

RECIENTES ACTUACIONES CON BETUNES DE ALTO CONTENIDO DE CAUCHO EN ESPAÑA. UNA TECNOLOGÍA INNOVADORA EN CARRETERAS.

LUIS DE LOS SANTOS GRANADOS

DIRECTOR GENERAL DE ASFALTÓMEROS S.A.

RESUMEN

La tecnología de betunes con alto contenido de caucho se basa en la fabricación de un ligante modificado con más del 20% en peso de triturado de goma procedente de neumáticos fuera de uso. El proceso se realiza in situ en la planta de fabricación de mezcla bituminosas en caliente.

Recientemente se han ejecutado en España cinco actuaciones con esta tecnología. En dos de ellas la mezcla con este tipo de ligante se extendió sobre un pavimento rígido con problemas de escalonamiento en juntas y deterioros de algunas de las losas. Otro más consistió en la colocación de una capa intermedia y una rodadura sobre un reciclado con cemento. Las dos actuaciones restantes tuvieron lugar sobre dos viales urbanos.

De los resultados obtenidos en estas obras puede deducirse que la tecnología de las mezclas con betunes de alto contenido de caucho presentarán importantes ventajas tanto en carreteras como en vías urbanas.

1. INTRODUCCIÓN

Es frecuente que los avances tecnológicos estén contrapuestos a la preservación del medio ambiente. La industrialización, las actividades mineras o la propia construcción llevan aparejados efectos negativos sobre la atmósfera, el agua, la ocupación de suelo susceptible de otros usos, etc. Para minimizar dichos efectos negativos suele ser preciso un esfuerzo añadido de investigación y el establecimientos de unas medidas adicionales a la tecnología que se pretende implantar.

Afortunadamente no siempre es así. La utilización de los neumáticos fuera de uso como componente para la fabricación de mezclas bituminosas para carreteras constituye uno de los mejores ejemplos. Si hasta ahora se venían utilizando polímeros vírgenes en la fabricación de productos bituminosos con propiedades mejoradas, el empleo –sustituyendo a los polímeros vírgenes- de caucho procedente de la trituración de neumáticos fuera de uso ha supuesto la confluencia de dos esfuerzos: el de mejorar los firmes de carretera y el de preservar el medio ambiente.

Dentro de las tecnologías de incorporación de caucho en firmes de carreteras una de ellas, la de los betunes de alto contenido de caucho, está siendo impulsada en España por la empresa

ASFALTÓMEROS. Se trata básicamente de la fabricación de betunes modificados con un 20% de caucho de neumáticos, lo que da lugar a un ligante modificado de alta viscosidad y elevado punto de reblandecimiento, lo que permite incrementar el contenido de ligante en la mezcla y con ello mejorar su comportamiento frente a la fatiga o la reflexión de fisuras.

La empresa ASFALTÓMEROS ha contado para el desarrollo de esta tecnología en España con la colaboración de la Universidad Politécnica de Madrid. Se ha podido disponer así de unos Pliegos de Condiciones que permiten afrontar el empleo de estos materiales con garantías de éxito.

La presente Comunicación Técnica presenta los datos fundamentales de esta tecnología de betunes de alto contenido de caucho y las últimas obras realizadas en España. Queda de manifiesto que las mezclas bituminosas fabricadas con betunes de alto contenido de caucho pueden ofrecer ventajas muy interesantes en proyectos de pavimentación de diversos tipos, desde autopistas con un elevado tráfico de vehículos pesados hasta viales urbanos.

2. LA TECNOLOGÍA DE BETUNES DE ALTO CONTENIDO DE CAUCHO.

Se describirán a continuación la fabricación del ligante modificado con un alto contenido de caucho, sus características, la fabricación en obra de mezclas bituminosas y las propiedades más reseñables de éstas.

2.1 Fabricación y características del betún de alto contenido de caucho.

Un betún de este tipo está compuesto de betún asfáltico y polvo de caucho. El betún se almacena en los propios tanques de la central de fabricación de mezclas bituminosas, mientras que el caucho se suele suministrar en sacas de unos 1.000 kg de peso. El caucho que se emplea es un triturado de tamaño máximo no mayor de 2 mm.

La unidad de mezclado, que está diseñada sobre un semirremolque, se ubica en la central de fabricación de mezclas bituminosas. Una vez estacionada, la cabeza tractora puede marcharse, quedando sólo el semirremolque con la unidad de mezclado (fotografía 1).

A continuación se conecta el suministro de betún asfáltico desde los tanques de la planta de fabricación de mezclas bituminosas, se carga la tolva de caucho, y se alimenta con caucho el mezclador-agitador mediante un sistema automatizado de pesaje. Finalmente el betún caucho recién fabricado pasa a un tanque de digestión-regulación provisto de removedores que evitan sedimentaciones y garantizan que se completará la digestión.



Foto 1. Unidad de fabricación de betún de alto contenido de caucho

Desde este tanque se sirve el betún de alto contenido de caucho a la planta de fabricación de mezclas, al ritmo que esta lo va demandando. Para ello la salida del tanque digestor-regulador se acopla a la tubería de betún que transporta habitualmente el ligante hasta el mezclador de la planta de mezclas bituminosas. La propia unidad de mezclado cuenta con una bomba que impulsa el ligante a través de dicha tubería, cuando se le demanda desde el puesto de control de la central de fabricación, todo ello con mecanismos automatizados.

Previamente al comienzo de la obra se realiza un sencillo estudio de laboratorio para asegurarse de la compatibilidad caucho – betún. Con este estudio se determina el contenido de caucho más idóneo (siempre entre el 18 y el 23%), temperatura de operación, etc.

Quizás por un insuficiente conocimiento de ésta técnica, a veces se ha mencionado como principal limitación la exigencia de consumir el ligante inmediatamente a su fabricación, puesto que de otro modo perdería sus propiedades. En realidad esto no es cierto. El estudio de compatibilidad en laboratorio permite garantizar que sus propiedades se conservarán durante horas; y en casos extremos, como detenciones de la obra debidas a una meteorología adversa, a averías de los equipos, etc., es suficiente disminuir la temperatura del tanque regulador – para lo que el sistema está equipado con los dispositivos correspondientes- de modo que la cinética de la interacción caucho – betún prácticamente se detiene, y las propiedades del ligante pueden conservarse durante varios días.

El betún modificado con alto contenido de caucho se caracteriza por una mínima susceptibilidad térmica, con un punto de reblandecimiento y una viscosidad elevados. Como ejemplo de las características de este tipo de ligantes, la tabla 1 muestra los resultados de los ensayos practicados a un betún de alto contenido de caucho empleado en un recrecimiento

sobre losas de hormigón en la autopista AP-7, una de las obras que se comenta en esta Comunicación Técnica.

Tabla 1. Características del ligante empleado en la autopista AP-7.

ENSAYO	Unidad	NLT	RESULTADO
Penetración	10 ⁻¹ mm	124	30
Punto de reblandecimiento	°C	125	83
Retorno elástico por torsión	%	329	21
Viscosidad a 175°C	cP	375	3.250

Es precisamente el alto contenido de caucho y su adecuada digestión lo que le confiere estas características y permite que este ligante modificado con caucho de neumáticos pueda incorporarse en la mezcla bituminosa en contenidos que llegan hasta el 10% sobre el peso de los áridos.

El siguiente apartado describe con detalle las características de estas mezclas bituminosas, así como su fabricación en central y su puesta en obra.

2.2 Fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas con betunes de alto contenido de caucho. Características de las mezclas.

La operación de fabricación de mezclas bituminosas con alto contenido de caucho sólo se distingue de mezclas convencionales en que el ligante lo suministra la unidad de mezclado de betún-caucho. La puesta en obra es idéntica a la de mezclas bituminosas convencionales. Tan sólo referir que la compactación ha de realizarse con rodillos de llanta lisa, debiendo evitar los rodillos de neumáticos. El motivo estriba en que la incorporación de caucho en la mezcla bituminosa incrementa notablemente su adhesividad, también a los neumáticos del rodillo, por lo que son preferibles los rodillos de llanta metálica.

Se comentan a continuación los datos concretos de la mezcla colocada en la autopista AP-7. La mezcla, de granulometría discontinua, se dosificó mediante el ensayo Marshall (NLT-159). También se realizaron los ensayos de inmersión-compresión (NLT-162) y pista de laboratorio (NLT-175).

Los resultados del ensayo Marshall fueron, para un contenido de ligante del 9% sobre peso de los áridos, los siguientes:

Densidad:	2,271
Huecos en mezcla:	5,1%
Huecos en áridos:	25,2%
Estabilidad:	8,32 kN
Deformación:	2,3 mm

Es llamativo el elevado contenido de huecos en áridos junto a un contenido moderado de huecos en mezcla. Esta situación es posible gracias al alto contenido de ligante, que rellena la mayor parte de los huecos en áridos. Por otro lado la estabilidad es superior a los 7,5 kN especificados para mezclas de granulometría discontinua en el art. 543 del PG-3.

El ensayo de inmersión compresión se realizó sobre mezclas que contenían un 9% de ligante sobre peso de los áridos. Se obtuvo una resistencia a compresión de 31 kp/cm² en el ensayo en seco y de 28,3 kp/cm² en el ensayo tras inmersión, lo que supone una resistencia conservada del 91,4%. Dado que el PG-3 considera suficientes resistencias conservadas superiores al 75%, puede decirse que la mezcla mostró un comportamiento excelente frente a los problemas de desenvuelta de los áridos y desintegración de la mezcla.

Naturalmente, un elevado contenido de ligante aumenta el riesgo de roderas, lo que convierte en crítica esta parte del estudio. En el caso de la Autopista AP-7, la primera obra que se realizó con esta tecnología en España, se llevaron a cabo varios ensayos de pista de laboratorio, de modo que quedasen controladas variables con tanta influencia en el riesgo de deformaciones plásticas como la granulometría y el contenido de ligante de la mezcla. La tabla 2 presenta los resultados obtenidos:

Tabla 2. Resultados de pista de laboratorio. Mezcla colocada en la AP-7.

Granulometría	Betún-caucho (%)	V ₁₀₅₋₁₂₀ (10 ⁻³ mm/min)
Curva propuesta	10	1,3
Curva con exceso de finos	10	1,3
Curva con fuerte desviación	11	2

Para interpretar estos resultados considérese que el artículo 543 del PG-3 permite como máximo, para el caso de tráfico T00 y zona térmica estival media, situaciones en las que se encuentra el tramo de la autopista AP-7 recrecido con esta mezcla, velocidades de deformación V₁₀₅₋₁₂₀ de hasta 12x10⁻³mm/min. Es decir, las mezclas estudiadas están muy del lado de la seguridad en lo referente al riesgo de aparición de roderas.

3. OBRAS EJECUTADAS RECIENTEMENTE EN ESPAÑA

Hasta el momento se han ejecutado en España cinco obras con la tecnología de betunes de alto contenido de caucho. Conviene remarcar que en cada una de ellas la empresa constructora ha sido diferente, mientras que la empresa suministradora ha sido en todos los casos ASFALTÓMEROS S.A. Esta situación no es sino una muestra de la facilidad con que la unidad de mezclado para la obtención de betunes de alto contenido de caucho se acopla a cualquier planta de fabricación de mezclas bituminosas en caliente. Se ha trabajado con plantas continuas y discontinuas, siendo posible siempre el acoplamiento del equipo de producción de betunes de alto contenido de caucho.

A continuación se comenta cada una de estas cinco obras, con sus características más significativas: estado del pavimento existente, solución adoptada y otros aspectos que en cada caso pueda ser interesante mencionar.

3.1 Autopista AP-7

La autopista AP-7 (Alicante - Tarragona) discurre paralela a la costa levantina española. Dicha vía canaliza buena parte del tráfico de mercancías por carretera a lo largo de la costa, por lo que soporta un importante nivel de vehículos pesados, cercano a T0. Inicialmente esta autopista dispuso de un pavimento rígido, compuesto por losas de hormigón, sistema californiano, sin pasadores.

Las losas de hormigón, con más de 20 años de antigüedad han venido funcionando muy bien, pero debido al paso del tiempo y al elevado tráfico que soporta la vía han comenzado a aparecer los deterioros típicos en este tipo de pavimentos: roturas de losas, escalonamientos, hundimientos localizados, etc. En la fotografía 2 se aprecia una losa fisurada.

Era necesario por consiguiente proceder a una rehabilitación del pavimento de modo que se recobrase la regularidad superficial, se impermeabilizase el pavimento para frenar el proceso de deterioro y se evitase la aparición de fisuras reflejadas en la nueva capa.

Otro condicionante muy importante a la hora de seleccionar una solución lo constituía el plazo de realización de la obra. En efecto, la autopista AP-7 es una autopista de peaje cuya explotación está bajo la responsabilidad de la empresa AUMAR. Dicha empresa, en el ánimo de ocasionar las menores molestias posibles a los usuarios de la vía, solicitaba que la solución de pavimentación adoptada acortase en la medida de lo posible la duración de los cortes y desvíos del tráfico que acompañan a cualquier obra de pavimentación de una vía que está en servicio.

Finalmente la solución adoptada fue la de una única capa de mezcla bituminosa con elevado contenido de caucho. La operación en el tajo de extendido consistía únicamente en la

aplicación de un riego de adherencia sobre el pavimento existente y a continuación la extensión de una capa de mezcla bituminosa con alto contenido de caucho. El espesor de la capa fluctuó entre 4 y 6 cm, puesto que se construyeron varios tramos en distintos puntos de la autopista.



Foto 2. Algunas losas fisuradas. Pavimento rígido en la AP-7.

La fotografía 3 presenta el aspecto de la autopista un año después de su rehabilitación. Al día de hoy, dos años después de la obra, el índice de reflexión de fisuras es nulo.

Se da la circunstancia de que por imperativos de obra el último día de trabajo se hubo de realizar un tramo de unos 100 metros contiguo a uno de los tramos objeto de este apartado, con un betún modificado de los que habitualmente se comercializan en España. Ciertamente el contenido de ligante en aquella mezcla no alcanzaba el 9,0% aplicado a los tramos con betún de alto contenido de caucho. Las consecuencias fueron que un año después de la obra ya se habían reflejado al menos cuatro de las juntas de losa en aquel recrecimiento, en contra de lo sucedido a la mezcla con alto contenido de caucho, que permanecía “invicta”.

Respecto a esta obra, conviene por último mencionar que realizaron unas medidas de ruido en el entorno de la carretera registrándose reducciones de unos 5 dB(A) en el borde del arcén. Como es sabido la repavimentación de un pavimento de losas de hormigón con una mezcla bituminosa suele suponer una reducción del ruido en el entorno de la carretera. En este caso esa reducción parece más acentuada, lo que podría atribuirse a la presencia de caucho en el mezcla bituminosa.



Foto 3. Aspecto de la Autopista AP-7 un año después del recrecimiento con mezclas de alto contenido de caucho.

3.2 Carretera de Revilla de Camargo a Puente Arce (S-444)

Esta carretera responde a una tipología estructural muy distinta a la de la Autopista AP-7, descrita en el apartado anterior. Se trata de una carretera de dos carriles que a pesar de su carácter comarcal soporta un considerable número de camiones (tráfico T2) debido a que da servicio a una serie de canteras de piedra que existen en sus márgenes. La carretera disponía de un firme flexible ya bastante deteriorado, sobre todo por el continuo tráfico de camiones de la cantera.

Para su rehabilitación se planteó en principio un refuerzo estructural, lo que suponía del orden de 15 cm de mezclas bituminosas sobre el pavimento existente. Esta solución, de coste elevado, tenía el inconveniente de dejar sin reparar las capas existentes, lo que a medio plazo, combinado con el tráfico, puede suponer el fallo prematuro del firme. Por otro lado se elevaba la cota de la calzada a niveles tales que superaban los bordillos de aceras y entradas a viviendas en la travesía.

Por todo ello se consideró que la solución más adecuada debía pasar por el reciclado en profundidad del firme existente, y colocación encima de una capa de mezcla bituminosa, de delgado espesor consiguiendo ejecutar un firme semirrígido.



Foto 4. Ctra. Revilla – Puente Arce. Actuación sobre un firme reciclado con cemento "in situ". Cantabria.

Posiblemente los firmes más adecuados para elevados tráfico de vehículos pesados, por el conjunto de características que ofrecen, son los firmes semirígidos, constituidos por espesores considerables de materiales tratados con cemento u otros conglomerantes hidráulicos, y unas capas superiores de mezclas bituminosas. Desafortunadamente presentan el problema de las fisuras reflejadas, es decir, fisuras se propagan desde las capas tratadas con cemento, donde se produjeron por fenómenos de retracción asociados al fraguado, hacia las mezclas bituminosas colocadas encima, reproduciendo en la superficie del pavimento la red de fisuras que sufre la capa tratada. Era necesario, por consiguiente, seleccionar unas mezclas bituminosas sobre el reciclado con cemento capaces de frenar eficazmente el ascenso de las fisuras reflejadas.

Conviene mencionar que además de estos condicionantes estrictamente técnicos, el Gobierno de Cantabria, titular de esta carretera, era favorable a la selección de alternativas con un marcado carácter medioambiental. En este sentido el reciclado de firmes tiene ventajas de todos conocidas, y las mezclas con alto contenido de caucho también (de todas las tecnologías existentes ésta es la que introduce un mayor porcentaje de caucho en cada tonelada de mezcla bituminosa y por consiguiente la más favorable desde el punto de vista medioambiental).

Puede decirse sin duda que el reciclado con cemento y las mezclas bituminosas con alto contenido de caucho se complementan perfectamente: desde el punto de vista técnico porque las mezclas bituminosas con alto contenido de caucho resisten muy bien la reflexión de fisuras desde las capas recicladas con cemento; desde el punto de vista ambiental porque ambas técnicas hacen un fuerte apuesta por la preservación del medio ambiente.

En definitiva, la solución adoptada consistió en un reciclado con cemento en una profundidad de 30 cm, que interesaba incluso la explanada y a veces suelo natural, seguida de una capa

intermedia de 6 cm y una de rodadura 3 cm construidas ambas con mezclas bituminosas de alto contenido de caucho.

Hasta el momento el comportamiento del paquete estructural ha sido excelente. En este sentido, se espera que la protección antifisuras que constituyen las capas con mezcla bituminosa de alto contenido de caucho evite la entrada de agua a través del pavimento, y la consiguiente pérdida de capacidad portante de la explanada, lo que en capas tratadas con cemento puede suponer una disminución drástica del número de vehículos que el firme puede soportar antes de agotarse.

3.3 Vial urbano en la ciudad de Valladolid

La calle Soto, en la ciudad de Valladolid, disponía de un firme típico de viales urbanos: sobre la explanada unos 15 cm de hormigón seguidos de unos 5 cm de mezcla bituminosa. Como se ha referido esta combinación estructural suele presentar el problema de fisuración reflejada.

Se solicitó a la empresa ASFALTÓMEROS una solución para este tipo de fallo, que es bastante frecuente en toda la red vial de la ciudad. La solución más económica es sin duda el refuerzo directo, mediante un recrecimiento del firme existente. Sin embargo, la naturaleza urbana del vial introduce unos condicionantes, fundamentalmente los relacionados con la altura de las aceras, alcantarillas, tapas de registro, etc., que recomendaban mantener la cota del pavimento. Por todo ello se decidió fresar previamente la capa de mezcla bituminosa deteriorada, en sus 5 cm de profundidad, y reponer dicho espesor con una nueva mezcla bituminosa, fabricada con alto contenido de caucho.

La obra se realizó sin dificultades, como las dos anteriores, y el resultado puede apreciarse (fotografía 5):



Foto 5. Una calle en Valladolid pavimentada con mezclas bituminosas de alto contenido de caucho. Los pavimentos urbanos, con capas tratadas con cemento, son ideales para cubrir con estas mezclas bituminosas que retrasan la aparición de fisuras reflejadas.

3.4 Ciudad de Salamanca. Varios viales urbanos.

Dentro del programa de repavimentación de viales urbanos del Ayuntamiento de Salamanca para el verano 2004, existían varios viales, alguno de ellos antigua travesía, que soportan un importante tráfico de vehículos pesados. Más allá del significado estructural de este tráfico existía un problema de ruido en las viviendas colindantes, condicionante éste siempre presente en las redes viarias urbanas.

En este caso la cota de la acera no resultaba tan determinante, dado que la anchura de la calzada permite que mediante un bombeo aceptable no se afectase excesivamente a la diferencia de cota entre la calzada y la acera. Por ello se optó por una solución de recrecimiento directo sobre el pavimento existente. No obstante sí fue necesario elevar las alcantarillas y tapas de registro que se encuentran en la calzada.

El firme presentaba síntomas de envejecimiento, fisuras y algunas pérdidas superficiales de material. El espesor de recrecimiento fue de entre 4 y 5 cm, dependiendo de las irregularidades del pavimento existente. La obra se desarrolló sin ningún incidente digno de mención y el aspecto final de la capa resultó magnífico.



Foto 6. Avda. Portugal. Actuación en la ciudad de Salamanca.

3.5 Autovía N-IV. (Autovía de Andalucía)

Esta autovía discurre entre Madrid y la Comunidad Autónoma Andaluza con un tráfico T0. Parte de la autovía dispone de pavimento rígido, con losas de hormigón con pasadores, lo que en principio mejora su comportamiento estructural. En los últimos años el deterioro de este pavimento estaba incrementándose notablemente, debido entre otras causas a fallos en las capas inferiores, con particular relevancia del problema de bombeo de finos.

Era necesario por lo tanto su rehabilitación, para mejorar la rodadura y proteger el pavimento de la entrada de agua de lluvia. En este caso la solución adoptada consistió en una capa única de 5 cm de mezcla bituminosa con alto contenido de caucho.

Peculiaridades de esta carretera son las altas temperaturas estivales que soporta, y su elevado tráfico de vehículos pesados lo que genera un importante factor de riesgo de deformaciones plásticas (roderas), dado el elevado contenido de betún del alto contenido de caucho que se emplea (más del 9% sobre peso de los áridos). Hay que decir que la obra se realizó en junio de 2004, y después del primer verano no se han registrado deformaciones plásticas, lo que pone de manifiesto la estabilidad mecánica de estas mezclas bituminosas en condiciones de altas temperaturas de servicio.

La fotografía 7 muestra el aspecto de la carretera recién construida.



Foto 7. Autovía N-IV. Aspecto del recrecimiento de un pavimento rígido con mezclas bituminosas de alto contenido de caucho.

4. CONCLUSIONES

De todo lo mencionado en esta Comunicación Técnica al III Congresso Rodoviário Portugês, cabe mencionar las siguientes conclusiones:

1. El betún de alto contenido de caucho se fabrica con unos equipos especialmente adaptados a este cometido, capaces de fabricar un betún modificado en el que un 20% de su peso está constituido por caucho procedente de neumáticos fuera de uso.
2. El betún de alto contenido de caucho se caracteriza por una elevada viscosidad y un punto de reblandecimiento muy elevado, que permiten emplearlo en las mezclas bituminosas en proporciones del 9% sobre peso de los áridos , aproximadamente, sin que existan riesgos de deformaciones plásticas
3. Las mezclas con betunes de alto contenido de caucho están mostrando en la práctica una alta resistencia a las deformaciones plásticas y a la reflexión de fisuras desde capas inferiores tratadas con cemento.
4. Las mezclas bituminosas con betunes de alto contenido de caucho son aplicables y pueden aportar ventajas en una amplia variedad de proyectos de pavimentación, desde autopistas hasta pequeños viales urbanos.