 1, todos los betunes-polímeros presentan tiempos de caída considerablemente superiores al del betún control.

De acuerdo con la valoración que hacen los autores de este ensayo, ello significa que los betunes modificados presentan una mayor resistencia a la tracción y una mayor cohesión que los betunes convencionales de similar penetración.

Recuperación elástica mediante dispositivo de torsión. Los betunes-polímeros estudiados presentan porcentajes de recuperación elásticos comprendidos entre 6 % y 87 % (tabla 1), lo que pone de manifiesto que se pueden conseguir betunes modificados con polímeros con grados de elasticidad muy diferentes, desde baja a muy alta. La mayor recuperación elástica de los betunes modificados debe suponer una mejor resistencia a las deformaciones permanentes y un mejor comportamiento a la fatiga de las mezclas bituminosas fabricadas con estos ligantes.

El ligante D tiene una recuperación elástica similar al betún control, mientras que el ligante A es el más elástico con un valor de recuperación superior al 80 %.

Recuperación elástica mediante el ductilómetro. Este ensayo en las condiciones en que se ha descrito en el apartado 3, es decir, estirando la probeta hasta 20 cm a una velocidad constante de 5 cm/min y a una temperatura de 10 °C, no puede aplicarse a todos los betunes modificados, porque algunos de ellos tienen una ductilidad a esta temperatura inferior a 20 cm. Esto ocurre con el ligante D, y por tanto no se ha podido medir la recuperación elástica en estas condiciones.

La recuperación elástica de los betunes-polímeros que se han podido ensayar, es sensiblemente superior a la del betún control.

A la vista de las experiencias realizadas se deduce

que si bien este ensayo permite la evaluación de algunos betunes modificados con polímeros, no puede ser aplicado de forma generalizada a la totalidad de los mismos, si no se cambian las condiciones de ensayo.

Recuperación elástica mediante el reómetro de placa deslizando (Método 1). En este método se somete una probeta prismática de $2 \times 3 \times 0,3$ cm de ligante a una tensión cortante de 21255 N/m^2 durante 381 s; a continuación se elimina la tensión y se determina el porcentaje de deformación recuperada, después de otros 381 s, respecto a la que tenía en el momento de la anulación de la tensión. En la figura 4 se muestra un esquema de la curva de recuperación elástica obtenida en el reómetro.

La recuperación elástica de los betunes-polímeros, como se muestra en la tabla 1, es superior a la del betún puro. Los porcentajes de recuperación de los ligantes modificados varían entre 25 y 57 %, observándose cómo el betún-polímero A presenta mayor recuperación elástica, al igual que ocurría con el ensayo de recuperación elástica mediante dispositivo de torsión. Sin embargo, no se observa una buena correlación entre los resultados obtenidos con ambos métodos (reómetro y torsión). Esta falta de correlación parece explicable si tenemos en cuenta las diferentes temperaturas de ensayo.

Recuperación elástica mediante el reómetro de placa deslizando (Método 2). En este método de ensayo se somete la probeta de ligante a una tensión de 11.000 N/m^2 hasta que se alcanza una deformación de 1 mm, se elimina la tensión de corte y se determina el porcentaje de deformación recuperada después de un tiempo 10 veces superior al empleado en conseguir 1 mm de deformación, tal como se indica en el esquema de la figura 5.

Los betunes-polímeros estudiados presentan valores de recuperación elástica comprendidos entre 32 y 59 %. Todos los valores obtenidos son mayores al del betún control, siendo, al igual que los casos anteriores, el ligante A el que presenta mayor valor de recuperación elástica.

Los valores de recuperación elástica obtenidos mediante el reómetro de placa deslizando con este método y con el anterior no son concordantes, porque los betunes-polímeros son materiales viscoelásticos y por tanto la elasticidad depende de la intensidad y tiempo de aplicación de la carga, que son diferentes en ambos ensayos.

Ensayo de película fina. El envejecimiento de los betunes modificados con polímeros se ha evaluado mediante el ensayo de película fina. Los resultados obtenidos sobre el residuo de las muestras ensayadas se discuten a continuación.

Variación de masa. Todos los betunes-polímeros experimentan variaciones de masa después del ensayo de película fina sensiblemente inferiores al 0,8 %, límite máximo establecido en las especificaciones de nuestro país para los betunes asfálticos tipo B60/70.

Penetración del residuo. Las penetraciones de los residuos de película fina de las muestras de betunes-polímeros,

expresadas como porcentaje de la penetración respecto a la original, varían entre el 75 y 96 %. Estos valores son inferiores al obtenido para el betún puro, que es del 63 %, lo que significa que los betunes modificados estudiados se endurecen menos que el betún control después de este ensayo de envejecimiento.

Punto de reblandecimiento del residuo. A excepción del ligante F, los puntos de reblandecimiento de los residuos de película fina de los betunes-polímeros aumentan con respecto a sus correspondientes valores originales, entre 1,5 y 8,3 °C. El punto de reblandecimiento del ligante F es inferior al original, posiblemente porque exista una degradación del polímero por efecto de las condiciones en que se realiza en ensayo de película fina.

Estos incrementos son inferiores a 9 °C, límite máximo recogido en las especificaciones de forma orientativa para un betún asfáltico puro tipo B60/70.

Ductilidad del residuo. A excepción del ligante F, después del ensayo de película fina, todos los betunes-polímeros presentan ductilidades a 5 °C inferiores a los correspondientes originales, lo que indica que el envejecimiento afecta negativamente a esta característica.

Nuevamente el betún-polímero F llama la atención porque, al igual que con el punto de reblandecimiento, presenta un comportamiento anormal, ya que aumenta la ductilidad respecto a la original, lo que indica que ha existido una degradación del polímero.

Como puede verse en la tabla 1, los valores de ductilidad obtenidos para los betunes modificados varían entre 3 y 35 cm, lo que indica diferencias acusadas para deformarse sin rotura a esta temperatura. El ligante E presenta ductilidad igual a la del betún control, mientras que el resto de los betunes modificados presentan valores superiores y por tanto mejor comportamiento que un betún puro de similar penetración.

5. CONCLUSIONES

Como resultado del estudio realizado pueden establecerse las siguientes conclusiones:

- En general todos los betunes-polímeros estudiados presentan mejores propiedades reológicas que el betún sin modificar utilizado como control, como se ha puesto de manifiesto en los ensayos de laboratorio por la mejora de las siguientes características:
 - Punto de reblandecimiento.
 - Índice de penetración.
 - Viscosidad.
 - Flotador a 60 °C.
 - Punto de fragilidad Fraass.
 - Intervalo de plasticidad.
 - Ductilidad a 5 °C.
 - Recuperación elástica.
 - Caída de bola.
- La resistencia al envejecimiento de los betunes-polímeros, evaluada mediante el ensayo de película fina, es generalmente superior a la del betún de control, lo que debe traducirse en una mayor durabilidad

de las mezclas bituminosas fabricadas con estos ligantes.

- Existen diferencias significativas entre las propiedades de los distintos betunes-polímeros comerciales estudiados, lo que posibilita la elección del ligante más adecuado para cumplir con éxito las funciones que debe desempeñar en la mezcla bituminosa, que será función del tipo de mezcla y de la aplicación concreta a que se destine.
- Las temperaturas de mezcla de los ligantes modificados, son generalmente más altas que las correspondientes a un betún puro de similar penetración y son diferentes para cada tipo de ligante, por lo que deben de estimarse para cada uno a partir de los datos de viscosidades determinados a distintas temperaturas.
- La estabilidad al almacenamiento de los betunes-polímeros es inferior a la de los betunes de penetración y debe estimarse con el método de ensayo descrito en este trabajo u otro alternativo, porque proporciona una indicación de las posibles segregaciones del polímero de un betún-polímero durante el período de almacenamiento a altas temperaturas. Además puede ser un método indirecto para evaluar la compatibilidad entre el betún y el polímero, así como el grado de dispersión de este último, ya que estos dos factores influyen en la estabilidad de un betún-polímero.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a los señores Villalpando, Zafra, De la Fuente, Rodero y Aguilera por su colaboración en el trabajo experimental.

BIBLIOGRAFIA

1. RUBIO, B., y DO PINO, F. (1990). Caracterización en Laboratorio de los betunes modificados con polímeros. Ingeniería Civil, núm. 73.
2. Commission 4 VSS (1985). De l'emploi de liants bitumineux modifiés para polymères (BMP) et de leur application en construction routiere. Route et Traffic núm. 7.
3. FETZ, E.; ANGST, CH, y GRIM, C. (1985). Bitumes modifiés par des polymères. Exigences. Eusobitumen IV, 6.
4. LOPEZ, E., y PRUDHOMME, J. B. (1985). La chute de bille: un essai simple permettant le controle de la reologie des bitumes-polimères. Eurobitumen IV.
5. Circulaire núm. A-169-86/04001 (1986). Ministère des Travaux Publics.
6. KING, G. N.; MUNCY, H. W., y PRUDHOMME, J. B. (1985). The improved rheological properties of polymer modified asphalts. Annual Meeting A.S.T.M. Nashville Rec.
7. WITT, H. P. (1983). The ARRB elastic recovery rheometer. Australian Road Research Board, Technical Manual 13. March.
8. BARTH, E. J. (1962). Asphalt Science and Technology. Gordon and Science Publishers. New York. London.
9. MUÑOZ, J. M., y DO PINO F. (1983). El ensayo del flotador, un método sencillo para determinar las propiedades reológicas del betún. Carreteras, 3.ª época, núm. 8.