

IAG336-08-2013
MEZCLAS ASFÁLTICAS EN INFRAESTRUCTURAS
FERROVIARIAS DE ALTAS PRESTACIONES
MISTURE ASFALTO INFRA-ESTRUTURA FERROVIÁRIA DE
ALTA PERFORMANCE

Ángel Sampedro
Universidad Alfonso X El Sabio (UAX)
Madrid, España
sampedro@uax.es

Juan Antonio Villaronte
Universidad Alfonso X El Sabio (UAX)
Madrid, España
jvillfer@uax.es

Resumen

Dentro de los últimos avances en la tecnología para el transporte ferroviario de alta velocidad en España está el planteamiento de nuevas secciones estructurales para la formación de plataformas basadas en materiales de mejores prestaciones, frente a la solución tradicional basada en el empleo de materiales granulares.

Entre estas técnicas, cabe destacar, por su interés para el sector de las mezclas asfálticas, la sustitución del subbalasto granular por subbalasto asfáltico, como última capa de coronación de la plataforma.

El subbalasto asfáltico se está empezando a aplicar en vías para alta velocidad ferroviaria conforme al modelo italiano. Esta capa está constituida por un espesor de 10-12 cm. de mezcla asfáltica semidensa, del tipo AC22 S.

La adopción de una solución estructural basada en el subbalasto asfáltico para infraestructuras ferroviarias de altas prestaciones presenta numerosas ventajas tanto a un nivel de comportamiento de la infraestructura como de construcción y mantenimiento de la misma.

Además, según los estudios realizados hasta el momento, esta técnica resulta ventajosa desde el punto de vista de la sostenibilidad frente a otras alternativas como la estructura convencional sobre balasto y subbalasto granular o la vía en placa.

Esta no es la única posibilidad de empleo de mezclas asfálticas en líneas ferroviarias. Estas mezclas pueden emplearse para el montaje de vía sobre viaductos y estructuras, con el objeto de amortiguar las cargas dinámicas del ferrocarril sobre ellos, y en zonas especiales, para reducir el ruido de la rodadura de los trenes.

Para el caso de la vía en placa, también son de aplicación este tipo de materiales, con experiencias contrastadas en países del Norte de Europa.

Resumo

Entre os mais recentes avanços na tecnologia de trens de alta velocidade na Espanha é a abordagem de novas seções estruturais para materiais formando plataformas baseadas em um melhor desempenho em comparação com a solução tradicional baseada no uso de materiais granulares.

Dentre essas técnicas, o mais notável para seu interesse no campo de misturas asfálticas, reposição de betuminoso sub granular sub-lastro, como a coroação última camada da plataforma.

O betuminoso sub está começando a aplicar para vias férreas de alta velocidade sobo modelo italiano. Esta camada é formada por uma espessura de 10-12 cm. mixtura asfáltica semi-densa, AC22 tipo S.

A adoção de uma solução estrutural com base em sub betuminoso para infra-estrutura ferroviária de alta performance tem muitas vantagens para um nível de desempenho da infra-estrutura e construção e manutenção do mesmo.

Além disso, de acordo com os estudos realizados até agora, a técnica de sub betuminoso é vantajoso do ponto de vista da sustentabilidade em comparação com outras alternativas, tais como a estrutura convencional de lastro granular e sub-lastro ou faixa laje.

Esta não é a única possível utilização de caminhos de ferro da mistura de asfalto. Estas misturas podem ser usados para rastrear montagem em viadutos e estruturas, a fim de atenuar as cargas dinâmicas ferroviárias sobre eles, e em áreas especiais, para reduzir o ruído de rolamento dos trens.

Para o caso de pista laje também aplicar estes materiais com experiências contrastantes em países do Norte da Europa.

INTRODUCCIÓN

Dentro de los últimos avances en la tecnología para el transporte ferroviario de alta velocidad en España está el planteamiento de nuevas secciones estructurales para la formación de plataformas basadas en materiales de mejores prestaciones, frente a la solución tradicional basada en el empleo de materiales granulares.

Entre estas técnicas, cabe destacar, por su interés para el sector de las mezclas asfálticas, la sustitución del subbalasto granular por subbalasto asfáltico. En España, aunque su desarrollo está pendiente, ya se está estudiando esta solución y se ha planteado en algunos tramos, de forma experimental. El subbalasto asfáltico se está empezando a aplicar en vías para alta velocidad ferroviaria conforme a las especificaciones establecidas por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), que establecen un espesor de 12 cm. de mezcla asfáltica semidensa del tipo AC22 S o AC32 S,

preferiblemente con cemento asfáltico B60/70, que se puede ejecutar en una sola capa, o en dos capas de 6 cm.

La adopción de una solución estructural basada en el subbalasto asfáltico para infraestructuras ferroviarias de altas prestaciones presenta numerosas ventajas tanto a un nivel de comportamiento de la infraestructura como de construcción y mantenimiento de la misma.

Por otro lado, para el tráfico de mercancías por ferrocarril se requiere, para poder competir con otros modos de transporte, la utilización de trenes de mayor longitud pasando de trenes de aproximadamente trenes de 300 metros a la utilización actualmente de trenes de 750 metros. Esta circunstancia hace que se plantee además una mayor carga por eje en cada vagón pasando de las actuales 20 toneladas/eje a 22,5 toneladas/eje e incluso cargas por eje superiores. Existen en el mercado vagones con dos filas de contenedores que podrían, de incorporarse a la red ferroviaria española, aumentar esta carga por eje hasta 33 toneladas/eje como sucede en las líneas de Estados Unidos.

Estas elevadas cargas por eje fatigan enormemente la plataforma ferroviaria encareciendo considerablemente los costes de mantenimiento y reduciendo la vida útil de la instalación. En EEUU se ha establecido una sección con subbalasto asfáltico para obtener una mejora de las prestaciones.

Pero esta no es la única posibilidad de empleo de mezclas asfálticas en líneas ferroviarias. Para el caso de la vía en placa también son de aplicación este tipo de materiales, con experiencias contrastadas en países del Norte de Europa.

En España sólo se ha realizado algún experimento puntual. Ello se ha debido, fundamentalmente, a la escasa implantación, hasta la fecha, de este tipo de vía. Sin embargo, hay que decir que actualmente se encuentra en fase de estudio la adopción de la vía en placa en alguna de las nuevas líneas de alta velocidad ferroviaria en el Norte de España.

LA VÍA DE ALTA VELOCIDAD FERROVIARIA

La estructura de una vía de alta velocidad ferroviaria es el resultado de la superposición de las capas de asiento y elementos de vía que, apoyados sobre la plataforma, determinan su comportamiento estructural ante las cargas dinámicas a las que se ve sometida durante su puesta en servicio.

Las capas de asiento equivalen al concepto de firme en carreteras. Están formadas por, de abajo a arriba, la capa de forma, el subbalasto y el balasto, para el caso de la vía en balasto, o una combinación de capas, más o menos rígidas, para el caso de la llamada vía en placa.

La elección del tipo de capas a disponer en las capas de asiento determina muchos aspectos:

- El comportamiento de la infraestructura, tanto en desmontes como en rellenos, al protegerla de las cargas, las contaminaciones, el agua, las heladas, etc. Las

circulaciones de alta velocidad ferroviaria transmiten unas cargas dinámicas muy importantes, lo que se traduce en una combinación de tensiones verticales y vibraciones muy fuertes.

- La posibilidad o no de poder permitir sobre la capa de subbalasto la circulación de obra y los trabajos para la colocación de la superestructura ferroviaria (señalización, canalizaciones, etc.). Este aspecto es muy importante pues, habitualmente, los contratos de construcción de líneas se separan entre Plataforma (hasta subbalasto inclusive) y Superestructura, de tal forma que es frecuente que el tráfico de obra deteriore la capa de subbalasto y se deba reparar, antes de empezar el extendido del balasto, tal como se aprecia en la siguiente fotografía.

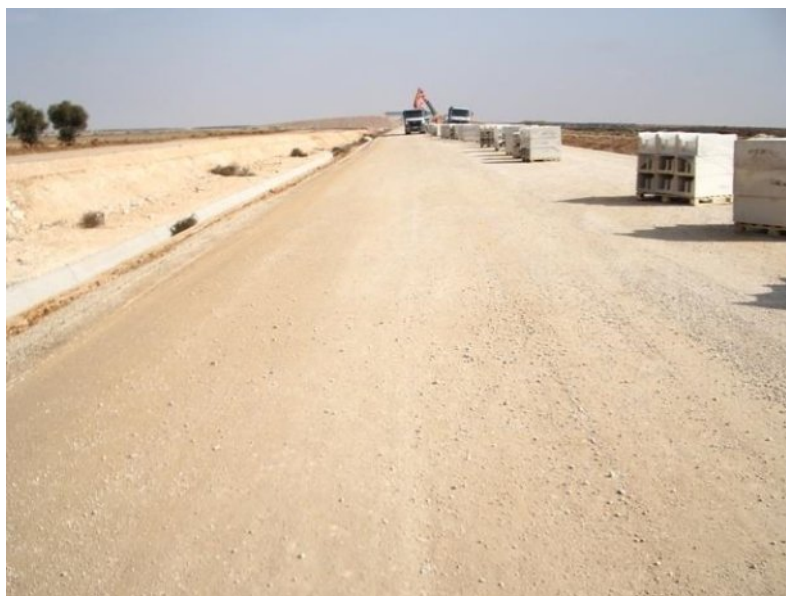


Foto 1: Trabajos sobre capa de subbalasto granular.

- El comportamiento de los elementos que hay apoyados por encima: capa de balasto y vía (traviesa, sujeción y carril). Este aspecto también es fundamental, pues las vías de alta velocidad ferroviaria precisan de labores continuas de mantenimiento para el bateo y reposición de balasto, y para el replanteo geométrico de la vía, las cuales imponen, además de un gran coste, una necesidad de ocupación nocturna en algunas de estas líneas.
- Estos factores hacen inviable su compatibilidad con el paso de otros tráficos (Ej.: mercancías) durante la noche. Precisamente esta es una de las ventajas que presenta el sistema de vía en placa frente a la vía en balasto, y es lo que está motivando el estudio de su posible adopción en algunas líneas españolas.
- Para el caso de la vía en placa, esta capa supondría una subbase o capa inferior, y, como tal, debe constituir un apoyo estable y homogéneo para la capa superior, de la misma forma que sucede en los pavimentos rígidos de hormigón/concreto para carreteras.

De esta forma, puede apreciarse la importancia que tiene la capa de subbalasto tanto en lo referente al comportamiento de la infraestructura, como en lo referente al comportamiento de la superestructura, determinando aspectos relativos a la durabilidad, necesidades de conservación y prestaciones del transporte ferroviario.

EL SUBBALASTO ASFÁLTICO

El empleo de capas de subbalasto con materiales de mejores prestaciones que las capas granulares, empleadas hasta ahora, mejora el comportamiento estructural de la plataforma ferroviaria. Además, supondría sustituir una capa de subbalasto granular de 30 cm. por una capa de subbalasto asfáltico de 12 cm., lo cual implica, de partida, un importante ahorro de material y transporte. La reducción estimada de volumen de áridos necesarios estaría en torno al 40 por ciento.

Así, aplicado sobre el sistema de vía en balasto, el empleo de subbalasto asfáltico confiere a la vía unas prestaciones que hacen que se pueda hablar de un tipo de vía que se podría considerar como mixto, situado entre la vía en balasto y la vía en placa. Esta solución, bien planteada y optimizada, podría abarcar las ventajas de ambos tipos de vías, y evitar gran parte de sus inconvenientes.

Es muy interesante el hecho de mejorar la rigidez vertical de la vía pero, parece ser, que no siempre es conveniente, rigidizarla demasiado. Así, la rigidez óptima viene dada por: el conjunto de elementos superpuestos: base (capa de forma y subbalasto), balasto, traviesa, fijación y carril; el tipo de tráfico, o tráficos, que circulen por la línea; y las características de los materiales inferiores, de tal forma que no es lo mismo un apoyo sobre suelos blandos que sobre roca.

Además, en el ámbito ferroviario, debido al tipo de cargas transmitidas y a su rigidez geométrica, es especialmente importante el estudio de las llamadas zonas de transición ante estructuras, cambio de plataformas, etc.

A día de hoy, en España, se están realizando pruebas con dos tipos de materiales para la formación de este subbalasto de mejores prestaciones: suelo estabilizado con cemento y mezclas asfálticas en caliente, siendo este último, el más desarrollado en los países de nuestro entorno.

En Japón, país de la alta velocidad ferroviaria por excelencia, se coloca una capa delgada de mezclas asfálticas sobre lo que sería una capa de subbalasto granular. Y en Italia, se coloca directamente, como capa de subbalasto, una capa de mezcla asfáltica en caliente. Los italianos vienen aplicando esta técnica de forma habitual desde los años setenta. Este último modelo es en el que ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias) se ha basado para considerar para su implantación en las nuevas líneas de Alta Velocidad españolas.

También hay experiencias recientes de aplicaciones de capas de subbalasto asfáltico en Gran Bretaña y en Francia. En Estados Unidos, en líneas de tráfico de mercancías, en los años 60, la compañía de ferrocarriles “*Santa Fé Railways*” decidió llevar a cabo unas pruebas con subbalasto asfáltico en un nuevo trazado destinado al transporte de carbón en Nuevo México. En 1969 entraron en servicio tres tramos experimentales incorporando respectivamente unos espesores de 63, 127, y 190 mm de subbalasto asfáltico bajo una capa de balasto de 254 mm de espesor y con un ancho de capa de 4,88 m.

Las mediciones obtenidas por la instrumentación colocada durante los dos primeros años y las muestras obtenidas después de 14 y 29 años en servicio comprobaron por un lado que las presiones transmitidas sobre la vía eran muy reducidas incluso en los tramos de menor espesor y por otro que la mezcla había sufrido un envejecimiento muy reducido en comparación con tramos similares de carretera. El buen comportamiento en servicio de estas secciones, así como el muy reducido mantenimiento de la calidad geométrica verificado en las mismas, llevaron a algunas compañías ferroviarias a plantear su utilización en el caso de secciones donde los problemas de mantenimiento eran frecuentes.

Los satisfactorios resultados obtenidos han propiciado que en Estados Unidos se adopte la solución de incorporar subbalasto asfáltico en líneas donde no se puede conseguir suficiente capacidad portante y en líneas con un drenaje deficiente. Se adopta también esta solución cuando se detecta presiones intersticiales y cuando se producen muy elevados esfuerzos de impacto en juntas, accesos a puentes y túneles o variaciones bruscas de rigidez vertical.

Es importante reseñar que, como ya se ha dicho, esta no es la única aplicación de las mezclas asfálticas en la construcción de líneas ferroviarias. Estas mezclas se pueden usar, además de en la construcción de capas de subbalasto, en la construcción de vía en placa sobre capas asfálticas directamente. Este modelo se ha desarrollado en Alemania, donde gran parte de la red ferroviaria se construyen mediante vía en placa, con el objeto de reducir costes y operaciones de mantenimiento.

ESTADO DE LA TÉCNICA EN ESPAÑA

Como ya se ha dicho, en España, el desarrollo e implantación de capas de mezclas asfálticas para la construcción de líneas ferroviarias está desarrollándose. En el año 2003, con el objeto de conocer mejor los distintos sistemas posibles para la vía en placa, se construyó un tramo de ensayo en la variante ferroviaria “Las Palmas de Castellón – Oropesa del Mar”, en el cual se estudiaron seis modelos diferentes: Edilon, Rheda Dywidag, Rheda 2000, Stedef, Getrac y ATD. De estos sistemas, los cuatro primeros se basan en losas de hormigón, y los dos últimos, de origen alemán, se basan en una placa soporte compuesta por un paquete de mezclas asfálticas, de modo similar a los pavimentos de carreteras.

Se emplearon, de abajo a arriba, 12 cm de mezcla S25, 8 cm de S20, 6 cm de D20 y 4 cm de D8. Se utilizó betún B 60/70, por tratarse de una zona térmica estival cálida y con un tipo de tráfico T1. En la capa superior se empleó cemento asfáltico modificado con polímeros.

Por parte de ADIF, en este momento, lo que se está estudiando es el subbalasto asfáltico de forma muy detallada, trabajando según las indicaciones del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Y, además, varias empresas especializadas en la fabricación de mezclas asfálticas están desarrollando, dentro de los Grupos de Trabajo de la Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA), las posibles aplicaciones de estas técnicas en la red ferroviaria española.

Ya se han construido capas de subbalasto asfáltico de forma experimental en algunos tramos. Tres tramos, uno en Cataluña y dos en Castilla y León, ya están contruidos, y debidamente instrumentados, para poder analizar su comportamiento en servicio. El subbalasto asfáltico que se está colocando consiste en un espesor de 12 cm. de mezcla asfáltica semidensa del tipo AC22 S, extendido en una o dos capas. En alguno de los tramos ya contruidos también se han colocado **mezclas densas, del tipo AC22 D**.

En paralelo, el ADIF ha encargado al CEDEX la instrumentación y seguimiento de estos tramos experimentales y, lo que es más importante y novedoso, la realización del estudio y modelización del comportamiento del subbalasto asfáltico mediante la realización de ensayos acelerados a escala real en la instalación del CEDEX, en el llamado Cajón, del Laboratorio de Geotecnia.



Foto 2: Cajón de ensayo de plataforma ferroviaria del CEDEX.

Se han caracterizado las curvas de fatiga del balasto para 1,5 Millones de ejes con simulaciones del paso de trenes a 300 y 360 km/h mediante la adquisición de datos de sensores externos (tres equipos de rayos láser) y sensores internos (tres extensómetros de varilla). Se ha realizando la modelización en 3-D del comportamiento estático y dinámico del cajón. Y se han instrumentando las partículas de balasto con acelerómetros 3-D. Este ensayo a escala real, contrastado con los datos que se están obteniendo en los tramos ejecutados, es el más avanzado tecnológicamente, a día de hoy, a nivel mundial.

De esta forma, podrá evaluarse el comportamiento de todos los elementos de la vía, tanto por debajo como por encima de la capa de subbalasto, ante el paso de circulaciones ferroviarias de alta velocidad, cuya particularidad reside en las grandes cargas que se transmiten y, de forma especial, en el carácter dinámico de dichas cargas.

VENTAJAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

El empleo de mezclas asfálticas en la capa de subbalasto permite un mejor desempeño de las funciones que esta capa tiene asignadas dentro del diseño de la plataforma ferroviaria. Estas funciones son:

- Impedir la infiltración del agua procedente de las lluvias hacia las zonas inferiores (rellenos y desmontes).
- Reducir la transmisión de las cargas a la capa de forma y zonas inferiores.
- Proteger estas zonas de la climatología: heladas, hielo-deshielo, etc.
- Amortiguar y absorber la energía de las cargas estáticas y dinámicas transmitidas por los trenes en circulación.
- Evitar la contaminación por finos del balasto.



Foto 3: Subbalasto asfáltico extendido en uno de los tramos experimentales.

Al cumplir con estas funciones, las ventajas, en función de las necesidades, podrían ser las siguientes:

- Se puede reducir la altura total de la estructura, reduciéndose también el volumen de toneladas de agregados empleados. Diversos estudios realizados demuestran la posibilidad de conseguir disminuciones en los espesores de la capa de subbalasto al ser sustituida por mezcla asfáltica y con ello el consumo de áridos, que puede llegar incluso al 40%. Entre estos estudios se encuentra el realizado por Asphalt Institute, en el que se desprende que a la hora de introducir subbalasto asfáltico, en lugar de subbalasto granular, el espesor requerido por parte del subbalasto granular (es muy superior al espesor del subbalasto asfáltico).
- El empleo de subbalasto asfáltico permite también la reducción del balasto necesario en la construcción, así como sus ciclos de revestimiento necesarios, principalmente debido a la diferencia entre pendientes existente entre una capa de subbalasto granular y otra asfáltica, pudiendo alcanzarse ahorros de balasto de hasta el 5%.
- Otra de las grandes ventajas durante el proceso de construcción es que la maquinaria de obra puede circular sobre la capa al poco tiempo de su extendido, sin afectar al subbalasto. Además, si se produce un tiempo de espera entre la

finalización de la capa de subbalasto y la colocación del balasto, las traviesas y el carril, la mezcla asfáltica no se va a ver afectada por las inclemencias meteorológicas ni por el paso posterior de la maquinaria pesada de obra para la colocación de los demás elementos de la vía, aspectos difíciles de evitar con la solución de subbalasto granular, lo que es fuente de patologías posteriores, al alterarse la geometría y homogeneidad de la capa y provocar la retención de agua infiltrada por el balasto.

Entre las ventajas que se pueden plantear para la capacidad estructural de la vía, así como también para un menor coste de mantenimiento y de explotación de la vía se pueden destacar las siguientes:

- Se produce una mejor impermeabilización de las capas inferiores, mejorando el drenaje, pudiendo prevenir posibles contaminaciones de la estructura por los finos de las capas granulares.
- Se mejora la capacidad portante y la resistencia a las deformaciones verticales, contribuyendo de manera positiva a la compactación, mejorando la estabilidad de la capa y contribuyendo a una geometría que no se ve alterada. Por lo tanto, uno de los aspectos a tener en cuenta es la rigidez vertical que aumenta con las líneas de alta velocidad. Para mantenerla es necesario conseguir que las capas de forma sean más flexibles para poder mantener todo el conjunto entre los valores exigidos.
- Durante la explotación, es muy importante considerar la durabilidad del balasto, ya que es uno de los costes de mantenimiento de la vía muy importante. Pues bien, se produce una mayor durabilidad del balasto debido a su confinamiento por la capa de mezcla asfáltica, que al proporcionar un mayor módulo produce una reducción de la tensión de corte del balasto, con la consiguiente menor fatiga y, por lo tanto, menor degradación y desgaste de las partículas de árido. También se alarga la vida del balasto debido a la reducción de la posible contaminación del mismo con los finos procedentes de la plataforma, reduciéndose también la limpieza y reposición del balasto, así como su nivelación y bateo.
- Otra característica importante derivada del empleo de las mezclas bituminosas como subbalasto es, en general (depende de la frecuencia de vibración) la reducción del ruido y las vibraciones, debido a las propiedades mecánicas de la capa asfáltica.
- El subbalasto asfáltico permite que se mantenga mejor y durante más tiempo la geometría de la vía. A ello contribuye eficazmente la total eliminación del riesgo de contaminación del balasto con finos procedentes de la capa de subbalasto. Además, debido a que el subbalasto asfáltico está protegido de los efectos generados por los cambios de temperatura y las radiaciones ultravioleta, sus características se van a mantener prácticamente inalteradas a lo largo del tiempo.

Se obtiene una mayor durabilidad de la vía, reduciendo los costes de mantenimiento por el menor desgaste y mayor vida a fatiga tanto en la superestructura (traviesas, placas de asiento, balasto, carril...) como en la infraestructura.

- Se aumenta la velocidad y seguridad en las operaciones, reduciendo la resistencia del tren al paso por la vía y su consumo de combustible, a la vez que se tiene una

mayor disponibilidad de uso, debido a la reducción de las labores de mantenimiento y los cierres de vía asociados.

- Se reduce el desgaste del material móvil, así como su reparación durante la fase de explotación de la infraestructura.

CONCLUSIONES

Siendo esta una aplicación que, a día de hoy, no supone un volumen apreciable dentro del mercado de las mezclas asfálticas en ningún país del mundo, desde el punto de vista de los autores, en España y en muchos otros países del ámbito del CILA, presenta unas perspectivas muy interesantes debido a las previsiones de inversión en infraestructuras para los próximos años.

En el caso del subbalasto asfáltico, se puede estimar el consumo de mezclas asfálticas para líneas de alta velocidad ferroviaria en 4.200 t/km. Como ya se ha expuesto, el empleo de este tipo de subbalasto implicaría numerosas ventajas de tipo técnico, económico y medioambiental.

No obstante, los temas analizados aún están pendientes de ser desarrollados y comprobados. Y, además, en opinión de los autores, los trabajos a desarrollar no deben quedarse en el modelo actual sino que, aprovechando el estado tan avanzado de la tecnología de las mezclas asfálticas, se deberían estudiar muchos aspectos complementarios:

- Las posibilidades de combinación de secciones en función de las características del material en las capas inferiores, los distintos tipos de mezclas asfálticas disponibles y la posibilidad de variación de espesores de subbalasto.
- La posibilidad de introducir mejoras medioambientales: mezclas bituminosas en frío, templadas, semicalientes (WMA), altas tasas de reciclado (RAP), etc.
- Las ventajas que puede suponer el empleo de mezclas especiales para mejorar prestaciones puntuales. Por ejemplo, la posibilidad de emplear mezclas con betún-caucho en zonas donde sea necesario reducir el ruido o las vibraciones (poblaciones, estructuras, etc.).
- El diseño de capas asfálticas especializadas, similar al de los pavimentos de carreteras, de tal forma que se puedan combinar distintas capas con diferentes exigencias estructurales/funcionales (permeabilidad, resistencia, etc.).
- El desarrollo de una normativa específica que garantice las prestaciones que necesitan estos materiales para estas aplicaciones. No se debe olvidar que toda la normativa de aplicación en la mayor parte de los países del CILA viene dada por su aplicación en pavimentos de carreteras, de tal forma que hay especificaciones que en estos casos carecen de sentido y otras que convendría incorporar (Ej.: punzonamiento del balasto).

REFERENCIAS

- ADIF – Administrador de Infraestructuras Ferroviarias: Plan de I+D+i 2007-2010. Dirección de Innovación Tecnológica. Febrero de 2007.
- ASEFMA – Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas. Monografía 13: Mezclas bituminosas en la construcción de líneas ferroviarias. Madrid, 2013.
- Bitume.info: Ligne á Grande Vitesse Est – Sos les rails, le bitume. París, octubre de 2005.
- Buonanno, A., Mele, R.: The use of bituminous mix sub-ballast in the Italian State Railways. Euraspphalt & Eurobitume Congress. Barcelona, 2000.
- CEDEX – Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas: Memorias años 2006, 2007 y 2008. Laboratorio de Geotecnia. Madrid.
- Deddens, T.: HMA Underlayments Solve Railroad Maintenance Issues. Asphalt Institute. EE.UU., 2002.
- EAPA (European Asphalt Pavement Association): Asphalt in Railway Tracks. Holanda, 2003.
- Fonseca, P.: Vía sobre subbalasto bituminoso como opción a tener en cuenta para futuras líneas de alta velocidad de España. I Jornadas Internacionales sobre Nuevas Tecnologías y Técnicas Constructivas en el sector ferroviario. Bilbao, 2007.
- Hensley, M.J., Rose, J.G.: Design, Construction and Performance of Hot Mix Asphalt for Railway Trackbeds. 1st World Conference of Asphalt Pavements. Sydney (Australia).
- Huang, Y.H., Lin, C. y Deng, X.: Hot Mix Asphalt for Railroad Trackbeds – Structural Analysis and Design. EE.UU., 1999.
- Langley, G., et al.: Protecting railway sub-grade with a reinforced bituminous geomembrane. EE.UU., 2002.
- López Pita, A. et al.: Nuevas tendencias en el proyecto de infraestructuras ferroviarias: la utilización de materiales bituminosos como subbalasto. X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Valencia, 2006.
- López Pita, A., Fonseca, P.: Track-vehicle interaction on very high-speed lines. STECH'03 Conference on Speed-up and Service Technology for Railway and Maglev System. Tokio (Japón), 2003.
- Mittal, A.V., Maurya, S.K.: Ballast Specification for High Axle Load (32,5 t) and High Speed (≥ 250 kmph). Indian Railways, 2007.
- Peña, M.: Tramos de ensayo de vía en placa en la línea del Corredor Mediterráneo para su explotación a Alta Velocidad. Revista de Obras Públicas, nº 3.431. Marzo de 2003.
- SAMPEDRO, A., AINCHIL, J.P., LUCAS, F.J.: Subbalasto bituminoso. Comunicación V Jornada Nacional ASEFMA 2010. Madrid, mayo de 2010.

