

IV JORNADA NACIONAL ASEFMA 2009

Feria de Madrid-IFEMA, 25 y 26 de Marzo de 2009

**BETÚN MODIFICADO CON POLVO DE
NEUMÁTICO Y CERAS, EN MEZCLA M-10
CON FIBRAS**

Santiago Gil Redondo
Ditecpesa, S.A.

Oscar Herrero
Campi y Jové, S.A.

INDICE

INTRODUCCIÓN	3
CARACTERÍSTICAS LIGANTE BMC	4
DISEÑO DE LA FÓRMULA DE TRABAJO	9
EJECUCIÓN DE LA OBRA	12
CONTROL DEL PRODUCTO FINAL	13
CONCLUSIONES	14
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16

INTRODUCCION

El empleo de polvo de neumático fuera de uso es cada vez una práctica más habitual en la construcción de los firmes españoles. La necesidad de gestionar de manera sostenible las elevadas cantidades de neumáticos fuera de uso que se generan, ha originado que se contemple de manera importante la posibilidad de su empleo como materia prima en la construcción de firmes bituminosos.

Este tipo de producto, por su naturaleza, confiere a la mezcla asfáltica una mayor flexibilidad y resistencia a las deformaciones plásticas debido al incremento en el punto de reblandecimiento que origina sobre el ligante. El handicap que conlleva el empleo de este producto es que para alcanzar las propiedades de un betún modificado con polímero convencional es necesario el empleo de cantidades de polvo de neumático próximas al 10-15%, lo que origina un incremento en la viscosidad del ligante y por lo tanto un aumento en las temperaturas de fabricación, extendido y compactación para mezclas fabricadas con este producto. Este aumento de temperatura origina una mayor emisión de gases contaminantes y consumo de combustible, por lo que la técnica no sería óptima medioambientalmente hablando. Este inconveniente ha sido solventado añadiendo aditivos plastificantes a la fórmula betún/NFU's, que originan una disminución de la viscosidad del ligante final, sin comprometer las características mecánicas del betún.

Por lo tanto el BMC resultante permite ser trabajado a temperaturas incluso inferiores a las correspondientes a un betún modificado convencional. Este betún es fruto del trabajo de investigación desarrollado en el Laboratorio Central de Ditecpesa y ha sido bautizado como **BMC-Ditecpesa**.

La mezcla bituminosa fabricada corresponde a una mezcla discontinua tipo M10, actualmente denominada mezcla BBTM11B -M, a la que se han incorporado fibras de celulosa granulares **VIATOP**[®], por vía seca. La incorporación de este tipo de fibras a la mezcla permite que el alto porcentaje de ligante (6,70% s/m) se mantenga estabilizado sin que se produzca riesgo de escurrimiento en la mezcla. Este incremento de ligante va a derivar en un aumento del tiempo de vida del firme. Por otro lado la dotación de fibras afecta positivamente a la resistencia a las deformaciones plásticas. El empleo de este tipo de adiciones (fibras de celulosa) es de uso generalizado en toda Europa para confeccionar mezclas con alto contenido de ligante estabilizado que aportan mayor durabilidad.

La experiencia que se muestra en esta comunicación corresponde a la ejecución de obra en la “Variante de Valdemoro” bajo control de la Comunidad de Madrid, que con su preocupación por las nuevas tecnologías y su espíritu innovador han aprobado el empleo de esta fórmula combinada innovadora.

A continuación se analizarán las características del ligante y de la mezcla aplicada. De los ensayos realizados podemos resaltar las propiedades reológicas del ligante diseñado y las buenas propiedades mecánicas de la mezcla final.

CARACTERÍSTICAS LIGANTE BMC

Se trata de un betún modificado con polvo de neumáticos fuera de uso NFUs (**Necalflex 0-0,6 mm**) de granulometría equivalente al tipo P2 del Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas. Tiene un contenido en caucho del 10%. Se trata de una formulación especial, que incorpora **ceras sintéticas** las cuales facilitan la fabricación, extendido y compactación del aglomerado, además de otros **aditivos** que mejoran la estabilidad del ligante (*Fig. 1*)

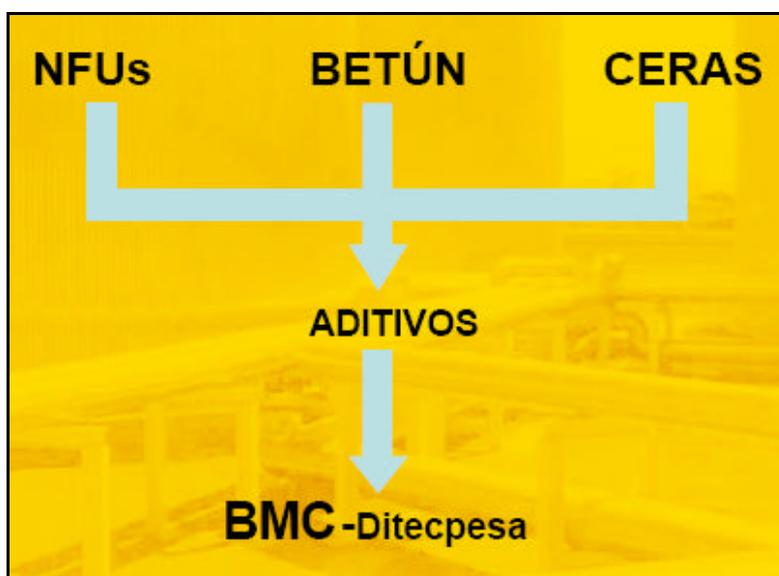


Fig. 1. Materias primas que componen el BMC-Ditecpesa.

El proceso de fabricación de esta formulación ha requerido de unas instalaciones específicas con capacidad para mantener las condiciones determinadas de cizalla, temperatura y agitación.

Se ha observado que es necesario un tiempo de maduración, para que se produzca la interacción entre los componentes y absorción parcial de la fracción aromática por el fenómeno de hinchamiento “swelling” de las partículas de caucho.

Este comportamiento ha sido analizado previamente en laboratorio a través de medidas de viscosidad mediante un viscosímetro rotacional. Durante el proceso de fabricación la viscosidad aumenta progresivamente (por las características adhesivas del caucho y su fenómeno de hinchamiento-absorción) hasta que las interacciones se han completado y el ligante ha alcanzado sus características óptimas (Fig. 2).

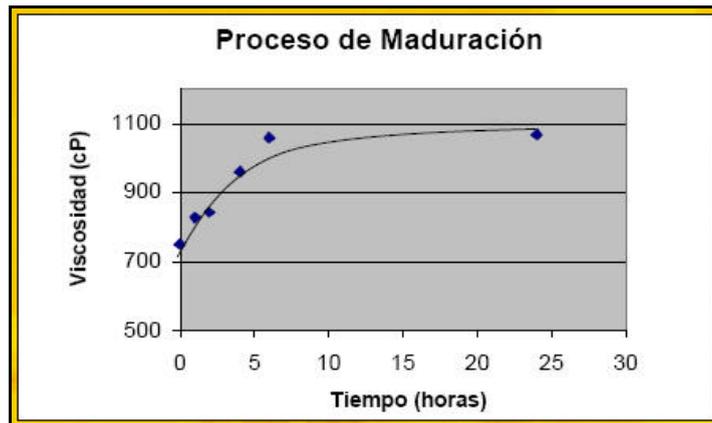


Fig. 2. Valores de viscosidad durante el proceso de maduración

En la *tabla 1* se detallan las características de este ligante.

ESPECIFICACIONES	UNIDAD	NORMA NLT	BMC VALOR CARACTERÍSTICO
BETÚN ORIGINAL			
Penetración (25°C; 100g; 5s)	0,1mm	124	45-60
Punto de reblandecimiento (A&B)	°C	125	> 62
Punto de fragilidad Fraass	°C	182	≤ -12
Ductilidad (5cm/ min)	cm	126	≥ 40
			-
Consistencia (Flotador a 60°C)	s	183	≥ 1200
Recuperación elástica	%	329	≥ 30
			-
Punto de inflamación	°C	127	≥ 235
Densidad relativa (25°C/ 25°C)	-	122	≥ 1,0
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO NTL - 328			
Dif. Punto de reblandecimiento	°C	125	≤ 5
Dif. Penetración (25°C)	0,1mm	124	≤ 1 0
RESIDUO DESPUÉS DE LA PELÍCULA FINA NTL - 185			
Variación de masa	%	185	≤ 1,0
Penetración (25°C; 100g; 5s)	% p.o	124	≥ 65
Δ Punto de reblandecimiento (A&B)	°C	125	-5 a + 10
Ductilidad (5cm/ min)	cm	126	≥ 2
			-

Tabla 1. Valores característicos del ligante BMC-Ditecpesa

IV JORNADA NACIONAL ASEFMA 2009

Feria de Madrid-IFEMA, 25 y 26 de Marzo de 2009

Betún Modificado con Polvo de Neumático y ceras, en mezcla M10 con fibras

La *figura 3* muestra la curva de Viscosidad vs. Temperatura del ligante BMC frente a la de un betún B 40/50 convencional. Se puede observar en este gráfico como las viscosidades de ambos productos son prácticamente idénticas a partir de 110 °C. Esto significa que este ligante puede ser empleado a las mismas temperaturas a las que se emplearía un betún B 40/50 en cada uno de los distintos tipos de mezcla asfáltica. En la gráfica también se puede apreciar como la viscosidad aumenta de forma considerable a temperaturas más bajas; este fenómeno se genera porque la cera a temperaturas inferiores a su punto de fusión (sobre 110°C) confiere al ligante una mayor rigidez haciéndolo más resistente a las deformaciones plásticas a las temperaturas de servicio del firme. Este comportamiento hace que el ligante sea idóneo para ser aplicado en la construcción de carreteras con frías climatologías, largas distancias entre la planta y el extendido, o con el fin de reducir la energía de compactación.

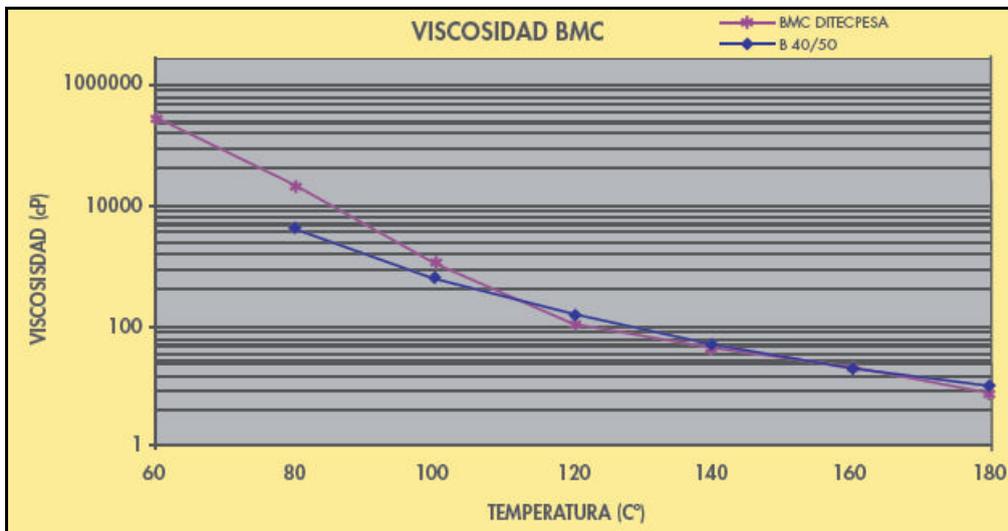


Fig. 3. Valores de viscosidad frente a la temperatura para los betunes BMC y B40/50

También se han realizado estudios reológicos para determinar el comportamiento viscoelástico del ligante. Las *figuras 4 y 5* muestran el comportamiento de este BMC comparándolo con un ligante convencional B 40/50 y otro modificado BM-3b. El ensayo consiste en un barrido de temperatura sometiendo la muestra a un esfuerzo cortante de 1.000 Pa y a una frecuencia de 1,59 Hz. El barrido de temperatura se realiza a temperaturas preseleccionadas, en este estudio se han seleccionado las comprendidas entre los 30 y los 65 °C considerando rango útil que el firme puede alcanzar durante su vida de servicio. En la *figura 4* se puede observar como el módulo complejo del betún BMC es mayor en todo el rango de temperatura estudiado por

comparación con los obtenidos para los otros dos ligantes. Esto indica que el betún BMC muestra una mayor rigidez o resistencia a los esfuerzos cortantes. *La figura 5* representa el ángulo de desfase δ que ha dado información a cerca de lo elástico o viscoso que se ha comportado el material. A menor δ , mayor será la componente elástica del material, es decir recuperará en mayor medida su estado inicial después de ser sometido a una deformación. Se puede observar como el carácter elástico del betún BMC es mayor (menor δ) que el del betún B 40/50, en todo el rango de temperaturas estudiado. Por comparativo con el betún BM-3b, el betún BMC ha presentado un menor δ a temperaturas inferiores a los 50 °C aproximadamente, invirtiéndose el comportamiento a partir de esta temperatura.

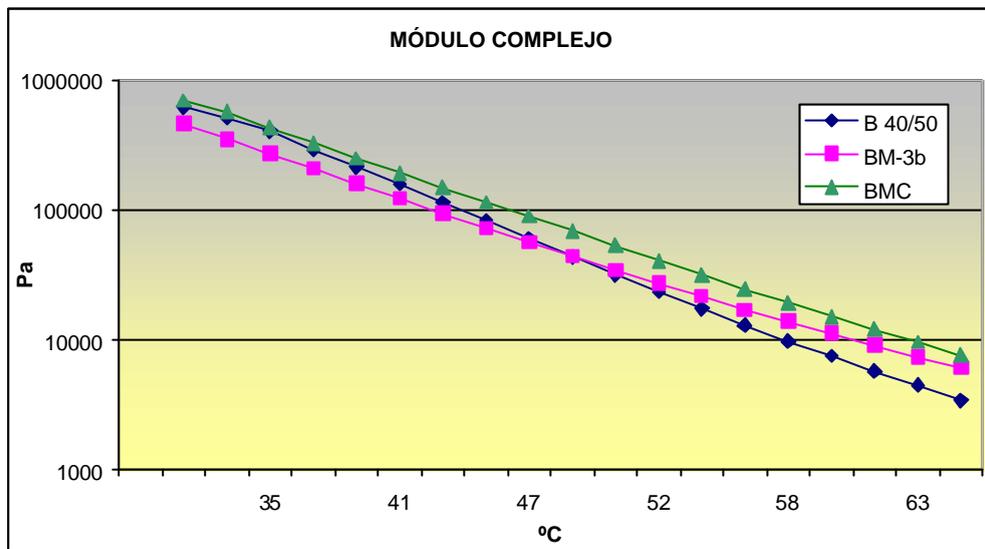


Fig. 4. Valores del módulo complejo $[G^*]$ para los betunes B40/50, BM-3b y BMC vs. T^a

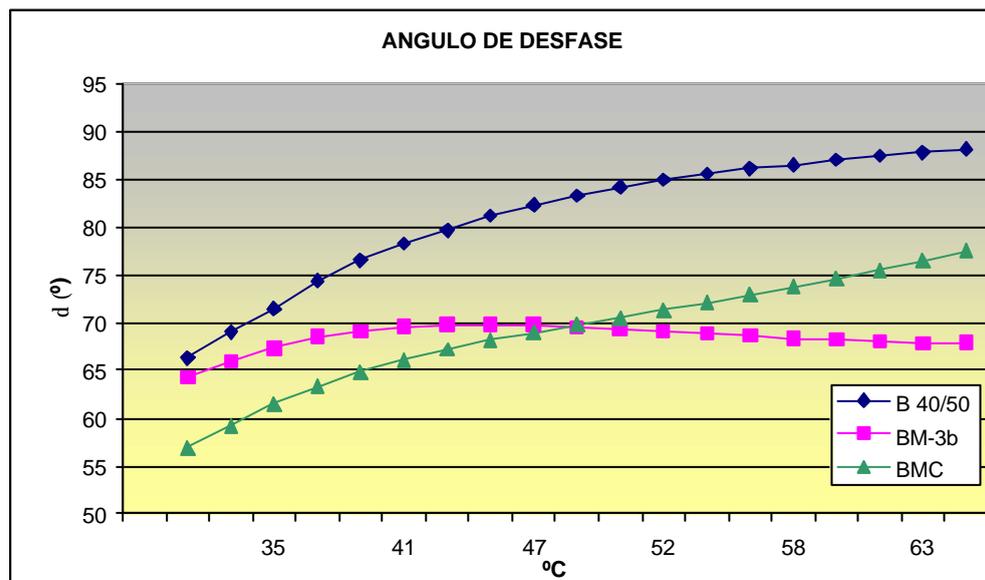


Fig. 5. Valores del ángulo (δ) para los betunes B40/50, BM-3b y BMC vs. T^a

En la tabla 2 se muestran los valores de $[G^*]$ y δ a dos temperaturas fijas: de 25°C (temperatura ambiente habitual) y 60°C (temperatura ambiente extrema). Se puede observar un mayor módulo complejo del betún BMC para ambas temperaturas y un menor ángulo de desfase para la temperatura de 25 °C.

Ligante	B 40/50		BM-3b		BMC	
T^a (°C)	$[G^*]$ (Pa)	δ (°)	$[G^*]$ (Pa)	δ (°)	$[G^*]$ (Pa)	δ (°)
25	10.350	68.04	7.731	68.29	12.803	62.52
60	3.757	87,74	6.470	66,38	7.081	78,72

f: 1,0 Hz. Plato: 8mm para 25°C. Plato: 25mm para 60°C

Tabla 2. Medidas reológicas a 25 y 60 °C para los ligantes B40/50, BM-3b y BMC

Una de las vías para determinar la temperatura máxima de servicio de un ligante es la que se aplica en el método americano SHRP. Se trata de determinar mediante medidas reológicas la temperatura a la cual se cumple la siguiente condición:

$$[G^*]/\sin d = 1000 \text{ Pa}$$

Ligante	B 40/50	BM-3b	BMC
T^a (°C) donde $[G^*]/\sin d = 1000 \text{ Pa}$	72,1	78,2	79,0

Tabla 3. Temperaturas máximas de servicio según SHRP

En la *tabla 3* podemos observar como la temperatura que encontramos para el betún BMC es bastante mayor que la de el betún B 40/50 e incluso algo superior que la obtenida para el BM-3b.

DISEÑO DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

La fórmula de trabajo corresponde a una mezcla M10.

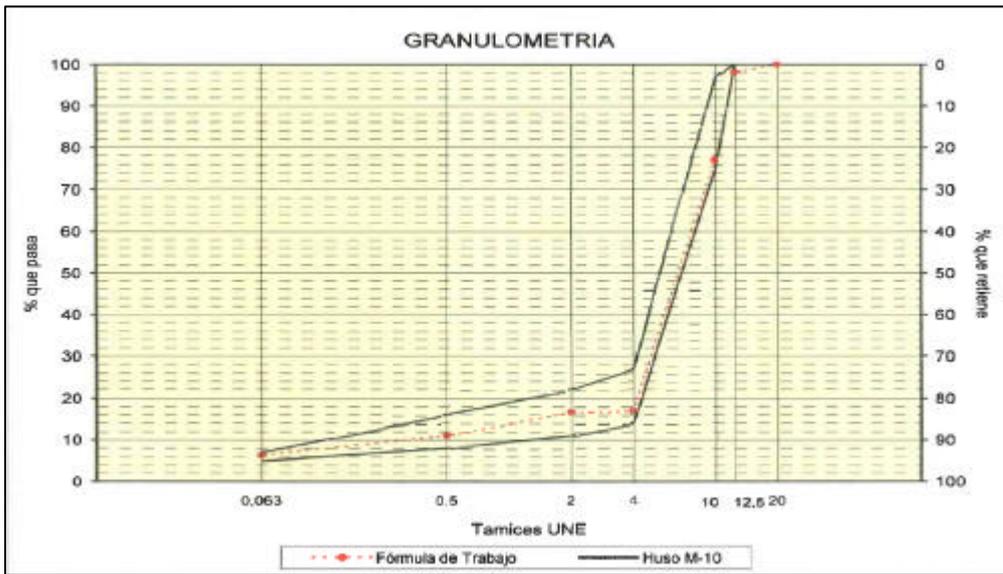


Fig. 6. Curva granulométrica mezcla M10 empleada.

A partir de esta curva granulométrica y partiendo de un contenido fijo del 0,4% s/m en fibra de celulosa VIATOP® se ha procedido a realizar el Ensayo Cántabro (Seco y tras Inmersión) con diferentes porcentajes de ligante y con el objetivo de determinar su contenido óptimo (Fig. 7). Como los porcentajes estudiados son elevados se ha realizado, en paralelo, la determinación del escurrimiento del ligante según UNE-EN 12697:18 "Método Schellenberg". Resultados reflejados en la Tabla 4.

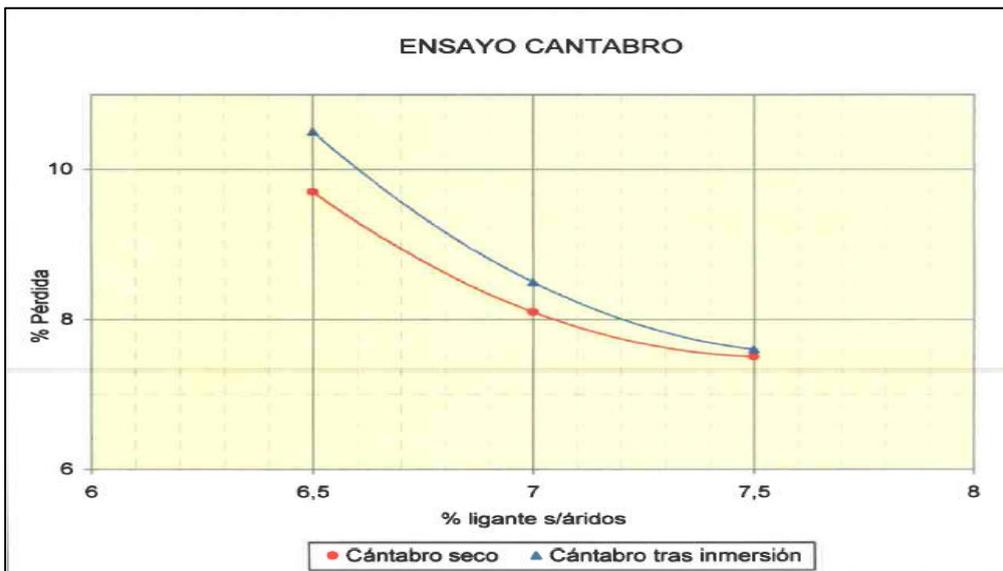


Fig. 7. Ensayo Cántabro mezclas M10

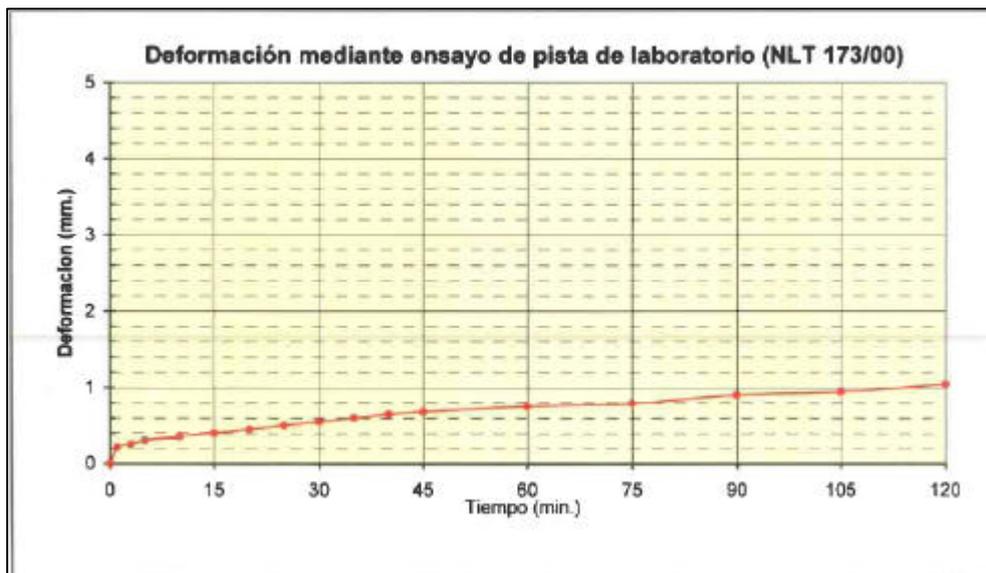
Descripción	Ud.	Resultado	
Ligante s/áridos	%	7,0	7,5
Temperatura de ensayo	°C	180	180
Escurecimiento	%	0,27	0,45

Tabla 4. Ensayo de escurrimiento a distintos % betún

Partiendo de las normativas consultadas de una gran parte de países europeos (con prolongado uso y experiencias en control de mezclas que contienen fibras) y atendiendo las recomendaciones del fabricante, se ha estimado 0,3 como límite máximo de aceptación para el ensayo. Resultados superiores implican el reajuste de la fórmula (fibras o contenido de ligante).

A la vista de los resultados de la *tabla 4*, se ha seleccionado el contenido de ligante óptimo en 7,0% s/a.

A modo de confirmación de las características de la mezcla se ha procedido a realizar el Ensayo en Pista según norma NLT-173/00 para determinar el comportamiento de la mezcla frente a las deformaciones (*fig.8*)



Velocidad de deformación $V_{\text{min./min.}}$	Velocidad (μ/min)
$V_{30/45}$	10
$V_{75/90}$	8
$V_{105/120}$	7,7
Deformación total (mm.)	1,31

Fig. 8. Ensayo en pista M10 (7,0% ligante s/a)

Con todos estos resultados se ha optado por la siguiente fórmula de trabajo y composición:

Composición granulométrica M10		<i>fig.6</i>
Árido fino	fracción + tipo	0/2 mm Calizo
Árido grueso	fracción + tipo	6/12 mm Porfídico
Fill.Apo: Carbonato Calcico	dosis	1,5 %
Ligante BMC-Ditecpesa	% s/m	6,70
Fibra VIATOP [®]	% s/m	0,40
Densidad aparente UNE-EN 12697:6	g/cm ³	2,121
Densidad máxima UNE-EN 12697-5	g/cm ³	2,439
Huecos UNE-EN 12697-8	% s/m	13

EJECUCIÓN DE LA OBRA

La obra ha sido ejecutada en Octubre de 2007 en Valdemoro y se han reciclado unas 60 toneladas de neumáticos fuera de uso. Cabe destacar la buena estabilidad al almacenamiento del BMC, que ha sido fabricado en Alicante, transportado hasta Madrid donde ha sido almacenado entre 1-2 días para su posterior utilización, sin que se haya producido segregación en depósitos o atascos en bombas.

A nivel de obra la fabricación, extendido y compactación se han realizado con suma facilidad debido a la baja viscosidad del ligante y su alto contenido en mezcla, estabilizado con la adición de fibras VIATOP; esta combinación de adiciones en ligante y en mezcla han permitido la obtención de unos resultados IRI muy satisfactorios.

La temperatura ambiente en los días de aplicación de la mezcla ha oscilado alrededor de los 10 °C.



Fotografías ejecución de la obra y detalle de la textura superficial.

CONTROL DEL PRODUCTO FINAL

Durante las fases de fabricación y aplicación del aglomerado se han realizado diversos ensayos para verificar la calidad del producto aplicado en obra.

Se pretende destacar, entre otras determinaciones, los resultados obtenidos en el ensayo de "Sensibilidad al agua" según norma *UNE-EN 12697:12*, que muestra un valor de resistencia conservada muy elevado (>95%); el elevado contenido en ligante estabilizado con las fibras aporta a los áridos una película de mayor grosor que ofrece mayor resistencia al acceso del agua.

Descripción	Norma UNE-EN	Ud.	Fecha de ensayo	Probetas secas (w)	Probetas húmedas (d)
Densidad aparente media (<i>SSD</i>), según el procedimiento B, (<i>A_{med}</i>) :	12697-6/03	kg/m ³		2129	2131
Diámetro medio :	12697-29/02	mm.	10/12/07	101,3	101,4
Altura media :		mm.		60,5	61,3
Resistencia a tracción indirecta (<i>ITS</i>) :	12697-2303	kPa	13/12/07	1048	999
Tipo de rotura :		---		<i>Línea de rotura clara. Áridos envueltos</i>	
Relación de resistencia a tracción indirecta (<i>ITSR</i>) :	12697-12/06	%		95,3	

Tabla 5. Determinación de la sensibilidad al agua.

Además para asegurar que no se producen escurrimientos se ha ensayado sistemáticamente la mezcla mediante el ensayo *UNE-EN 13697-18* (Tabla 6)

S/Referencia		M-10
N/Referencia:		07/03945
Descripción	Ud.	Resultado
Ligante s/áridos	%	7,2
Temperatura de ensayo	°C	184
Escurrecimiento	%	0,23

Tabla 6. Ensayo de escurrimiento de ligante.

CONCLUSIONES

A la vista de los resultados se han podido extraer las siguientes conclusiones:

- El ligante **BMC-Ditecpesa** tiene un valor ambiental múltiple y de beneficio compartido:
 1. Permite el reciclado de neumáticos fuera de uso, ya que incorpora un 10% en su formulación. En esta obra se han reciclado 60 tns de material que equivalen a 13.000 de neumáticos (turismo).
 2. Por comparativa con los ligantes-caucho equivalentes en el mercado, permite economizar los costes energéticos y reducir las emisiones a la atmósfera en todo el ciclo de producción:
 - reducción de temperatura de fabricación en terminal,
 - reducción de temperatura de almacenamiento en planta,
 - reducción de temperatura en fabricación y extendidoEste innovador ligante, a pesar de su contenido en caucho NFU, ofrece una reducida viscosidad de comportamiento similar a un ligante convencional B 40/50.

- Cabe destacar también la buena estabilidad del BMC desarrollado en esta experiencia, ya que ha sido fabricado en Alicante, transportado hasta Madrid y almacenado en planta entre 1-2 días y no se ha observado ningún problema de segregación de NFU que podría haber originado atascos en las tuberías y bombas.

- De los ensayos reológicos se observa un mayor módulo complejo del betún BMC en el rango de temperaturas estudiado (30-65º) por comparativa con los ligantes de referencia B 40/50 y BM-3b. Una mayor componente elástica (menor δ) de este ligante a temperaturas inferiores a los 50ºC por comparación con el ligante BM-3b, y una mayor temperatura máxima de servicio según la condición descrita en el método SHRP. Se puede afirmar, a partir de estos estudios reológicos que, las prestaciones de este ligante BMC-Ditecpesa son equivalentes o incluso algo superiores a las de un BM-3b tipo.

- El elevado contenido de ligante de esta mezcla combinado con la baja viscosidad del mismo han facilitado en gran medida la trabajabilidad en las fases de extendido y compactación (incluso a temperaturas ambientales bajas) y han contribuido en la obtención de un IRI muy bajo.
- El empleo de fibras estabilizantes en la mezcla es parte indispensable para el éxito de este tipo de mezclas de elevado contenido en ligante y “alta durabilidad”; no se ha detectado ningún escurrimiento durante la ejecución de toda la obra. Inspecciones visuales posteriores han confirmado esta característica y se confirma que 12 meses después no se aprecia ninguna zona susceptible de haber sufrido escurrimientos.
- Las características mecánicas de la mezcla estudiada y aplicada han sido muy satisfactorias: buen comportamiento frente a las deformaciones plásticas, reducidas pérdidas en el ensayo Cántabro (tanto en seco como en húmedo), elevada resistencia conservada en el ensayo de sensibilidad al agua, etc...

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- “MANUAL DE EMPLEO DE CAUCHO DE NFU EN MEZCLAS BITUMINOSAS”. CEDEX, Mayo-2007.
- “Mezclas bituminosas modificadas por adición de polvo de neumáticos”. CEDEX, J. Gallego Medina.
- “Crumb rubber modifier workshop notes”. Report No. FHWA-SA-93-001. Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- SUPERPAVE. Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing. Asphalt Institute.
- Kim Jenkins, *Rheological characterisation of some (polymer modified) bitumen and bitumen-Filler system at compactaction and in service temperatures.*
- Long-Live Asphalt Pavement. EAPA. Junio-2007