

Betún modificado con polvo de caucho de neumáticos fuera de uso. Otro tipo de reciclaje.

**JUAN JOSE POTTI
DIRECTOR TÉCNICO, PROBISA**

RESUMEN

Aunque el empleo de molienda procedente de los neumáticos fuera de uso (NFU) es una tecnología empleada desde hace 40 años, la implantación de la Directivas Europeas en España ha generado una gran concienciación sobre el reciclaje y aprovechamiento de este residuo en la construcción de carreteras.

La trayectoria de investigación en este campo por parte de Probisa viene de lejos, con estudios de mezclas bituminosas realizadas tanto por la vía seca como por la vía húmeda. Basándose en esta experiencia, Probisa ha desarrollado una gama de ligantes bituminosos modificados con polímeros procedentes exclusivamente de NFU. Además de las propiedades intrínsecas del ligante, se ha tenido un especial cuidado en la viscosidad del mismo con el fin de obtener mezclas bituminosas que se manejen en las mismas condiciones que con BMP convencionales, siendo, de esta forma, congruentes con el objetivo de ecoeficiencia que se busca en cualquier procedimiento de reciclaje.

En el trabajo también se abordan las limitaciones que los actuales métodos de ensayos empíricos presentan a la hora de cuantificar las propiedades de los ligantes bituminosos. Como alternativa se propone una metodología basada en ensayos de comportamiento funcional.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace tiempo se viene hablando de la reutilización de los neumáticos fuera de uso (NFU) para tratar de minimizar el gran problema de acopios que existe en el mundo occidental. El concepto de *Desarrollo Sostenible*, tan en boga hoy en día, exige que toda la sociedad se concencie de la necesidad de aprovechar al máximo los recursos disponibles, intentando minimizar la generación de residuos.

Bajo esta filosofía, desde los años 60 se inició la reutilización de molienda de neumáticos fuera de uso (NFU) como materia prima para la modificación de las mezclas bituminosas empleadas en la construcción de carreteras. Curiosamente, el gran crecimiento en el empleo de los betunes modificados con polímeros fue en paralelo con las experiencias de betunes modificados con polvo de neumáticos, pero mientras los primeros llegaron a consolidarse como el máximo estándar de calidad, los segundos han sufrido una serie de vaivenes en su desarrollo, sin llegar nunca a despuntar.

El empleo de caucho procedente de neumáticos usados para modificar las propiedades del betún data de los años 50, aunque no fue hasta 1963 la primera vez que se realizó una prueba industrial de cierta relevancia.

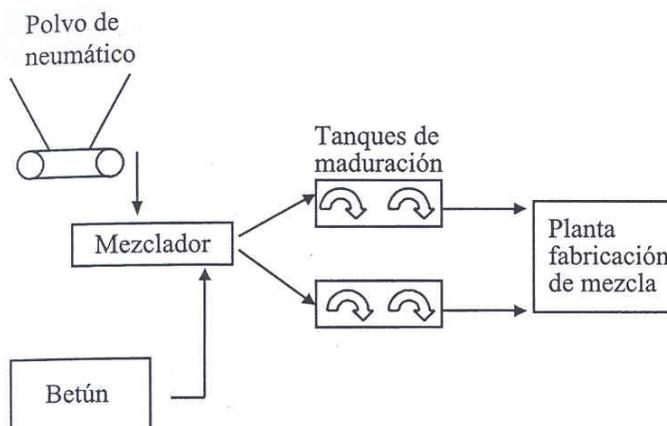
Desde entonces se han hecho multitud de ensayos, pero de forma muy general se pueden resumir en dos las tecnologías empleadas en la modificación de mezclas asfálticas:

- Modificación por “Vía Húmeda”: Este procedimiento consiste en la dispersión del caucho dentro del betún. El betún con caucho se emplea posteriormente en la fabricación de las mezclas asfálticas.
- Modificación por “Vía Seca”: En este caso, el caucho molido se trata como un “árido”, mezclándose con el betún y el resto de áridos para obtener una mezcla bituminosa de características especiales.

Dentro de la modificación por “Vía Húmeda” se podrían establecer dos filosofías:

- Instalaciones concebidas para fabricar un betún caucho **siempre en el mismo lugar donde se sitúa la planta de aglomerado asfáltico**, de forma que no existe en la práctica un almacenaje y transporte, en cisternas, del producto. Un esquema de este tipo de producción se esquematiza en la Figura 1.
- La forma más reciente de abordar la vía húmeda es producir betunes modificados con caucho de neumáticos, de características similares a los betunes modificados con polímeros, en instalaciones de producción muy similares a las de estos. El producto es almacenado, controlado, transportado en cisterna y presenta características de betún modificado con polímero; se le podría denominar **BMP NFU**. La instalación de producción no necesita ser instalada al lado de la planta de fabricación de la mezcla en caliente.

Figura 1- Esquema de la vía húmeda “in situ” para la fabricación de mezclas



2. BETÚN-CAUCHO FABRICADO POR PROBISA

En este momento hay 4 o 5 suministradores de betún con caucho (NFU) en España. Todos los suministradores, en general, han optado por el primer esquema de la vía húmeda, fabricar un betún caucho siempre en el mismo lugar donde se sitúa la planta de aglomerado asfáltico.

Probisa ha realizado diversos trabajos de investigación en este campo a lo largo de los últimos años. Como consecuencia de dichos trabajos, Probisa se ha decantado por la fabricación de un betún-caucho tipo BMP NFU de alta estabilidad. Las mezclas inestables de consumo inmediato generan una incertidumbre sobre la calidad del ligante que se está empleando.

Un segundo aspecto que ha influido en el diseño del producto ha sido el control de la viscosidad. La mayoría de los betunes caucho que se comercializan presentan una viscosidades muy elevadas que generan serios inconvenientes en las temperaturas de mezcla y compactación de los aglomerados asfálticos.

Por esta razón PROBISA optó el año pasado por desarrollar un betún modificado con polvo de neumático. Las principales características del producto ofertado son:

- Es un betún modificado (BMP) con NFU. El primer esquema de la vía húmeda no ofrece un BMP con NFU sino un betún con caucho. ¿Cuál es la diferencia? Según el artículo 215 del PG-3 y las futuras especificaciones europeas, sólo puede ser considerado BMP el producto industrial que puede ser analizado, almacenado, transportado y controlado independientemente del lugar de empleo. Los fabricantes que añaden el NFU al betún en una instalación acoplada a una planta en caliente no fabrican BMP, por tanto.
- Es un BMP con NFU que cumple las especificaciones de un BM-3a.. El primer objetivo de la reutilización del NFU por la vía húmeda es la eliminación del NFU pero nuestros clientes, las Administraciones Públicas, pagan por añadir NFU al betún y desde ese punto de vista es muy deseable técnicamente ofrecer un producto mejorado respecto al betún de base. Nuestro BMP con NFU es similar, en características mecánicas, al PB(1,5) 60/70.
- Es un BMP con NFU que cumple con el artículo 542 de Mezclas en Caliente del PG3. El PG3 establece unas temperaturas máximas de fabricación. La incorporación de NFU aumenta la viscosidad del betún de base. Si se fabrica un betún con NFU al que añaden mucho NFU, o se parte de un ligante muy duro, y como consecuencia la viscosidad aumenta demasiado, existen riesgos muy serios.

Reutilizar el NFU es bueno ecológicamente pero un exceso es malo, técnica, energética y ecológicamente hablando; si se incorpora demasiado NFU la viscosidad puede subir demasiado y las temperaturas necesarias de fabricación, extensión y compactación pueden sobrepasar los 200°C. Eso, en España, está en contra del artículo 542 de Mezclas en Caliente:

- Además una mezcla demasiado viscosa produce muy serios problemas de puesta en obra y en general las densidades y características mecánicas finales de la mezcla son malas.
- Además cualquier incremento de temperatura en la fabricación implica un mayor consumo de combustible, aproximadamente un litro de combustible cada 20° que subamos la temperatura de fabricación por tonelada de mezcla en caliente.
- Además es un problema ecológico porque en la medida que quemamos más combustible lanzamos más CO₂, y eso va contra el compromiso de Kyoto.
- Además, cuanto más caliente va una mezcla en caliente más riesgos hay para nuestros operarios por emisiones de gases. En algunos países europeos las mezclas fabricadas a más de 200°C obligan a una equipación especial por parte de los operarios o están prohibidas.

3. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL BMP NFU DE PROBISA

En este sentido, Probisa ha apostado por el desarrollo de un betún caucho con prestaciones y **viscosidad** similares a los de un betún modificado tipo BM3-b. En la Tabla 1 se describen las características principales del betún caucho fabricado por Probisa.

Tabla 1

Características	Unidad	Norma	Valores característicos	Especificaciones	
				Mínimo	Máximo
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	0,1 mm	NLT 124	58	55	70
Punto de reblandecimiento A&B	°C	NLT 125	56,5	55	
Ductilidad a 5°C	cm	NLT 126	8	7	
Recuperación elástica a 25°C	%	NLT 329	27	25	
Densidad relativa 25°C/25°C		NLT 122	1,04		
Ensayos sobre el residuo de película fina					
Variación de masa	%	NLT 185	- 0.2		0,1
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	% p.o	NLT 124	80	65	
Variación del punto de reblandecimiento	°C	NLT 125	+ 5	-5	+10
Ductilidad a 5°C	cm	NLT 126	6	4	

Si nos atenemos a las propiedades exigidas en el artículo 215 del PG-3, la mayoría de los expertos valoran como propiedades fundamentales la penetración, el punto de reblandecimiento y la recuperación elástica, si bien existen otras metodologías de ensayos que proporcionan información más relevante.

3.1. Estabilidad al almacenamiento

Como ya se ha citado antes, PROBISA ha apostado por un producto de CALIDAD perfectamente contrastable por el cliente. Esto implica que las propiedades del producto no sólo han de ser adecuadas en el momento de la fabricación, sino que además han de perdurar durante el proceso de almacenamiento, en los casos que las circunstancias del suministro así lo exijan.

3.2. Control de calidad

De acuerdo a la Directiva Europea sobre Productos de Construcción, todos los materiales empleados en la construcción de carreteras deberán llevar el marcado CE. Esto implica que los procedimientos de Control de Calidad serán básicos para garantizar las propiedades finales y la **trazabilidad del producto**.

Las fabricaciones “in situ” de betunes modificados proporcionan incertidumbre en la calidad del suministro. PROBISA reivindica para los betunes modificados con polvo de neumático un tratamiento similar al de los betunes modificados con polímero convencionales en cuanto a control de calidad y especificaciones.

3.3. Mejor perfil ecológico

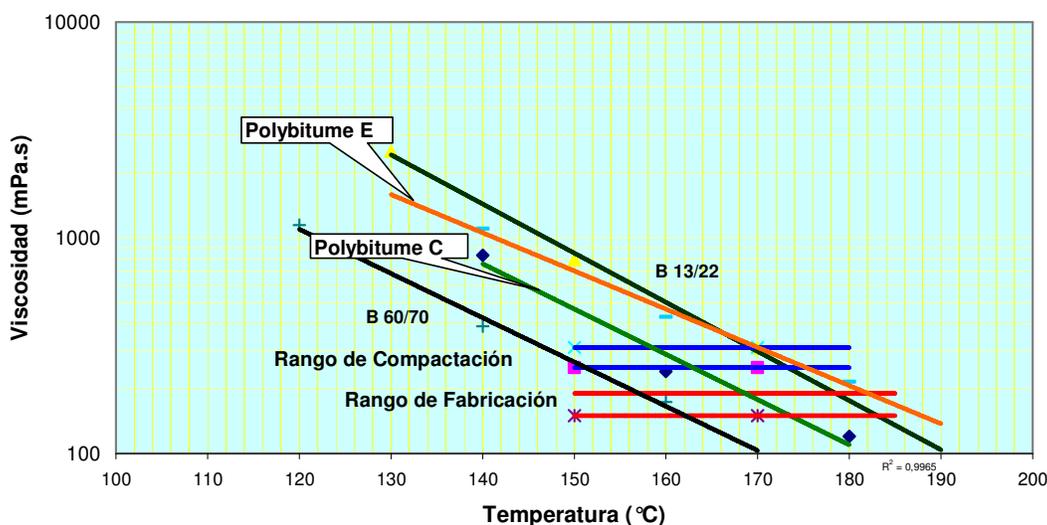
La razón principal del empleo del polvo de neumático es la necesidad de reutilizar un residuo, empleando el reciclaje como herramienta de aprovechamiento de los recursos, frente a otras opciones como la incineración que son más agresivas desde un punto de vista medioambiental. Sin embargo, el intentar aprovechar un residuo no debe hacernos caer en la generación de otros residuos como el CO₂, o en derrochar recursos energéticos. Veamos las razones de estos problemas. El diseño del betún modificado de PROBISA ha sido especialmente cuidadoso en una propiedad fundamental: **la viscosidad**.

Las especificaciones actuales prestan a la viscosidad un papel secundario. Normalmente se exige una “pseudoviscosidad mínima”, que en el caso español se evalúa por medio del ensayo del flotador (NLT 183). La función de exigir un valor mínimo es garantizar que alrededor de los áridos se deposite una película de betún lo suficientemente gruesa como para garantizar el correcto comportamiento de la mezcla.

Muchos años de experiencia muestran que el valor mínimo citado permite obtener mezclas bituminosas con todas las garantías de calidad. Paralelamente, la norma de Resistencia a la deformación de las Mezclas Bituminosas empleando el aparato Marshall (NLT-159) exige unos rangos de viscosidad del betún para que los procesos de mezcla y compactación se realicen adecuadamente. Los valores exigidos son de 170 ± 20 cSt para la mezcla y de 280 ± 130 cSt para la compactación.

En los criterios SHRP, también se utiliza la viscosidad (medida con un equipo Brookfield) como un parámetro que nos indica la temperatura adecuada de manipulación del betún. Si nos fijamos en la Figura 2, en ella podemos observar varias curvas de viscosidad: unas correspondientes a las de betunes convencionales (tipos 60/70 y 13/22), otra de betún modificado con polvo de neumático Polybitume C y la otra correspondiente a la de betún modificado tipo BM-3b. Como puede verse en el gráfico, el betún modificado con caucho Polybitume C tiene una viscosidad intermedia entre la de un betún 60/70 y la de un betún 13/22 o la de un betún modificado BM-3b (Polybitume E).

Figura 2



Si hubiésemos elegido un betún modificado de alta viscosidad, por ejemplo, que rondase los 1.700 mPa.s a 175°C en lugar de un betún modificado con caucho tipo Polybitume C, ¿qué significa en términos prácticos este incremento en la viscosidad?. Las implicaciones son todas negativas según podremos comprobar a continuación.

Un incremento de 900-1.000 mPa.s a 175°C implica que la ventana de operación en la fabricación de la mezcla y en la compactación se desplaza, incrementando la temperatura de trabajo en unos 30°C (estaríamos hablando de temperaturas del orden de 210°C). Recordemos que la temperatura máxima exigida en el artículo 542.5.1 es de 180°C. Esta limitación se ha establecido para evitar procesos de oxidación térmica en el betún causados por temperaturas excesivas.

El incrementar la temperatura de fabricación implica, igualmente, un mayor consumo de combustible y un incremento substancial en la generación de CO₂, como se puede apreciar en la Figura 3.

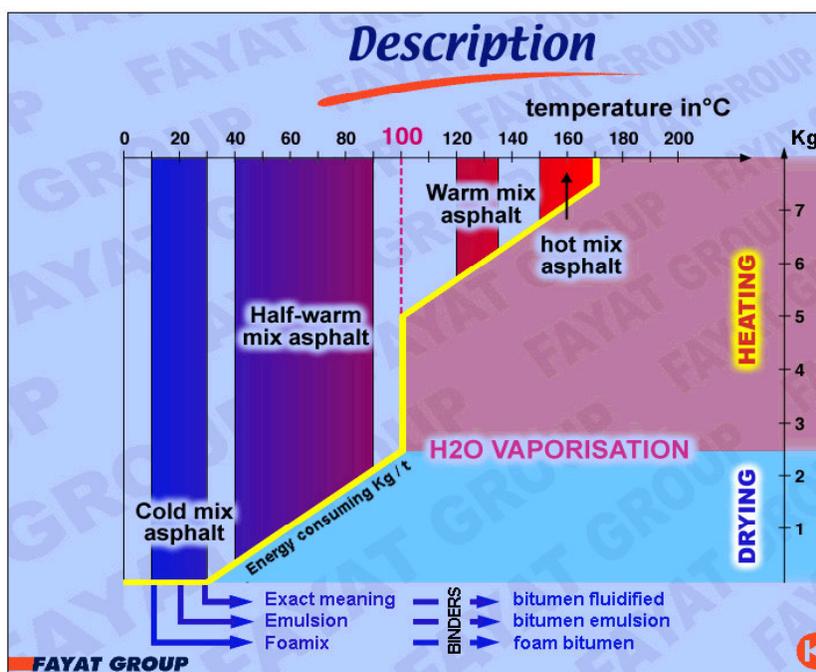


Figura 3

El incremento citado de 30°C, significa un incremento de consumo de fueloil de 1-1,5Kg por tonelada de aglomerado.

- El empleo de viscosidades muy elevadas dificulta de manera extraordinaria las operaciones de logística con este tipo de betunes, especialmente en épocas frías. La solución a este problema no pasa por tener que fabricar a pie de planta de aglomerado el betún modificado con polvo de caucho. En este sentido, su tratamiento debe ser similar al del resto de betunes modificados con polímeros (transporte y suministro en cisternas).

4. PROPUESTA DE ESPECIFICACIONES DE BMP BASADAS EN EL COMPORTAMIENTO FUNCIONAL

En la revista Carreteras se publicó un artículo sobre una nueva propuesta de especificaciones basadas en su comportamiento para los betunes modificados con polímeros, basada en ensayos reológicos que permitan valorar su comportamiento frente a los argumentos técnicos a favor de los betunes modificados con polímeros. El sobreprecio de precio de los betunes modificados con polímeros se justifica en base a uno, o varios, de estos argumentos:

- Mejor comportamiento a bajas temperaturas (menor fragilidad o riesgo de fisuración).
- Mejor comportamiento a temperaturas elevadas (mayor consistencia y menor riesgo de deformaciones plásticas).
- Razones de comportamiento reológico (aumento de la componente elástica y por tanto mejor respuesta frente a la fatiga y las deformaciones plásticas).
- Mayor cohesión (más alta resistencia a las pérdidas de gravillas y a la fisuración).
- Menor tendencia al envejecimiento (mayor durabilidad).

Parecería lógico pensar que unas especificaciones basadas en el comportamiento de los betunes modificados con polímeros deberían basarse en ensayos reológicos que permitiesen valorar adecuadamente las mejoras en el comportamiento enumeradas e incluso disponer para cada propiedad de un sistema de clasificación.

En base a estos argumentos se propusieron 6 criterios:

4.1. Criterio de consistencia.

Las especificaciones actuales europeas para los ligantes bituminosos se basan en criterios de consistencia, caracterizada a través del ensayo de penetración a 25°C. Por ello se identifican los betunes como un B55/70 o B250/330 siendo estos números que acompañan a la inicial "B" (de bitumen) el rango de la penetración a 25°C.

En el caso de los betunes modificados con polímeros, este valor de la penetración no está correlacionado con el valor del módulo complejo, en el caso de los betunes convencionales sí, por lo que un criterio de clasificación riguroso conduciría a sustituir el criterio de la consistencia basándolo en el valor del módulo complejo en lugar del valor de la penetración a 25°C. Según las experiencias del programa SHRP la medida del módulo a 25°C y una frecuencia de 1,6 Hz simula el paso de un vehículo a una velocidad de 90 km/h.

En betunes puros:

–	$IG^*I_{25} > 3$	MPa equivale a Pen ₂₅	<20 dmm
–	de 2 a 3	MPa de	20-35 dmm
–	de 1 a 2	MPa de	35-50 dmm
–	de 0,5 a 1	MPa de	50-70 dmm
–	de 0,2 a 0,5	MPa de	70-100 dmm
–	$IG^*I_{25} < 0,2$	Mpa equivale a Pen ₂₅	>100 dmm

4.2. Intervalo de plasticidad y susceptibilidad térmica.

Uno de los argumentos más comúnmente empleados a favor de la modificación con polímeros de los betunes convencionales radica en:

- Una ampliación del intervalo de plasticidad. En general es mayor el incremento del valor del punto de reblandecimiento que el del punto de fragilidad. Eso implica, como antes se ha argumentado a favor de los BMP, ser menos frágil a bajas temperaturas y menos deformable a altas temperaturas.
- Una menor susceptibilidad térmica. Estos dos argumentos están relacionados. En todos los betunes modificados con polímeros a los que se ha ampliado su intervalo de plasticidad se produce paralelamente una disminución de la susceptibilidad térmica.

En el programa SHRP se propone en su lugar calcular la temperatura a la cual el módulo complejo dividido por el seno del ángulo de desfase sea de 1 kPa (valor sugerido por SHRP). Por lo que esta temperatura sería más adecuada que el valor del anillo y bola y su significación estaría reológicamente más fundamentada para valorar la deformación a altas temperaturas.

En el otro extremo para valorar el límite de fragilidad, en lugar del ensayo Fraass, en el programa SHRP se propone el empleo del “Bending Beam Rheometer” (BBR). Este aparato permite determinar la temperatura a la cual el isomódulo de un ligante es de 300 MPa y/o una temperatura de isovalor “m”, parámetro característico de la aptitud de un ligante para relajar las tensiones a baja temperatura, de 0,3 (valor sugerido por SHRP).

En base a estos dos “nuevos” ensayos, se podría determinar el intervalo de plasticidad como el rango de temperaturas comprendidas entre la temperatura a la cual el módulo complejo dividido por el seno del ángulo de desfase sea de 1 kPa y la temperatura a la cual el isomódulo de un ligante es de 300 MPa y/o una temperatura de isovalor “m” de 0,3.

En esta nueva definición del intervalo de plasticidad (IP) se proponen cuatro clases:

- Clase 0:	IP	inferior a	85°C
- Clase 1:	IP	entre	85 y 90°C
- Clase 2:	IP	entre	90 y 95°C
- Clase 3:	IP	superior a	95°C

4.3. Comportamiento reológico.

Si se consideran los criterios propuestos dentro de las especificaciones SHRP para valorar la modificación de las propiedades reológicas asociadas con la incorporación de polímeros a los betunes puros, el criterio $G^*/\text{sen}\delta$, no hace intervenir el ángulo de fase más que a la temperatura más alta del rango de temperaturas de empleo (se ha tenido ocasión de demostrar que es muy poca la variación en valor absoluto del módulo de G^* puesto que el ángulo de fase tiende a 90° y el seno de este ángulo tiende a uno).

La deformación de una mezcla bituminosa se produce, si se produce, sobre todo en un rango de temperaturas, entre 30° y 70° aproximadamente, por lo que la modificación del comportamiento reológico, debería ser examinado sobre el conjunto de este rango.

Si se examina el efecto de la modificación de los betunes puros por la adición de polímeros en las isocronas del ángulo de fase, se observa que este último aumenta hacia los 10°C (comportamiento viscoso) y disminuye hacia los 40°C (comportamiento más elástico). Se puede entonces considerar el ángulo de fase a 40°C como un índice del nivel de modificación de las propiedades reológicas.

El análisis de los valores de los ángulos de desfase δ conduce a proponer las siguientes clases de comportamiento:

- Clase 0: ángulo de desfase δ superior a 75°,
- Clase 1: ángulo de desfase δ de 65 a 75°,
- Clase 2: ángulo de desfase δ de 55 a 65°,
- Clase 3: ángulo de desfase δ inferior a 55°.

4.4. Cohesión.

La cohesión es una cuestión que no ha sido tomada en cuenta dentro de las propuestas SHRP. El ensayo de cohesión VIALIT en el caso de los ligantes para tratamientos superficiales (para los que ellos fue puesto a punto) ha sido sobradamente comprobada su eficacia.

Trabajos complementarios parecen indicar su conveniencia para tratar de obtener criterios sobre problemas de arrancamientos y pérdida de textura en el caso de aglomerados drenantes y de evolución de la macrotextura en el caso de aglomerados discontinuos.

La cohesión VIALIT máxima de los betunes puros depende de su rango penetración y de su origen pero generalmente es inferior a 0,9 Julio/cm². De esta figura se pueden deducir las siguientes clases de cohesión:

- Clase 0: ángulo de desfase δ inferior a 0,9 Julio/cm²,
- Clase 1: ángulo de desfase δ de 0,9 a 1,3 Julio/cm²,
- Clase 2: ángulo de desfase δ de 1,3 a 1,8 Julio/cm²,
- Clase 3: ángulo de desfase δ superior a 1,8 Julio/cm².

4.5. Envejecimiento. Tendencia a la oxidación.

El uso del RTFOT para simular la oxidación de los betunes puros durante la fase de fabricación de la mezcla es suficientemente conocido en Europa. En lo que concierne a la susceptibilidad de un ligante bituminoso frente a la oxidación "in situ", el programa SHRP propone el *Pressure Aging Vessel* (PAV). Es impensable pretender acelerar el envejecimiento de un ligante bituminoso en laboratorio y a lo sumo se puede determinar la "susceptibilidad a la oxidación" y establecer un criterio comparativo entre los ligantes.

Ensayos sobre betunes por betunes puros y sobre betunes polímeros han demostrado que los resultados de una oxidación a 100°C (PAV) son idénticos a los de una oxidación a 163° (RTFOT) y que únicamente las cinéticas son diferentes. Son precisas 5 horas en el PAV para obtener el mismo resultado que 75 minutos en el RTFOT. La confirmación de estos primeros resultados podría conducir a utilizar el PAV durante 5 horas para simular la fase de fabricación para posteriormente y durante 20 horas suplementarias simular el grado de oxidación propuesto por el SHRP.

La experiencia muestra que las consecuencias del RTFOT sobre las características a baja temperatura (temperatura de isomódulo 300 MPa y temperatura de isovalor “m” igual a 0,3) no son muy grandes al contrario de las consecuencias del PAV.

Se podría por tanto abordar la propuesta especificaciones sobre la susceptibilidad a la oxidación bajo dos vías complementarias:

- Medir después de RTFOT el módulo G^* a 25°C y la temperatura de isomódulo $G^*/\text{sen}\delta$ igual a 2.2 kPa (como sugiere el SHRP) y considerar dos valores:
 - Δ (°C) = T 2.2 kPa – T 1 kPa
 - $R = |G^*|_{25}$ después de RTFOT / $|G^*|_{25}$ antes RTFOT

Los resultados obtenidos permiten proponer las siguientes clases:

- Clase 0: Δ (°C) superior a 4°C,
 - Clase 1: Δ (°C) de 2 a 4°C,
 - Clase 2: Δ (°C) inferior a 2°C.
 - Clase 0: R superior a 2°C,
 - Clase 1: R de 1,5 a 2°C,
 - Clase 2: R inferior a 1,5°C.
- Medir T 300 MPa y T m igual a 0,3 después de RTFOT y PAV y calcular los nuevos intervalos de plasticidad después de simulación completa del envejecimiento:
 - $IP'(1) = T 2.2 \text{ kPa} - T 300 \text{ Mpa}$,
 - $IP'(2) = T 2.2 \text{ kPa} - T m = 0,3$,

Intervalos de plasticidad a los cuales se pueden aplicar las mismas clases de comportamiento que anteriormente.

De todos estos datos se concluye que es posible clasificar el conjunto de los ligantes bituminosos basándonos en la norma del módulo y caracterizarlos de manera racional y tratar de correlacionar cada uno de estos criterios de clases de comportamiento independientemente de naturaleza ligante y por tanto del tipo y contenido en polímeros.

Esta aproximación sería aplicable a todos los ligantes bituminosos (betunes duros, betunes denominados multigrados, betunes polímeros, ligantes sintéticos, betunes sopladados, etc..).

Ciertas clases de comportamiento propuestas en este documento son desde luego arbitrarias y sólo una investigación prenormativa, evocada al inicio de este documento, permitiría determinar la conveniencia de estos indicadores y el ajuste de los límites pero en todo caso esta aproximación sería mucho más útil y aportaría más criterio que las propuestas actuales del grupo de normalización europeo.

5. APLICACIÓN DEL CRITERIO DE COMPORTAMIENTO FUNCIONAL

Tomando como base este criterio de valoración de los BMP se ha realizado un estudio comparativo del comportamiento de cinco ligantes. Cuatro de ellos son productos comerciales en España tipo BM-3c:

- El betún caucho Polybitume C fabricado por Probisa
- El betún BM-3c del fabricante 1
- Un betún BM-3c del fabricante 2
- Un betún BM-3c del fabricante 2
- Un betún BM-3c del fabricante 3

A estos ligantes se les han aplicado los siguientes ensayos:

Antes de RTFOT

BBR: T(S= 300 MPa) 60s (°C)

BBR: Pendiente m =0,3 (°C)

Pendiente a (G*=f(Temp.) 20-60°C)

BOHLIN: T°(G*/sendelta=1 kPa)

G*(Pa) a 25°C

d 40°C

Intervalo de Plasticidad SHRP

IP1 (T (1 kPa)-T(300 MPa))

IP2 (T(1 kPa)-T(m=0,3))

Estabilidad al almacenamiento

TBA 1/3 Alto

TBA 1/3 Bajo

COHESION VIALIT

Máximo de cohesión (J/cm²)

MICRO-ESTRUCTURA

Después RTFOT

BOHLIN : T°(G*/sendelta=2,2 kPa)

DT(2,2 kPa - 1 kPa)

G* (Pa) a 25°C RTFOT

R= (G*25°C (DespuesRTFOT)/ G*25°C
(antes RTFOT))

MICRO-ESTRUCTURA

Los resultados obtenidos se representan en la tabla final. Aplicando los criterios de valoración antes expresados se obtiene:

Tabla 2



	Polybitume C	BM-3c Fab. 1	BM-3c Fab.2	BM-3c Fab.2	BM-3c Fab.3
Intervalo de Plasticidad	3	3	3	3	3
Susceptibilidad termica	3	3	3	2	2
Angulo de desfase a 40°C	2	2	2	2	1
Cohesión (Ensayo Vialit)	2	3	2	2	3
Resistencia al envejecimiento	3	3	3	3	3
Total	13	14	13	12	12

6. CONCLUSIONES

En este momento hay 4 o 5 suministradores de betún con caucho (NFU) en España. Todos los suministradores, en general, han optado por fabricar un betún caucho siempre en el mismo lugar donde se sitúa la planta de aglomerado asfáltico.

Probisa ha realizado diversos trabajos de investigación en este campo a lo largo de los últimos años. Como consecuencia de dichos trabajos, Probisa se ha decantado por la fabricación de un betún-caucho tipo BMP NFU de alta estabilidad. Las mezclas inestables de consumo inmediato generan una incertidumbre sobre la calidad del ligante que se está empleando.

Por esta razón PROBISA optó por desarrollar un betún modificado con polvo de neumático, las principales características del producto ofertado son:

- Es un betún modificado (BMP) con NFU. El primer esquema de la vía húmeda no ofrece un BMP con NFU sino un betún con caucho. ¿Cuál es la diferencia? Según la UE, sólo puede ser considerado BMP el producto industrial que puede ser analizado, almacenado, transportado y controlado independientemente del lugar de empleo. Los fabricantes que añaden el NFU al betún en una instalación acoplada a una planta en caliente no fabrican BMP, por tanto.
- Es un BMP con NFU que cumple las especificaciones de un BM-3a. El primer objetivo de la reutilización del NFU por la vía húmeda es la eliminación del NFU pero nuestros clientes, la administración, pagan por añadir NFU al betún y desde ese punto de vista es muy deseable técnicamente ofrecer un producto mejorado respecto al betún de base. Nuestro BMP con NFU es similar, en características mecánicas, al PB(1,5) 60/70.

- Es un BMP con NFU que cumple con el artículo 542 de Mezclas en Caliente del PG3. El PG3 establece unas temperaturas máximas de fabricación. La incorporación de NFU aumenta la viscosidad del betún de base. Si se fabrica un betún con NFU al que añaden mucho NFU, o se parten de un ligante muy duro, y como consecuencia la viscosidad aumenta demasiado, existen riesgos muy serios.

Parece posible clasificar el conjunto de los ligantes bituminosos basándonos en la norma del módulo y caracterizarlos de manera racional y tratar de correlacionar cada uno de estos criterios de clases de comportamiento independientemente de naturaleza ligante y por tanto del tipo y contenido en polímeros.

Esta aproximación sería aplicable a todos los ligantes bituminosos (betunes duros, betunes denominados multigrados, betunes polímeros, ligantes sintéticos, betunes sopladados, etc..)

Aplicando el criterio de comportamiento propuesto por Bernard Brûlé a cuatro betunes modificados tipo BM-3c suministrados por varios fabricantes españoles y comparándolo con el betún caucho BMP NFU fabricado por Probisa se observa que todos los BM-3c analizados presentan excelentes propiedades, existiendo entre ellos sólo pequeñas diferencias de comportamiento, y totalmente comparables con el betún caucho BMP NFU de Probisa.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] B. BRULE, S. LARGEAUD, M. MAZE, "Evaluation performantielle des bitumes polymères: de nouveaux résultats et des propositions concrètes", RGRA, n°761, Avril 1998
- [2] B. BRULE, "Liants bitumineux: caractéristiques fonctionnelles et méthodes d'essais", RGRA, n°578, Janvier 1998
- [3]. B. BRULE, M. MAZE, "Les bitumes polymères pour enrobés spéciaux: élastomères ou plastomères?", RGRA, n°726, Février 1995
- [4]. J.C. VANISCOTE, B. BRULE, "Caractérisation des liants modifiés pour enduits superficiels", Rapports des Laboratoires, Série Construction Routière, CR-9, LCPC, Juin 1987
- [5] Y. JOLIVET, M. MALOT, "Evaluation de la résistance aux efforts tangentiels des enrobés drainants et bétons bitumineux très minces sur le manège TOTAL", Papier n°041 envoyé pour l'atelier Eurobitume-EAPA, Luxembourg, Mai 1999
- [6] F. MIGLIORI, J.F. CORTE, "Comparative study of RTFOT and PAV aging simulation laboratory test", paper presented at the 1998 Meeting of the Transportation Research Board, n°980850, 1998
- [7] J.A. Fernández del Campo, J.J. POTTI, "Influencia del ligante y los polímeros en los betunes modificados", VI Congreso Latino-Americano del Asfalto, Noviembre 1991
- [8] J.J. POTTI, "Essais sur bitumes polymères et leur caractérisation", Eurobitume, Junio 1989.