

COMUNICACIÓN 15

BETUNES HÍBRIDOS

FRANCISCO JAVIER SUÁREZ

Jefe de Laboratorio (Calidad e I+D)
fjsuarez.ditecpesa@ferrovial.com

SANTIAGO GIL

Asphalt-CRT Product Manager
sgil@cyjgroup.com

LUIS DE LEÓN

Director General
luisdeleon@asfaltómeros.com

JOSÉ JAVIER GARCÍA

Gerente de Ditecpesa
jjgarcia.ditecpesa@ferrovial.com

JOSÉ MIGUEL MARTÍNEZ

Jefe de Explotación y Desarrollo
jmmartinez.ditecpesa@ferrovial.com

LETICIA PARRA

Responsable técnico / Asistencia comercial
lparra@ferrovial.com

BETUNES HÍBRIDOS

RESUMEN

Durante las últimas décadas por un lado se han fabricado betunes modificados convencionales y betunes modificados con polvo de neumático reciclado.

En los últimos años se han empezado a usar betunes modificados de alta concentración de polímeros HiMA (highly modified asphalt) con el objetivo de tener un ligante de altas prestaciones que nos acerque a los pavimentos de larga duración que son el primer paso para los pavimentos verdes o de mayor respeto al medio ambiente por su incrementado periodo de vida.

También las mezclas semicalientes son cada vez más empleadas, con el objeto de reducir las temperaturas de fabricación y compactación, facilitando la trabajabilidad de la mezcla en climatologías adversas y largas distancias a obra.

Como combinación de las mejores características de los descritos en los párrafos anteriores surgen los betunes híbridos de altas prestaciones y concentración de polvo de neumático y polímeros elastoméricos, no sólo híbridos por la combinación de modificadores sino porqué se fabrican en dos etapas; una primera en la planta de fabricación de betún modificado que le sigue una incorporación de alta concentración de polvo de neumático a pie de planta asfáltica in situ. Además tienen una propiedad adicional; se han modificado químicamente, con la incorporación de un tensoactivo, para poder trabajar a menores temperaturas de lo

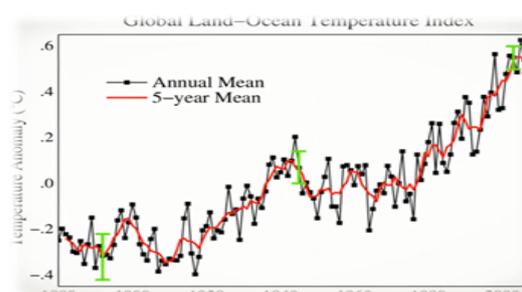
que la propia viscosidad de la mezcla demandaba y así cumplir los últimos requisitos del PG3 en este respecto.

El resultado es un ligante de triple componente medioambiental: es un ligante de altas prestaciones que proporciona **pavimentos de larga duración**; presenta **altas concentraciones de polvo de neumático**, y permite ser **fabricadas y compactadas a menores temperaturas** evitando la oxidación del betún y alcanzando las densidades diseñadas.

Todo lo anterior se ha puesto en práctica en 2015 en un tramo de la Autovía del Olivar en Jaén cuyos resultados prácticos se exponen en este artículo.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años en España se está generando más de 300.000 toneladas de Neumáticos Fuera de Uso. Tras la creación de los Planes Nacionales de NFU, se establece como prioridad la valorización de estos residuos mediante su reciclado y prohíbe expresamente su vertido.





La dirección General de Carreteras emitió en Octubre de 2002 la orden circular 5bis/02, en la cual, nos dicta una serie de condiciones de adicción de polvo de NFU en mezclas bituminosas, también la O.M. 891/2004 aprueba las modificaciones de los artículos 540, 542Y 543 del PG-3, marcándose como prioridad la utilización del polvo de NFU en mezclas bituminosas.

La publicación por parte de la Dirección General de Carreteras de la Orden Circular 21/07 sobre el uso y especificaciones que deben cumplir los ligantes y mezclas bituminosas que incorporen caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU), que complementa a la ya existente 5bis/02.

Ditecpesa como fabricante especializado en betunes modificados con polímeros y con polvo de neumático, junto con su afán por la innovación y el medio ambiente, idea un proceso de fabricación alternativo conjuntamente con la empresa Asfaltómeros para la obtención de un betún modificado con NFU in situ. Dicho betún cumple con las características del ligante exigidas y además garantiza la homogeneidad de la mezcla al utilizarse inmediatamente, evitando así los posibles riesgos de decantación en los tanques de la planta asfáltica, que pueden aparecer en el transporte por carretera y almacenamientos prolongados, presentando un rendimiento en el firme equivalente a un PMB 45/80-65 obtenido con polímeros vírgenes.

En esta presentación se describe el proceso de fabricación de este betún híbrido y los resultados obtenidos en laboratorio y en un tramo de la autovía del Olivar en Jaén.

2. PROPIEDADES DEL BETÚN HÍBRIDO

Dicho producto va a tener dos ventajas principales frente al betún mezclado con polvo de caucho, una elasticidad triple o cuádruple, con la consecuente mejora en la fatiga y una garantía de homogeneidad al ser un betún modificado con pnfu in situ con una estabilidad basada en la fabricación y uso, hecho que permitirá a la obra desarrollarse con toda normalidad y evitar cualquier riesgo de tener fracciones de aglomerado con fases heterogéneas en las propiedades de los betunes utilizados y por tanto en las mezclas. Una vez abordados los dos puntos clave pasamos a analizar las propiedades exigidas por el PG3 y el rendimiento del betún propuesto.

Susceptibilidad térmica, con un punto de reblandecimiento y viscosidad elevados; el producto PMB 45/80-65 C normalmente tendrá un punto de reblandecimiento mayor y un gráfico de viscosidad elevado debido a su alto contenido en polímero.

Menor formación de roderas; dada la dureza y elasticidad del PMB 45/80-65 C estará en los mínimos alcanzables por cualquier mezcla asfáltica.

Elevada resistencia a la reflexión de fisuras; resultado de la utilización de polímeros de última generación incorporados por medios químicos al betún y la alta concentración de pnfu PMB 45/80-65 C tiene una recuperación elástica típica del 80% (3/4 veces mayor que el betún mezclado con caucho) con lo que su rendimiento será el mayor del mercado en este tipo de mezclas.

Alta resistencia a la fatiga; nuevamente la modificación química, el alto contenido de pnfu presentan las mayores garantías respecto a la fatiga.

Alargamiento del periodo de la vida útil, mejora impermeabilización; respecto a vida útil será mayor consecuencia de la mejora en fatiga y respecto a impermeabilización será un factor equivalente que está en función de la dosificación granulométrica de la mezcla asfáltica y el contenido de betún.

Mejora adherencia rueda neumático; el hecho de disponer de una alta concentración de pnfu provoca una mejora de la adherencia neumático – pavimento.

Reducción de propiedades acústicas; existen estudios que han concluido que el uso de pnfu reduce en nivel de decibelios generado por el tráfico de los vehículos.

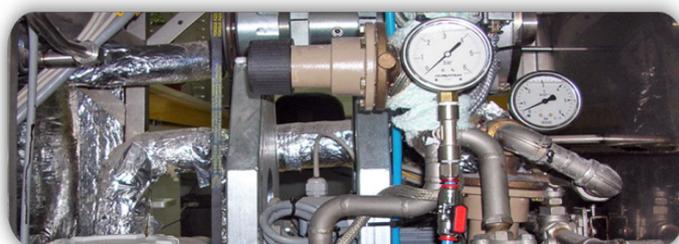
Menor coste económico y mejora ambiental; la sustitución de masa de betún por un 12% de pnfu reduce el coste económico al ser este más barato que el betún asfáltico y el medioambiental es innegable al ayudar a reducir uno de los mayores problemas medioambientales de la sociedad actual, los vertederos de neumáticos.



3. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL BETÚN HÍBRIDO

3.1 Diseño en el laboratorio del betún híbrido en función del NFU a emplear.

En esta primera etapa se diseñará la formulación para el betún híbrido en función del polvo de neumático (NFU) a emplear y al producto final a fabricar (PMB 45/80-60C, PMB 45/80-65C, etc,...). Este diseño se realiza en el laboratorio de Ditecpesa de Alcalá de Henares utilizando la planta piloto de fabricación de betunes modificados.

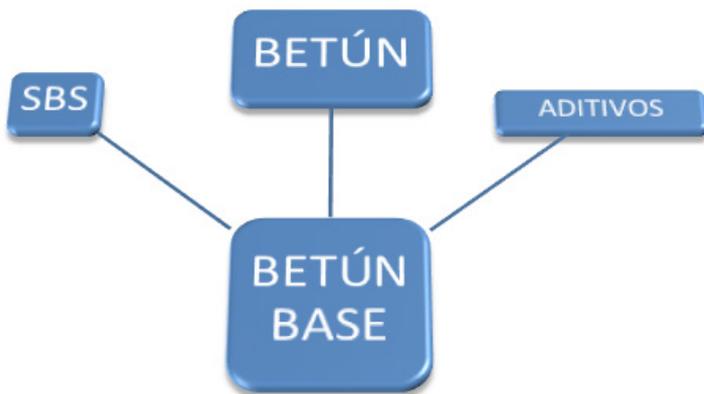


Control: durante esta etapa de diseño se establecerán los valores de las distintas características que se controlaran en las distintas etapas de fabricación.



3.2 Preparación de un betún base en las instalaciones industriales de Ditecpesa.

En esta segunda etapa, se fabricará en alguna de las plantas industriales de betún modificado de Ditecpesa, un betún base que será modificado por la incorporación de un elastómero tipo SBS. Además se incorporan distintos aditivos que mejorarán la adhesividad y manejabilidad de la mezcla árido/betún para cumplir los nuevos requerimientos de



El producto fabricado es totalmente homogéneo y estable al almacenamiento.

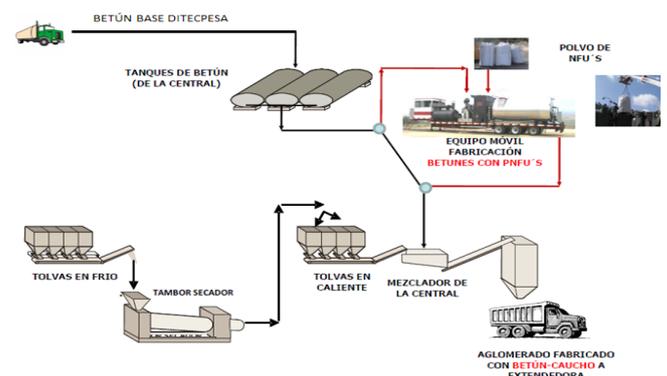
Control: Esta fabricación estará perfectamente controlada y el producto será ensayado para garantizar que se alcanzan los niveles de calidad establecidos en esta etapa intermedia.

3.3 Incorporación del NFU a pie de planta asfáltica.

En esta última etapa, se finaliza el proceso de fabricación del producto final con la incorporación de un 12% de NFU. Esta adición se realiza en una planta móvil de la empresa Asfaltómeros que se instalará a pie de planta asfáltica.

Dicha planta móvil coge el betún base del tanque de almacenamiento de la planta asfáltica. A continuación se incorpora el NFU y se mantiene a alta temperatura y agitación hasta que la digestión caucho-betún se haya completado. Una vez acabado el proceso el producto final (betún híbrido PMB 45/80-60C o PMB 45/80-65C) es introducido directamente en el mezclador para la fabricación de la correspondiente mezcla bituminosa.

Es importante mencionar que todo el proceso de incorporación del NFU's, fabricación del betún-caucho e impulsión del mismo al mezclador de la planta asfáltica se realiza en el equipo móvil preparado a tal efecto, sin ser necesarias modificaciones en la planta asfáltica y sin introducir en sus tanques de almacenamiento o conducciones en ningún momento el betún-caucho fabricado.



Control: Esta etapa de fabricación se controla el proceso de digestión mediante medidas de viscosidad, que son llevadas a cabo in situ mediante un viscosímetro móvil. Además una vez se haya completado la digestión, el producto será ensayado para garantizar que se alcanzan los niveles de calidad establecidos y asegurar que se alcanzan las especificaciones requeridas.

Durante el montaje de la instalación del equipo móvil es importante destacar que no se va a afectar a la producción de la planta asfáltica. Esta operación apenas dura un par de horas y se puede realizar cuando la planta esté parada. Se trata de una conexión en la tapa del mezclador.



Este montaje además no va a afectar a la versatilidad de la planta asfáltica, es decir en cualquier momento se puede fabricar otro tipo de mezcla utilizando cualquier otro tipo de ligante.

4. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS EN LABORATORIO

A continuación, se muestran los datos obtenidos en los ensayos correspondientes al diseño del ligante en laboratorio, junto con los datos referentes a la mezcla ensayada. Para el estudio de los datos se han comparado dos ligantes: Un PMB 45/80-65 y un PMB 45/80-65C (Betún Híbrido).

4.1 Estudio de las propiedades del Betún Híbrido.

La Tabla 1 muestra los resultados de penetración, punto de reblandecimiento (A&B) y recuperación elástica. Se observa que el PMB 45/80-65C (Betún Híbrido) presenta menor valor de penetración, una mayor temperatura de reblandecimiento (A&B) y una mayor recuperación elástica.

| Ligantes | Penetración (mm/10) | A&B (°C) | Recuperación Elástica (%) |
|---------------|---------------------|----------|---------------------------|
| | EN 1426 | EN 1427 | EN 13398 |
| PMB 45/80-65 | 52 | 68.1 | 83 |
| PMB 45/80-65C | 49 | 70.1 | 86 |

Tabla 1. Resultados de penetración, punto de reblandecimiento (A&B) y recuperación elástica de los betunes.

La figura 1 muestra la curva de Viscosidad vs Temperatura del ligante PMB 45/80-65C (Betún Híbrido) frente a la de un PMB 45/80-65 convencional. Como se puede observar, la viscosidad del betún híbrido es superior a la del PMB convencional, lo que tendrá un impacto positivo en las características mecánicas de la mezcla asfáltica. Para que esta elevada viscosidad no tenga incidencia negativa en las temperaturas de fabricación y compactación de la mezcla asfáltica se ha incorporado en la formulación un aditivo químico tipo tensoactivo para mejorar la trabajabilidad de ésta. De hecho se ha evaluado que no son necesarias temperaturas de fabricación superiores a los 160°C.

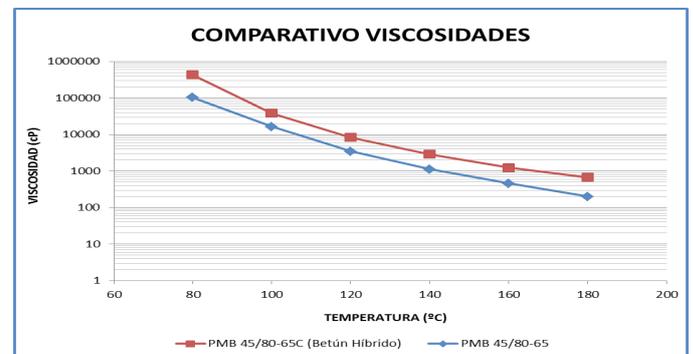


Fig. 1. Valores de viscosidad frente a la temperatura para los betunes PMB 45/80-65C (Betún Híbrido) y PMB 45/80-65.

También se han realizado estudios reológicos para determinar el comportamiento viscoelástico del ligante. Las figuras 2 y 3 muestran el comportamiento del PMB 45/80-65C (Betún Híbrido) comparándolo con un PMB 45/80-65 convencional. El ensayo consistió en un barrido de temperatura a un esfuerzo cortante de 1.000 Pascales a una frecuencia de 1,59 Hz. En la figura 2 podemos observar como el módulo complejo del PMB 45/80-65C (Betún Híbrido) es mayor, en todo el rango de temperatura estudiado, que el obtenido para el otro ligante. Esto indica que el ligante muestra una mayor rigidez o resistencia a los esfuerzos cortantes. La figura 3 representa el ángulo de fase que nos da información sobre lo elástico o viscoso que es el material. A menor ángulo de fase, mayor será la componente elástica del material, es decir recuperará en mayor medida su estado inicial después de ser sometido a una deformación. Podemos observar como el carácter elástico del betún

PMB 45/80-65C (Betún Híbrido) es mayor que el del PMB 45/80-65 en todo el rango de temperaturas estudiado.

45/80-65C (Betún Híbrido) es mayor que la ofrecida por el betún PMB 45/80-65 convencional.

4.2 Estudio del comportamiento mecánico de la mezcla bituminosa con PMB 45/80-65C Betún Híbrido.

4.2.1 Estudio de la trabajabilidad.

La Figura 4 analiza la trabajabilidad de las dos mezclas BBTM11B estudiadas con PMB 45/80-65C (Betún Híbrido) y PMB 45/80-65 Convencional, a través del estudio de su compactabilidad mediante compactación giratoria y una energía de compactación de 100 giros. La incorporación del tensoactivo, pese a la elevada viscosidad del betún híbrido, hace que se mejore sustancialmente la trabajabilidad de la mezcla, alcanzando la densidad objetivo a temperaturas moderadas.

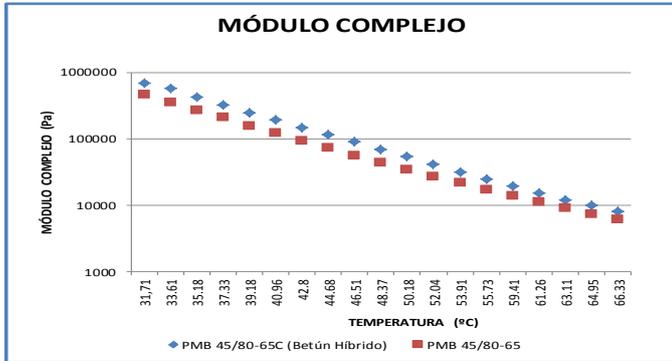


Fig. 2. Valores del módulo complejo [G*] para los betunes PMB 45/80-65C (Betún Híbrido) y PMB 45/80-65 convencional vs. Tª

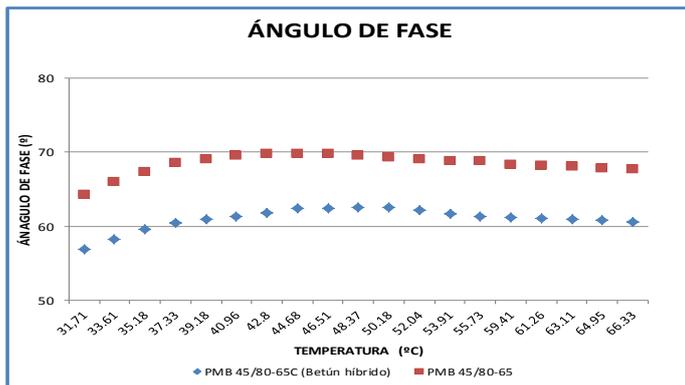


Fig. 3. Valores del ángulo de fase (°) para los betunes PMB 45/80-65C (Betún Híbrido) y PMB 45/80-65 convencional vs. Tª

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 mediadas reológicas la temperatura a la cual se cumple la siguiente condición:

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

| Ligantes | PMB 45/80-65 (Convencional) | PMB 45/80-65C (Betún Híbrido) |
|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Tª (°C) donde [G*]/sin δ = 1000 Pa | 79.1 | 82.6 |

Tabla 2. Temperaturas máximas de servicio según SHRP

En la tabla 2 podemos observar como la temperatura SHRP que encontramos para el betún PMB

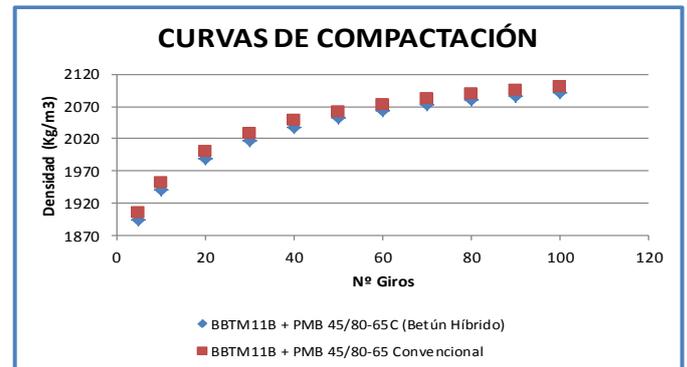


Figura 4. Resultados medios de trabajabilidad de las mezclas estudiadas.

4.2.2 Estudio de cohesividad.

La propiedad fundamental de los ligantes hidrocarbonados, que es precisamente la que los define y denomina, es su capacidad para adherirse, aglomerar y dar cohesión (Ligar) a los materiales granulares sueltos.

Durante el ensayo cántabro, la energía de deterioro que por impacto y abrasión experimenta la mezcla se transforma en deformación plástica y visco-elástica de la probeta. Cuando la energía de deterioro es mayor que la que puede absorber por

tenacidad la película de ligante que une las partículas, se produce el desprendimiento de éstas.

Cuanto menores sean las pérdidas en el ensayo cántabro de la mezcla, mayor será la tenacidad y el poder aglomerante del ligante.

PÉRDIDA DE PARTÍCULAS DE UNA PROBETA DE MEZCLA BITUMINOSA (UNE EN 12697-17(Antiguo Ensayo Cántabro))

1. RESULTADOS

| Tipo Betún/ Mezcla | | BBTM11B | | | | | |
|------------------------------------|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PMB 45/80-65C(Betún Híbrido) | | SECO | | | HÚMEDO | | |
| | Nº probeta | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 |
| | Masa ini (g) | 1296.8 | 1299.6 | 1297.4 | 1299.1 | 1298.3 | 1299.3 |
| | Masa final (g) | 1273.0 | 1283.5 | 1282.0 | 1277.7 | 1273.1 | 1269.9 |
| | % Pérdida | 1.8 | 1.2 | 1.2 | 1.6 | 1.9 | 2.3 |
| | Media (%) | 1.4 | | | 1.9 | | |
| Tipo Betún/ Mezcla | | BBTM11B | | | | | |
| PMB 45/80-65 | | SECO | | | HÚMEDO | | |
| | Nº probeta | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 |
| | Masa ini (g) | 1266.0 | 1284.1 | 1274.2 | 1253.4 | 1281.3 | 1265.4 |
| | Masa final (g) | 1209.5 | 1235.3 | 1194.1 | 1201.7 | 1222.5 | 1192.8 |
| | % Pérdida | 4.5 | 3.8 | 6.3 | 4.1 | 4.6 | 5.7 |
| | Media (%) | 4.9 | | | 4.8 | | |

Tabla 3. Resultados pérdidas ensayo Cántabro (UNE EN 12697-17).

A la vista de los resultados expresados en la tabla 3, destacamos el gran comportamiento ofrecido por cada una de las mezclas sometidas al ensayo Cántabro, hecho, que confirma la buena cohesión entre el árido y el betún, y el gran poder aglomerante de los betunes, evidenciándose una mejora en la mezcla con el ligante PMB 45/80-65C (Betún Híbrido).

4.2.3 Estudio de la sensibilidad al agua (UNE EN 12697-12).

La Tabla 4 recoge los datos obtenidos en el ensayo de sensibilidad al agua para las dos mezclas BBTM 11B estudiadas. Se puede comprobar que ambas mezclas registraron valores de ITSR altos muy similares (lo que coincide con los resultados obtenidos durante el estudio de trabajabilidad, mostrado en la Figura 4). Este hecho,

unido a los resultados del estudio de cohesividad, pone de manifiesto el buen comportamiento de la mezcla. En este punto la incorporación del ten-

soactivo también ha compensado las limitaciones de adhesividad que algunas mezclas con altos porcentajes de NFU presentan.

PMB 45/80-65:

| Descripción | Ud. | Probetas Secas, (d) | Probetas Húmedas, (w) |
|---|-------------------|--|-----------------------|
| Masa de las probetas secas (UNE EN 12697-6) | g | 1115,2 | 1072,1 |
| | | 1153,0 | 1136,7 |
| | | 1044,6 | 1080,9 |
| Densidad aparente media (<i>SSD</i>), (UNE EN 12697-6; procedimiento B, P_{bssd}): | Mg/m ³ | 2,070 | 2,075 |
| Contenido en huecos en aire (V_m) ** | % | 17,5 | |
| Diámetro medio (UNE EN 12697-29): | mm. | 101,6 | 101,6 |
| Altura media (UNE EN 12697-29): | mm. | 65,8 | 65,2 |
| Resist. a tracción indirecta (UNE EN 12697-23) | kPa | 1540,86 | 1440,21 |
| Tipo de rotura: | --- | <i>"a" Línea de rotura clara. Aridos envueltos</i> | |
| Relación de resistencia (ITSR): | % | 93,5 | |

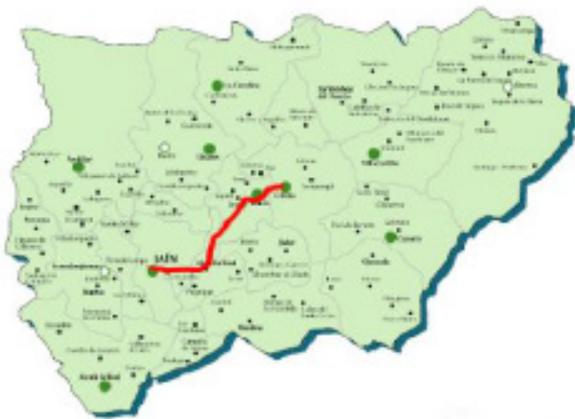
PMB 45/80-65C:

| Descripción | Ud. | Probetas Secas, (d) | Probetas Húmedas, (w) |
|---|-------------------|--|-----------------------|
| Masa de las probetas secas (UNE EN 12697-6) | g | 1007,6 | 999,0 |
| | | 1027,2 | 1027,2 |
| | | 1012,8 | 1012,8 |
| Densidad aparente media (<i>SSD</i>), (UNE EN 12697-6; procedimiento B, P_{bssd}): | Mg/m ³ | 2,025 | 2,038 |
| Diámetro medio (UNE EN 12697-29): | mm. | 101,7 | 101,7 |
| Altura media (UNE EN 12697-29): | mm. | 60,8 | 61,2 |
| Resist. a tracción indirecta (UNE EN 12697-23) | kPa | 1474,70 | 1390,17 |
| Tipo de rotura: | --- | <i>"a" Línea de rotura clara. Aridos envueltos</i> | |
| Relación de resistencia (ITSR): | % | 94,3 | |

Tabla 4. Determinación de la sensibilidad al agua (UNE EN 12697-12).

5. EXPERIENCIA REAL: AUTOVÍA DEL OLIVAR

La obra fue ejecutada en Octubre de 2015 en la Autovía del Olivar (A-316), enlace N-S P. Obispo y se reciclaron unos **11.000 neumáticos fuera de uso**. Cabe destacar, gracias al proceso de fabricación in situ la buena estabilidad del ligante, evitando así fenómenos de segregación en depósitos o atascos en bombas de la planta asfáltica. A nivel de obra la fabricación, extendido y compactación se realizaron con suma facilidad debido a la baja viscosidad del ligante aun habiéndole incorporado un 12% NFU, facilitando a su vez la obtención de un muy buen IRI.



La mezcla es de tipo BBTM 11 B(UNE-EN 13108-2), fabricada en la planta asfáltica de Tuccitana de Contratas (TUCSA) con betún modificado con polímeros PMB 45/80-60C, y áridos traquita con una densidad de referencia de 2,085 g/cm³.



Fotografías puesta en obra.

5.2 Control del producto final.

Durante la fabricación y aplicación del aglomerado se realizaron diversos ensayos para asegurar la calidad del producto puesto en obra. Entre otros ensayos se realizó la norma UNE-EN 12697-12. "Determinación de la sensibilidad al agua de las probetas de mezcla bituminosa". Se observa en la tabla 5 que la resistencia conservada es muy alta, del 94.2%.

MEZCLAS BITUMINOSAS. MÉTODOS DE ENSAYO PARA MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE
 PARTE 12: DETERMINACIÓN DE LA SENSIBILIDAD AL AGUA DE LAS PROBETAS DE MEZCLA BITUMINOSA
 PARTE 23: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DE PROBETAS BITUMINOSAS
 (UNE-EN 12697-12:2006, UNE-EN 12697-23:2004)

| | | | |
|--------------|----------------------------------|-------------|----------------------------|
| NºEXPEDIENTE | IL-C352-BBTM11B-22 | ORDEN Nº | 491 |
| PETICIONARIO | Agencia de Obra Pública | DIRECCIÓN | C/ San Antón, 72 (Granada) |
| OBRA | A-316. Enlace N-S P.Obispo | CÓDIGO OBRA | CJA1057/OCCO |
| MUESTRA | BBTM 11B PMB 45/80-60 C traquita | FECHA TOMA | 29/10/15 |
| LOCALIZACIÓN | Calzada izquierda PK 9+720 | PROCEDENCIA | Planta Tuossa |
| LOTE | TR/MBC/BBTM11B | ACTIVIDAD | 1302 |

| | |
|------------------------------|---------------------------------|
| Tipo de probetas | Fabricadas en laboratorio |
| Método de fabricación | P or impacto 50 golpes por cara |
| Temperatura ensayo | 15°C |
| Tiempo conservación | 72 h |

GRUPO DE PROBETAS SECAS

| Probeta | Diámetro de la probeta (mm) | Longitud de la probeta (mm) | Densidad aparente (kg/m ³) | Resistencia a tracción indirecta ITS (kPa) | Tipo de rotura |
|---------|-----------------------------|-----------------------------|--|--|----------------|
| 1 | 101.5 | 62.8 | 2088 | 1262 | Combinación |
| 2 | 101.5 | 61.6 | 2097 | 1333 | Combinación |
| 3 | 101.5 | 61.8 | 2083 | 1263 | Combinación |

| | |
|--|-------------|
| Resistencia media ITS_s (kPa) | 1286 |
|--|-------------|

GRUPO DE PROBETAS HÚMEDAS

| Probeta | Diámetro de la probeta (mm) | Longitud de la probeta (mm) | Densidad aparente (kg/m ³) | Resistencia a tracción indirecta ITS (kPa) | Tipo de rotura |
|---------|-----------------------------|-----------------------------|--|--|----------------|
| 1 | 101.5 | 62.4 | 2098 | 1270 | Combinación |
| 2 | 101.5 | 63.0 | 2086 | 1173 | Combinación |
| 3 | 101.5 | 63.3 | 2087 | 1192 | Combinación |

| | |
|--|-------------|
| Resistencia media ITS_w (kPa) | 1211 |
|--|-------------|

| | |
|--|-------------|
| Relación de resistencia a la tracción indirecta (%) | 94.2 |
|--|-------------|

Tabla 5. Determinación de la sensibilidad al agua (UNE EN 12697-12).

Además para asegurar que no se producen escurrimientos se llevó a cabo el ensayo UNE-EN 13697-18 (Tabla 6), confirmándose el 0% de escurrimiento.

**MEZCLAS BITUMINOSAS. MÉTODOS DE ENSAYO PARA MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE
PARTE 18: ENSAYO DE ESCURRIMIENTO DEL LIGANTE (UNE-EN 12697-18:2006)**

| | | | |
|---------------|--------------------------------|-------------|----------------------------|
| Nº EXPEDIENTE | IL-C352-BBTM11B-24 | ORDEN Nº | 492 |
| PETICIONARIO | Agencia de Obra Pública | DIRECCIÓN | C/ San Antón, 72 (Granada) |
| OBRA | A-316. Enlace N-S P.Obispo | CÓDIGO OBRA | CJA1057/OCCO |
| MUESTRA | BBTM 11B PMB 45/80-60 traquita | FECHA TOMA | 30/10/15 |
| LOCALIZACIÓN | Calzada derecha PK 10+300 | PROCEDENCIA | Planta Tuccsa |
| LOTE | TR/MBC/BBTM11B | ACTIVIDAD | 1302 |

| | |
|-----------------------|-------|
| Temperatura de ensayo | 180°C |
|-----------------------|-------|

RESULTADOS

| Amasada | Material migrado D (%) |
|--------------|------------------------|
| 1 | 0.0 |
| 2 | 0.0 |
| MEDIA | 0.0 |

Tabla 6. Determinación del ensayo de escurrimiento del ligante (UNE EN 12697-18).

Debemos destacar el buen comportamiento de la mezcla a deformaciones plásticas, mediante la realización del Ensayo de Rodadura (UNE EN 12697-23) (Tabla 7).

Ensayo de Rodadura

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: MEDIANTE COMPACTADOR PLACAS
 FABRICACIÓN MEZCLA: FABRICADA EN OBRA
 MÉTODO ENSAYO COMPACTACIÓN: UNE EN 12697-33/2008+A1
 TEMPERATURA DE ENSAYO: 60°
 ESPESOR DE LA PROBETA: 40 mm
 PROCEDIMIENTO: TAMAÑO PEQUEÑO. METODO EN AIRE
 DENSIDAD DE REFERENCIA: MÍNIMO 98% DE LA D. APARENTE DE IMPACTO 50 GOLPES/CARA

| R/L | WTS aire (mm/10³) | PRD aire (%) | RD (mm) |
|-------------------|-------------------|--------------|---------|
| 201/01/2015/13475 | 0,049 | 6,490 | 2,596 |

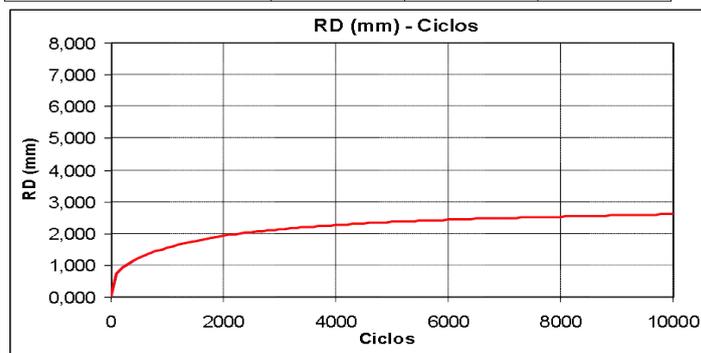


Tabla 7. Resultados Determinación del ensayo de rodadura (UNE EN 12697-23).

Finalmente, comprobamos la cohesión de la mezcla mediante la determinación de la pérdidas de partículas de una probeta de mezcla bituminosa drenante (UNE EN 12697-17, Ensayo Cántabro) (Tabla 8), junto con la determinación del contenido en ligante por ignición (UNE EN 12697-39) y la granulometría de las partículas (UNE EN 12697-2) (Tabla 9).

| | | | |
|---|--|--|--|
| MEZCLAS BITUMINOSAS. MÉTODOS DE ENSAYO PARA MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE PARTE 5: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA (UNE EN 12697-5:2003 y A1:2007) PARTE 17: PÉRDIDA DE PARTÍCULAS DE UNA PROBETA DE MEZCLA BITUMINOSA DRENANTE. CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE (NLT 352:2000, UNE-EN 12697-17:2006 Y A1:2007) | | | |
|---|--|--|--|

| | | | |
|---------------|----------------------------------|-------------|----------------------------|
| Nº EXPEDIENTE | IL-C352-BBTM11B-19 | ORDEN Nº | 490 |
| PETICIONARIO | Agencia de Obra Pública | DIRECCIÓN | C/ San Antón, 72 (Granada) |
| OBRA | A-316. Enlace N-S P. Obispo | CÓDIGO OBRA | CJA1057/OCCO |
| MUESTRA | BBTM 11B PMB 45/80-60 C traquita | FECHA TOMA | 28/10/15 |
| LOCALIZACIÓN | Calzada derecha PK 7+670 | PROCEDENCIA | Planta Tuossa |
| LOTE | TR/MBC/BBTM11B | ACTIVIDAD | 1302 |

| | |
|---|------------------------------------|
| Método para determinar densidad máxima | Procedimiento volumétrico con agua |
| Temperatura de ensayo | 25°C |

| | |
|---|------|
| Densidad máxima (kg/m³) | 2455 |
|---|------|

| | |
|--|------------------------|
| Tipo de compactador de impactos | Con pedestal de madera |
| Temperatura de compactación | 160°C |
| Número de impactos | 50 por cara |

| | |
|---|-----------------|
| Método para determinar densidad aparente | Por dimensiones |
|---|-----------------|

RESULTADOS

| Probeta | Densidad aparente (kg/m ³) | % Huecos en aire de la mezcla (Vm) | % Pérdida de partículas (PL) |
|--------------|--|------------------------------------|------------------------------|
| 1 | 2089 | 14.9 | 4.4 |
| 2 | 2091 | 14.8 | 4.8 |
| 3 | 2087 | 15.0 | 5.0 |
| 4 | 2091 | 14.8 | 4.7 |
| 5 | 2087 | 15.0 | 4.0 |
| MEDIA | 2089 | 14.9 | 4.6 |

Tabla 8. Resultados pérdidas ensayo Cántabro (UNE EN 12697-17).

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYO

| | | | |
|--|--|--|--|
| MEZCLAS BITUMINOSAS. MÉTODOS DE ENSAYO PARA MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE PARTE 27: TOMA DE MUESTRAS (UNE EN 12697-27:2001) PARTE 28: PREPARACIÓN DE MUESTRAS (UNE EN 12697-28:2001) PARTE 39: CONTENIDO DE LIGANTE POR IGNICIÓN (UNE EN 12697-39:2006) PARTE 2: GRANULOMETRÍA DE LAS PARTÍCULAS (UNE EN 12697-2:2003, A1:2007) | | | |
|--|--|--|--|

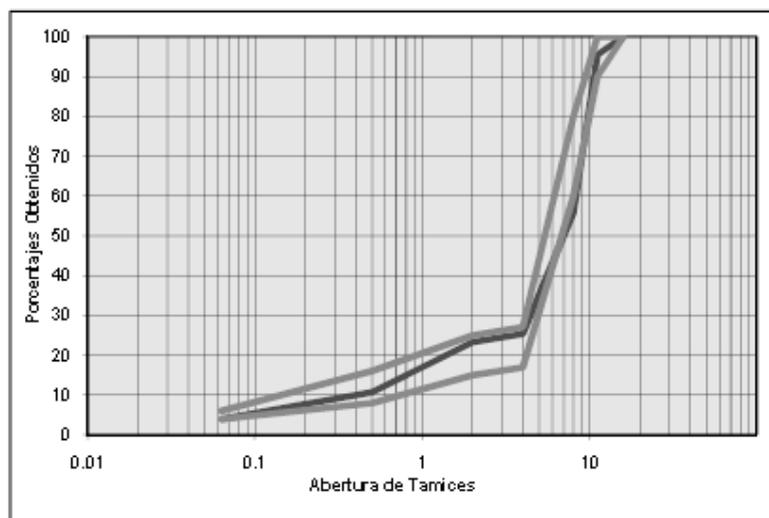
| | | | |
|---------------|----------------------------------|-------------|----------------------------|
| Nº EXPEDIENTE | IL-C352-BBTM11B-21 | ORDEN Nº | 491 |
| PETICIONARIO | Agencia de Obra Pública | DIR ECC IÓN | C/ San Antón, 72 (Granada) |
| OBRA | A-316. Enlace N-S P.Obispo | CÓDIGO OBRA | CJA1057/OCCO |
| MUESTRA | BBTM 11B PMB 45/80-60 C traquita | FECHA TOMA | 29/10/15 |
| LOCALIZACIÓN | Calzada izquierda PK 8+700 | PROCEDENCIA | Planta Tucosa |
| LOTE | TR/MBC/BBTM11B | ACTIVIDAD | 1302 |

CONTENIDO EN LIGANTE

| % ligante | | Fórmula de trabajo |
|-----------------------|------|--------------------|
| % Betún s/mezcla | 4.71 | 4.75 |
| Relación filler/betún | 0.80 | 1.30 |

GRANULOMETRÍA

| Tamices U.N.E. | 16 | 11.2 | 8 | 4 | 2 | 0.5 | 0.063 |
|------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|------|-------|
| % Pasa total acumulado | 100.0 | 95.5 | 55.9 | 25.4 | 23.3 | 10.8 | 4.0 |
| BBTM-11B | 100 | 90-100 | 60-80 | 17-27 | 15-25 | 8-16 | 4-6 |



Observaciones:

Peligros, 3 de noviembre de 2015

Tabla 8. Resultados Determinación del contenido en ligante por ignición (UNE EN 12697-39) y la granulometría de las partículas (UNE EN 12697-2).

A la vista de los resultados podemos confirmar que la mezcla estudiada cumple con las especificaciones relativas al PG3, con un gran comportamiento de la mezcla.

CONCLUSIONES

Los betunes híbridos PMB 45/80-60C o PMB 45/80-65C, son productos con marcado CE.

Esta gama de productos se componen de betún, elastómero SBS, NFUs y aditivos tensoactivos, lo que le confiere unas prestaciones mecánicas y químicas elevadas equivalente a los betunes modificados convencionales.

Los productos cumplen con las especificaciones requeridas en el PG3 y norma EN 14023:2010.

Permite el reciclado de neumáticos fuera de uso, ya que contiene un 12% de este. En la obra en cuestión se reciclaron 11.000 neumáticos fuera de uso.

El realizar la adición del NFU al ligante (vía húmeda) a pie de planta asfáltica, garantiza que se cumplan los tiempos de digestión adecuados necesarios para una óptima modificación.

Al ser fabricado en un equipo móvil, ni el polvo de neumático, ni ningún producto fabricado pasa por los depósitos de la planta asfáltica o líneas de trasiego; evitando así que el caucho pueda dañar/manchar/obstruir ningún elemento de la instalación.

De los ensayos reológicos observamos un mayor módulo complejo del betún PMB 45/80-65C (Betún Híbrido), en el rango de temperaturas estudiado (30-65°), frente al ligante de referencia PMB 45/80-65 Convencional. Una mayor componente elástica (menor δ) de este ligante. Y una mayor temperatura máxima de servicio según el método SHRP.

Las características mecánicas de la mezcla estudiada y aplicada fueron más que satisfactorias; buen comportamiento frente a las deformaciones plásticas, bajas pérdidas tras ensayo Cántabro tanto en seco como en húmedo, alta resistencia conservada en el ensayo de sensibilidad al agua.

Se tiene un ligante de alta viscosidad pero con buena trabajabilidad puesto que se ha incorpora-

do en la formulación un aditivo químico tipo tensoactivo para mejorar la misma. De hecho se ha evaluado que no son necesarias temperaturas de fabricación superiores a los 160°C.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

“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.

“Cumb 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.

“BETÚN MODIFICADO CON POLVO DE NEUMÁTICO, CERAS Y FIBRAS, EN MEZCLA M-10”. Jornada Marzo-2009. Santiago Gil y Oscar Herrero. http://ditecpesa.com/pdf/descargas/articulos_tecnicos/betun_modificado_polvo.pdf.

“La generalización del uso de polvo de neumático en carreteras. ¿Qué beneficio aporta al conjunto del sector en España?”. Jornada técnica Valladolid-Diciembre-2016-Signus. José Miguel Martínez, Fco Javier Suárez, Leticia Parra, José Javier García. http://www.signus.es/archivos_web/File/valladolid/5%20JOSE_JAVIER_GARCIA.pdf

“Guía para la fabricación de betunes con polvo de neumático”. SIGNUS.