

Utilización de pavimentos sostenibles en obras de conservación de la Dirección General de Carreteras



Caso práctico: Rehabilitación del firme en la A-52, p.k. 112+200 al 137+000

Adolfo Güell Cancela
ICCP. Ministerio de Fomento

Resumen

La actual preocupación de los Gobiernos por reducir los efectos del constante progreso y tender hacia un desarrollo sostenible que no comprometa el futuro de las nuevas generaciones tiene como consecuencia un gran esfuerzo técnico y económico por encontrar materiales y tecnologías, que minimicen impactos y reduzcan la producción de residuos y el consumo de materias primas, así como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, compromiso adquirido con la firma del Protocolo de Kioto.

En particular, desde la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento de España, este esfuerzo se materializa en la ejecución de obras respetuosas con el medio ambiente.

Éste es el caso de los betunes de baja temperatura de fabricación y extendido, que permiten reducir la temperatura de

ejecución de las mezclas bituminosas del orden de 30 °C y en consecuencia reducir las emisiones de gases generadas en la fabricación. Es lo que se conoce como mezclas semicalientes. Esta reducción implica directamente la reducción de la radiación térmica en la puesta en obra, por lo que se favorece las condiciones de seguridad en el trabajo de los operarios.

Los betunes que incorporan caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) representan una doble ventaja: por una parte, se recicla un elevado porcentaje de los neumáticos envejecidos generados en España anualmente; y, por otra, se mejoran las propiedades de los ligantes respecto a los betunes asfálticos, lo que se refleja finalmente en la calidad y durabilidad de las mezclas bituminosas.

En el artículo que se presenta se realiza un resumen de las actuaciones llevadas a cabo en una obra de la Dirección General de Carreteras, con la aplicación y estudio de estos nuevos materiales respetuosos con el medio ambiente.

PALABRAS CLAVE: experimental, sostenible, ligante, caucho, temperatura.

1. Introducción y antecedentes

En línea con los compromisos adquiridos con el medio ambiente y el desarrollo sostenible, desde la Dirección General de Carreteras se está realizando un gran esfuerzo, tanto económico como técnico, para ejecutar nuevos tramos de carreteras y rehabilitar los existentes con materias primas cada vez más respetuosas con el medioambiente, con los trabajadores y con los usuarios. Al mismo tiempo se están redactando normativas que regulen el uso de estos materiales y garanticen la calidad del producto final.

Entre esas materias primas se destacan los betunes de baja temperatura de fabricación y extendido y los betunes mejorados o modificados con polvo de neumáticos fuera de uso (NFU). Los primeros son ligantes que permiten reducir la temperatura de trabajo de las mezclas bituminosas del orden de 30 °C. Es lo que se conoce como mezclas semicalientes. Los betunes que incorporan caucho procedente de NFU presentan varias ventajas: medioambien-

Tabla 1. Localización de las mezclas semicalientes en la obra

Tipo de mezcla	Ubicación
AC16 BT	A-52. Ramales. Calzada derecha, enlace 132 (entrada/salida)
AC22 BT	A-52. Tronco. Calzada derecha, p.k. 136+500 al 137+000
BBTM11B BT	A-52. Tronco. Calzada derecha, p.k. 134+000 al 137+000

talmente, permiten reciclar los neumáticos envejecidos y constituyen una alternativa a la acumulación en vertedero, prohibida en España desde el año 1998 por la Ley 10/1998 de Residuos (1). Desde el punto de vista técnico, el caucho modifica las propiedades de los betunes asfálticos de partida y, en consecuencia, las propiedades de los aglomerados: mayor resistencia a la fatiga y al envejecimiento y menores deformaciones plásticas.

El empleo y estudio de estos materiales se promueve desde la Dirección General de Carreteras a través de la ejecución de tramos experimentales en las vías españolas, en los que se realiza un control y seguimiento exhaustivo de la formulación inicial y la ejecución en obra, así como la evolución de las propiedades en el tiempo. Prueba de ello ha sido la ejecución entre 2008 y 2009 de la obra "Conservación del firme. Tramo Experimental. Rehabilitación del firme en la Autovía A-52, entre los pp. kk. 112+200 al 137+000. Provincia de Ourense", con un presupuesto total de 10 196 663,34 €, siendo la empresa adjudicataria Obras, Caminos y Asfaltos, S.A. (OCASA). En esta actuación se han empleado estos dos nuevos materiales.

2. Betunes de baja temperatura de fabricación y extendido

2.1. Introducción

Con la firma del Protocolo de Kioto sobre el cambio climático, España se obliga a contribuir al objetivo internacional de reducir las emisiones de los seis gases que causan el calentamiento global, entre ellos el dióxido de carbono (CO₂), en el periodo 2008-2012, en comparación con las emisio-

Tabla 2. Resumen de la formulación inicial de las mezclas semicalientes

	AC16 BT	AC22 BT	BBTM11B BT
% betún en mezcla	4,8	4,3	5
% polvo mineral aportación	5,5	3	6
relación polvo mineral/betún	1,2	1,1	1,2
% huecos en mezcla	5,3	5,7	18,3
% huecos en árido	16,5	16,2	28,4
estabilidad (kN)	12,8	12,2	-
deformación (mm)	2,6	3,5	-
% pérdida por abrasión en seco	-	-	3,5
% pérdida por abrasión en húmedo	-	-	11,5
Tª áridos (° C)	140		
Tª betún (° C)	140		
Tª salida mezclador (° C)	138		
Tª mínima de comienzo de extendido (° C)	125		
Tª mínima de comienzo de compactación (° C)	120		

Nota: Las temperaturas indicadas son las recomendadas en laboratorio y empleadas en la formulación inicial.

nes del año 1990. Las actuaciones deben hacerse desde todos los sectores productivos, modificando los patrones de comportamiento e introduciendo nuevas tecnologías y nuevos materiales que permitan reducir las emisiones.

Tradicionalmente las mezclas bituminosas en caliente se han fabricado a elevada temperatura, entre 160 y 175 °C. La fabricación del aglomerado lleva implícita la producción de emisiones de CO₂ a la atmósfera, entre otros gases. En los últimos años han surgido técnicas que tratan de disminuir las temperaturas de trabajo, en busca de una reducción de las emisiones generadas, y, en consecuencia, una mejora de las condiciones de trabajo de los operarios al exponerse a menores radiaciones térmicas.

Por otra parte, la reducción de temperaturas implica un ahorro energético asociado a la disminución del consumo de los combustibles en la planta de aglomerado. En este sentido las conocidas como *mezclas semicalientes* permiten rebajar la temperatura de fabricación alrededor de 30 °C.

En la obra de referencia se han empleado dos tipos de betunes de baja temperatura, ambos con propiedades reológicas modificadas respecto de los betunes convencionales por la adición de ceras. Este sistema disminuye la viscosidad del ligante a la temperatura de trabajo, y, por tanto, rebaja las temperaturas de fabricación y extendido de las mezclas semicalientes. El empleo de estas mezclas presenta las siguientes ventajas: reducción de la tem-

peratura de trabajo alrededor de 30 °C, reducción de la radiación térmica, reducción del consumo de combustibles y reducción de las emisiones gaseosas (CO₂, NO₂, SO₂) entre un 20 y un 50%.

2.2. Formulación inicial

La denominación de las mezclas semicalientes ha sido la siguiente:

- AC16 SURF BBTFE 50/70 S: mezcla semidensa (tipo S-12) en capa de rodadura con betún convencional de baja temperatura tipo B 50/70 (abreviadamente AC16 BT).
- AC22 BIN BBTFE 50/70 S: mezcla semidensa (tipo S-20) en capa intermedia con betún convencional de baja temperatura tipo B 50/70 (abreviadamente AC22 BT).
- BBTM 11B BBTFE PMB BM-3b M: mezcla discontinua (tipo M-10) en capa de rodadura con betún modificado de baja temperatura tipo BM-3b (abreviadamente BBTM11B BT).

La ubicación de las mezclas en la traza de la obra fue la indicada en la *tabla 1*.

Los áridos empleados, de naturaleza corneana, cumplen las especificaciones de la normativa española destacándose como más relevantes el índice de lajas (14,3%), el desgaste de Los Ángeles (13,2%) y el coeficiente de pulimento acelerado – CPA (58,0).

La *tabla 2* resume los datos de la formulación inicial de las mezclas semidensas empleadas.

Tabla 3. Resumen de las temperaturas de trabajo

	T ₀	T ₁	T ₂	T _{0 ref}	Reducción media en fabricación
AC22	145,0	132,0	116,4	170,0	25,0
AC16	145,0	128,6	121,4	170,0	25,0
BBTM11B	144,5	126,2	121,9	172,0	27,5

Nota: Valores en °C.

Tabla 4. Ensayos sobre AC16 BT

PARÁMETROS AC16 BT: valores medios						
% b/m	% b/a	f/b	Estabilidad kN	Deformación (mm)	% huecos en mezcla	% huecos en áridos
	(mín.4,51)	1,3	(>12,5)	(2-3,5)	(4-6)	(≥15)
4,7	4,9	1,0	13,3	3,200	5,396	17,082

Tabla 5. Ensayos sobre AC22BT

PARÁMETROS AC22 BT: valores medios						
% b/m	% b/a	f/b	Estabilidad kN	Deformación (mm)	% huecos en mezcla	% huecos en áridos
	(mín.3,8)	1,2	(>12,5)	(2-3,5)	(4-6)	(≥15)
5,0	5,3	1,0	12,8	2,800	5,709	17,339

Tabla 6. Ensayos sobre BBTM11B BT

PARÁMETROS BBTM1 1B BT: valores medios				
% b/m	% b/a	f/b	% huecos en mezcla	% pérdida por abrasión en seco
	(mín.4,75)	(1,-1,3)	(≥12)	(≥15)
4,7	5,3	1,4	15,607	5,900

Las especificaciones de los betunes de baja temperatura de fabricación y extendido son en cada caso los indicados por la normativa de aplicación de los betunes convencionales, artículo 211 del PG-3, y los betunes modificados, artículo 215 del PG-3 (2).

2.3. Ejecución de mezclas semicalientes y control de emisiones

Considerando las recomendaciones de la formulación inicial y la situación real de la obra (distancia planta de aglomerado-obra, tiempo de transporte 90 minutos), se emplearon temperaturas de trabajo ligeramente superiores a las indicadas en la formulación inicial para asegurar en todo momento que la temperatura se mantuviese en la llegada a la obra y principalmente en el comienzo de la compactación. Bajo estas condiciones, la temperatura de almacenamiento en planta de los betunes de baja temperatura fue de unos 145 °C. La fabricación se realizó a una temperatura media variable entre 140 y 145 °C y el aspecto de las mezclas fue correcto en todo momento.

En obra el aspecto fue también correcto y la medición de temperaturas concluyó los valores medios recogidos en la *tabla 3*.

T₀ = temperatura de fabricación

T₁ = temperatura de llegada a obra y comienzo de extendido

T₂ = temperatura en el momento de comenzar la compactación

T_{0 ref} = temperatura de fabricación de mezclas bituminosas en caliente

La pérdida de temperatura en el transporte varió entre 12 y 19 °C. La reducción mínima de temperatura en la fabricación fue

de 25 °C y se registraron máximas de 30 °C. Los resultados de los ensayos sobre mezclas fabricadas son los de las *tablas 4, 5 y 6*.

En las mezclas semidensas se produjo una disminución de la estabilidad, pero siempre dentro del rango indicado por la normativa. Los huecos en mezclas resultaron ligeramente elevados en el caso particular de la mezcla AC16 BT. Los resultados sobre la mezcla discontinua fueron en todo caso correctos.

Durante la fabricación de las mezclas semicalientes se realizó la medida de emisiones de gases en los dos focos de la planta de aglomerado: chimenea y caldera. Tomando como punto de partida las 3 últimas mediciones realizadas durante la fabricación de mezclas bituminosas en caliente, se concluyó que en ambos focos la reducción de la concentración de CO₂ fue considerablemente menor: disminución de un 47% en la chimenea y de un 62% en la caldera. Adicionalmente se obtuvieron emisiones de NO_x (ppm) y concentración de SO₂ mucho más reducidas, un 78% y 96% en la chimenea y un 94% y 76% en la caldera, respectivamente. Finalmente puede concluirse que la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero es efectiva al emplear estos nuevos betunes.

3. Betunes mejorados con caucho

3.1. Introducción

En España anualmente se generan del orden de 300 000 t de neumáticos fuera de uso (NFU). El destino de estos residuos viene dictaminado por la Ley 10/1998 (1) y por los Planes Nacionales de neumáticos



Foto 1. Medición de temperaturas en la mezcla

fuera de uso (PNNFU). Una de las formas prioritaria para su reciclaje es el empleo en la obra pública, con especial incidencia en la fabricación de mezclas bituminosas para las carreteras, por dos motivos: por una parte el caucho es un modificador de los ligantes alternativo a los productos convencionales (polímeros), y por otra, el volumen de aglomerado producido implica un elevado consumo de NFU.

Las técnicas de incorporación de polvo de NFU se distinguen por la forma en que se añade el caucho a las mezclas bituminosas: incorporado como una fracción más de árido, previamente a la mezcla con el betún (*vía seca*), implica la modificación del aglomerado; mezclado directamente con el betún (*vía húmeda*), consigue una modificación de las propiedades del ligante, en mayor o menor grado, en función de varios parámetros: tipo y naturaleza del betún, granulometría y proceso de obtención del caucho, proporciones de ambos componentes, sistema de fabricación y condiciones del proceso. La vía húmeda puede realizarse en la central de fabricación de betunes, y transportarse a la planta de aglomerado para su empleo, o fabricarse directamente en la planta con una instalación específica. El porcentaje de caucho añadido por vía húmeda da lugar a tres tipos de betunes: *betunes mejorados BC* (8-12%), *betunes modificados BMC* (12-15%) y *betunes modificados de alta viscosidad BMAVC* (15-22%) (3). Los elementos que gobiernan el proceso de modificación del betún in situ son la proporción de caucho, el tiempo y temperatura de la reacción-digestión. La normativa española que regula los nuevos materiales que incorporan caucho



Foto 2. Detalle de la compactación de la mezcla con BBTFE; nótese la ausencia total de humos

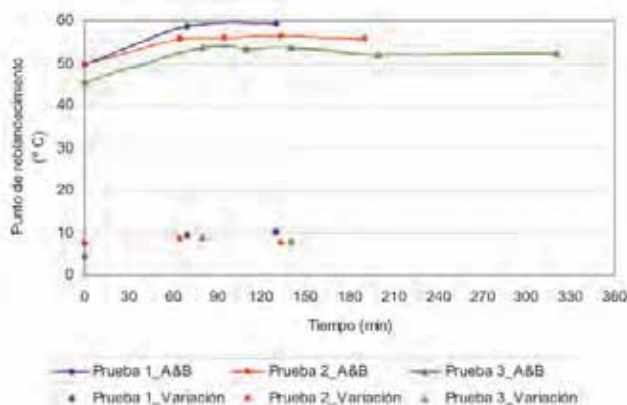
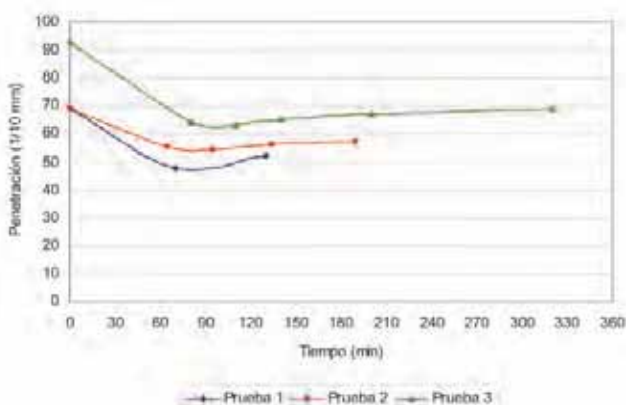
son la O.C. 21/2007 (4) y la reciente O.C. 21bis/2009 (5).

La modificación de las propiedades de los betunes convencionales por la adición de caucho se debe a la reacción que tiene lugar a elevada temperatura entre las partículas de caucho y el ligante, conocida como digestión. Gracias a esta reacción, los betunes mejorados con caucho muestran una disminución de la penetración respecto al betún base, mejores puntos de reblandecimiento y fragilidad, ampliando el intervalo de temperaturas de servicio del betún, y un aumento considerable de la elasticidad del ligante, permitiendo la reducción de la deformación permanente de la mezcla. Por contrapartida se penaliza la ductilidad del ligante, al incorporar discontinuidades en el seno del betún que facilitan la rotura prematura. El aumento de la viscosidad

provocada por la reacción de digestión permite películas de betún más gruesas en los áridos, sin escurrimientos ni exudaciones, lo que implica un ligero aumento de la dosificación de betún en mezcla, mejorando su resistencia al envejecimiento.

En la obra indicada se han empleado betunes mejorados con caucho fabricados in situ con una planta móvil de modificación de betunes, adaptada a la reciente O.C. 21bis/2009 (5). Esta tecnología permite modificar los betunes en la propia planta de aglomerado, sin necesidad de transportar el producto ya preparado y evitando en todo caso problemas de estabilidad en el caso de distancias de transporte elevadas. Por esta misma razón tampoco es necesario el empleo de aditivos que mejoren la estabilidad del betún con caucho.

Se muestran en las figuras 1 y 2 varios



Figuras 1 y 2. Evolución de la penetración y el punto de reblandecimiento

ejemplos de la evolución de la penetración y el punto de reblandecimiento de los betunes base por la adición de un porcentaje de caucho del orden del 10%. Este estudio fue realizado durante la ejecución de la obra indicada.

3.2. Aplicación a las mezclas bituminosas

La aplicación del betún mejorado con caucho se realizó en capa intermedia tipo AC22 BIN BC 50/70 S (abreviadamente AC22 BC). Las especificaciones del betún BC 50/70 fueron las indicadas en la O.C. 21/2007 (5) y los áridos empleados, de naturaleza grauwaca, cumplieron las especificaciones de los Pliegos españoles. La determinación inicial del contenido de ligante se realizó mediante el Método Marshall (NLT-159) y se observó una deformación relativamente baja en todas las probetas ensayadas, lo que fue corroborado por el control en obra sobre las mezclas fabricadas.

Los ensayos de inmersión-compresión, según la norma NLT-162, y de pista de laboratorio, según la norma NLT-173, mostraron resultados satisfactorios. Particularmente se destaca la reducida deformación obtenida en el ensayo de pista (velocidad de deformación ($\mu\text{m}/\text{min}$): $V_{105/120}=1$). Las densidades sobre testigos de aglomerado se obtuvieron de acuerdo a la norma NLT-168, con valores medios de $2,38 \text{ gr}/\text{cm}^3$. La adherencia entre capas se determinó en base al ensayo de corte LCB (Laboratorio de Caminos de Barcelona) (6). El valor mínimo exigido entre capas intermedias y bases según este método es de $0,40 \text{ MPa}$ (6), alcanzado en todos los casos. Se evaluó el efecto del agua sobre la cohesión de la mezcla bituminosa, de acuerdo con el método UNE-EN 12697-12, obteniéndose un ITSR (%) medio de 86,1.

La ejecución del extendido y compactación se realizó de manera similar a la de una mezcla sin caucho, controlando continuamente y exhaustivamente la temperatura del aglomerado y con la particularidad de mantener el compactador de neumáticos cerca de la extendidora para conservar la temperatura de las ruedas y evitar la adherencia entre el material y los neumáticos de la máquina, observada en la ejecución del tramo de prueba.



Foto 3. Instalación de fabricación de betún con polvo de neumáticos

4. Conclusiones

El esfuerzo técnico y económico realizado desde la Dirección General de Carreteras en la búsqueda de productos y tecnologías respetuosas queda demostrado en la ejecución de las nuevas obras, como la mostrada en este documento.

El empleo de betunes de baja temperatura permite reducir hasta un máximo de 30°C la temperatura de trabajo de las mezclas bituminosas, manteniendo sus propiedades y reduciendo las emisiones de gases, particularmente CO_2 .

Los betunes que incorporan caucho procedente de NFU constituyen una solución doblemente ventajosa porque permiten reciclar parte del volumen de neumáticos desechados en España y modifican las propiedades de los ligantes y en consecuencia de las mezclas bituminosas que los incorporan, obteniendo firmes más duraderos y reduciendo finalmente los costes asociados a la conservación y mantenimiento de las carreteras.

5. Referencias

(1) Ley 10/1998 de Residuos. BOE nº 96,

22-04-1998, p. 13372-13384.

- (2) Ministerio de Fomento (2000 y 2004). Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). Artículos 211, 542 y 543. BOE 19 22-01-00, p. 3014-3034; BOE 83 04-04-04, p. 14446-14509; BOE 126 25-05-04, p. 19394. Madrid.
- (3) Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente y CEDEX (2007). Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas. p. 3-23.
- (4) Ministerio de Fomento (2007). Orden Circular 21/2007 sobre el uso y especificaciones que deben cumplir los ligantes y mezclas bituminosas que incorporen caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU). Madrid.
- (5) Ministerio de Fomento (2009). Orden Circular 21bis/2009 sobre betunes mejorados y betunes modificados de alta viscosidad con caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) y criterios a tener en cuenta para su fabricación in situ y almacenamiento en obra. Madrid.
- (6) Miró Recasens, R. (2009). Riegos de adherencia. Materiales y ensayos. Jornada Técnica ASEFMA, Madrid. ❖