

SUB-BALASTRO BETUMINOSO NO PROJECTO DE FERROVIAS.

Francisco Lucas¹, Emílio Moreno², Hélio Nunes³

¹ Repsol Lubricantes y Especialidades, Mendez Alvaro, Madrid, Espanha

² Centro de Tecnología Repsol, A-5, km 18 28931 Móstoles, Madrid, Espanha

³ Repsol Portuguesa, Av. José Malhoa nº16, 1099-091 Lisboa, Portugal

email: hnunes@repsol.com

Sumário

De entre os últimos avanços na tecnologia para o transporte ferroviário de alta velocidade, em Espanha, está o planeamento de novas secções estruturais para a formação de plataformas baseadas em materiais de melhor desempenho, frente à solução tradicional baseada no emprego de materiais granulares.

Entre estas técnicas, cabe destacar, pelo seu interesse para o sector das misturas asfálticas, a substituição do sub-balastro granular por sub-balastro betuminoso. O objectivo do presente artigo é expor o estado da técnica nos países envolventes e a sua situação actual em Espanha.

Palavras-chave: Sub-balastro betuminoso, ferrovias, alta velocidade, mistura betuminosa.

1 INTRODUÇÃO

De entre os últimos avanços na tecnologia para o transporte ferroviário de alta velocidade, em Espanha, está o planeamento de novas secções estruturais para a formação de plataformas baseadas em materiais de melhor desempenho, frente à solução tradicional baseada no emprego de materiais granulares.

Entre estas técnicas, cabe destacar, pelo seu interesse para o sector das misturas asfálticas, a substituição do sub-balastro granular por sub-balastro betuminoso. O objectivo do presente artigo é expor o estado da técnica nos países envolventes e a sua situação actual em Espanha.

Em Espanha, apesar do seu desenvolvimento estar a um ritmo reduzido, já se está a estudar esta solução e já se planearam alguns troços, de forma experimental. O sub-balastro betuminoso começou a ser aplicado em vias férreas de alta velocidade, com maior incidência nas vias de alta velocidade italianas. Esta camada dispõe de uma espessura de 12-14 cm, de mistura betuminosa semi-densa do tipo AC22 S.

A adopção de uma solução estrutural baseada no sub-balastro betuminoso para infra-estruturas ferroviárias de alto desempenho apresenta numerosas vantagens (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), tanto ao nível de comportamento da infra-estrutura, como de construção e manutenção da mesma.

Além disso, segundo os estudos realizados até ao momento, a técnica do sub-balastro betuminoso será vantajosa do ponto de vista da sustentabilidade (Buonanno, A., Mele, R.: *The use of bituminous mix sub-ballast in the Italian State Railways*. Eurasphalt & Eurobitume Congress, Barcelona, 2000) comparativamente a outras alternativas como a estrutura convencional balastro e sub-balastro granular ou a via em placa.

Não obstante, também ficam pendentes de melhorar e desenvolver alguns aspectos que serão expostos posteriormente. Mas esta não é a única possibilidade de utilização de misturas asfálticas em linhas férreas. Para o caso da via em placa também é aplicável este tipo de materiais, com experiências validadas em países do Norte

da Europa. Em Espanha apenas se realizaram algumas experiências pontuais. Isto deveu-se, fundamentalmente, à escassa implantação, até à data, deste tipo de via.

No entanto, há que referir que actualmente se encontra em fase de estudo a adopção de via em placa em algumas das novas linhas ferroviárias de alta velocidade no Norte de Espanha.

2 A VIA DE ALTA VELOCIDADE

A estrutura de uma via ferroviária de alta velocidade é o resultado da sobreposição das camadas de assentamento e elementos de via que, apoiados sobre a plataforma, determinam o seu comportamento estrutural face a cargas dinâmicas a que são submetidas durante a sua colocação em serviço.

As camadas de assentamento equivalem ao conceito de pavimento em estradas. São constituídas, de baixo para cima, pela camada de forma, o sub-balastro e o balastro, para o caso da via em balastro, ou uma combinação de camadas, mais ou menos rígidas, para o caso da denominada via em placa.

A eleição do tipo de camadas a dispor nas camadas de assentamento é determinada por muitos aspectos:

- O comportamento da infra-estrutura, tanto em escavações como em aterros, ao protege-la das cargas, de contaminações, da água, etc. A circulação ferroviária de alta velocidade transmite cargas dinâmicas muito importantes, o que se traduz numa combinação de tensões verticais e vibrações muito fortes.
- A possibilidade ou não de poder permitir sobre a camada de sub-balastro a circulação de obra e os trabalhos para a colocação da superestrutura ferroviária (sinalização, canalizações, etc.). Este aspecto é muito importante pois, habitualmente, os contratos de construção de linhas separam-se entre Plataforma (até sub-balastro inclusive) e Superestrutura, de tal forma que é frequente que o tráfego de obra deteriore a camada de sub-balastro e obrigue à sua reparação prévia antes de se proceder à aplicação do balastro, conforme observável na figura seguinte.



Figura 1. Trabalhos sobre camada de sub-balastro granular.

- O comportamento dos elementos que são apoiados por cima: camada de balastro e via (travessa, fixação e carril). Este aspecto também é fundamental, pois as vias ferroviárias de alta velocidade necessitam de intervenções contínuas de manutenção para a recompactação e reposição do balastro, e para o restabelecimento geométrico da via, as quais impõem, além de um grande custo, uma necessidade de ocupação noturna em algumas destas linhas.

Estes factores tornam inviável a sua compatibilidade com a passagem de outros tráfegos (Ex.: mercadorias) durante noite. Esta é precisamente uma das vantagens que apresenta o sistema de via em placa frente à via em balastro, e é o que está a incentivar o estudo da possibilidade de adopção em algumas linhas espanholas.

- Para o caso da *via em placa*, esta camada suportaria uma sub-base ou camada inferior, a qual deve constituir um suporte estável e homogêneo para a camada superior, da mesma forma que sucede nos pavimentos rígidos de betão nas estradas.

Desta forma, pode entender-se a importância que tem a camada de sub-balastro tanto no que se refere ao comportamento da infra-estrutura, como no referente ao comportamento da superestrutura, determinando aspectos relativos à durabilidade, necessidades de conservação e desempenho do transporte ferroviário.

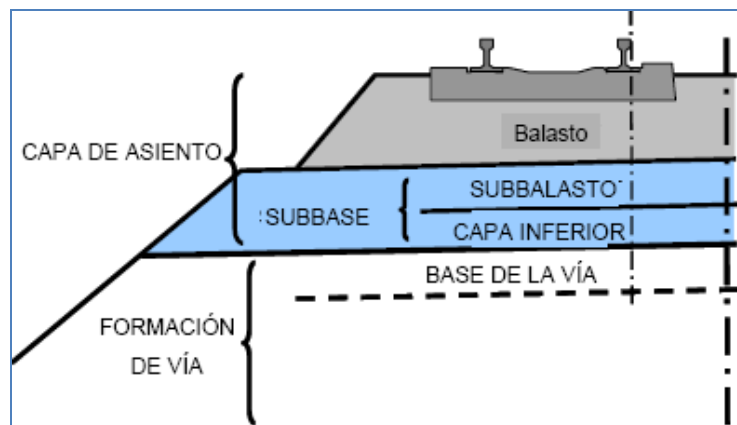


Figura 2. Esquema das camadas para a formação da via em balastro.

Fonte: Fonseca, P., *Vía sobre subbalastro 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.

3 O SUB-BALASTRO BETUMINOSO

A utilização de camadas de sub-balastro com materiais de melhor desempenho que as camadas granulares, empregues até agora, melhora o comportamento estrutural da plataforma ferroviária.

Para além disso, permite substituir uma camada de sub-balastro granular de 30 cm por uma camada de sub-balastro betuminoso de 12-14 cm o que implica, à partida, uma enorme poupança de material e transporte. A redução estimada de volume de agregados necessários situa-se próxima dos 40 por cento.

Assim, quando aplicado sobre o sistema de via em balastro, o uso de sub-balastro betuminoso confere à via um desempenho que permite que se possa falar de um tipo de via que se poderia considerar como misto, situado entre a via em balastro e a via em placa. Esta solução, bem planeada e otimizada, podia abarcar as vantagens de ambos os tipos de vias, e evitar grande parte dos seus inconvenientes.

É muito interessante o resultado de melhoria da rigidez vertical da via mas, aparentemente, nem sempre é conveniente enrijece-la demasiado. A rigidez óptima é dada por:

- O conjunto de elementos sobrepostos: base (camada de forma e sub-balastro), balastro, travessa, fixação e carril.
- O tipo de tráfego, ou tráfegos, que circulem pela linha.
- As características dos materiais inferiores, de tal forma que não é o mesmo considerar um apoio sobre solos brandos, que sobre rocha.

- No âmbito ferroviário, devido ao tipo de cargas transmitidas e a sua rigidez geométrica, é especialmente importante o estudo das denominadas zonas de transição como estruturas, mudança de plataformas, etc.

Hoje em dia, em Espanha, estão-se a realizar provas com dois tipos de materiais para a constituição deste sub-balastro de melhor desempenho: solo-cimento e misturas betuminosas a quente, sendo esta última, a mais desenvolvida nos países envolventes.

No Japão, o país da ferrovia de alta velocidade por excelência, coloca-se uma camada delgada de misturas betuminosas sobre o que seria uma capa de sub-balastro granular. Em Itália, coloca-se directamente, como camada de sub-balastro, uma camada de mistura betuminosa a quente. Os italianos têm aplicado esta técnica de forma habitual desde os anos setenta.

Este último modelo é o que a ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias) está a considerar para implantação nas novas linhas de Alta Velocidade espanholas.

Também há experiências recentes de aplicações de camadas de sub-balastro betuminoso no Reino Unido e em França. Neste último, construiu-se um troço experimental na Linha Paris–Estrasburgo, onde se empregou uma espessura de 14 cm de grave-emulsão que, pressupôs uma poupança de 5.000 metros cúbicos de material por quilómetro de linha.

É importante ressaltar que, como já se comentou, esta não é a única aplicação das misturas asfálticas na construção de linhas ferroviárias. Estas misturas podem usar-se, não apenas na construção de camadas de sub-balastro, mas também na construção de **via em placa sobre camadas asfálticas** directamente. Este modelo foi desenvolvido na Alemanha, onde grande parte da rede ferroviária se constrói do tipo via em placa, com o objectivo de reduzir custos e operações de manutenção.

Nos Estados Unidos também há experiências de aplicação de misturas betuminosas em camadas de sub-balastro e via em placa (Deddens, T., *HMA Underlayments Solve Railroad Maintenance Issues*. Asphalt Institute. E.U.A., 2002). Utilizam-se em camadas de sub-balastro, em linhas férreas, tanto de alta velocidade como de tráfego elevado de mercadorias, especialmente em zonas sobre terrenos brandos; e para o caso de via em placa em túneis e passagens superiores, nos quais se pretende amortecer as vibrações que se possam transmitir da passagem dos comboios.

Outra aplicação que se realizou em linha férreas americanas foi o emprego de **geomembranas betuminosas** para o reforço da plataforma aquando do atravessamento de solos brandos (Langley, G., et al., *Protecting railway sub-grade with a reinforced bituminous geomembrane*, E.U.A., 2002). Nestes casos, realizou-se uma estabilização do terreno natural, *in situ*, com cal, colocando-se por cima este tipo de geomalha.

4 ESTADO DA TÉCNICA EM ESPANHA

Como já referido, em Espanha, o desenvolvimento e implantação de camadas de misturas asfálticas para a construção de linhas férreas encontra-se a um ritmo reduzido.

No ano de 2003, com o objectivo de conhecer melhor os distintos sistemas possíveis para a via em placa, construiu-se um troço de prova na variante ferroviária “Las Palmas de Castellón – Oropesa del Mar”, na qual se estudaram seis modelos diferentes: *Edilon*, *Rheda Dywidag*, *Rheda 2000*, *Stedef*, *Getrac* e *ATD*.

Destes sistemas, os quatro primeiros baseiam-se em lajes de betão e, os dois últimos, de origem alemã, baseiam-se numa placa de suporte composta por um conjunto de misturas betuminosas, de modo similar aos pavimentos de estradas.

Utilizaram-se, de baixo para cima, 12 cm de mistura S25, 8 cm de S20, 6 cm de D20 e 4 cm de D8. Recorreu-se a betume 50/70, por se tratar de uma zona térmica quente e com um tipo de tráfego T1. Na camada superior, foi utilizado betume modificado com polímeros.

Este troço experimental foi construído pela *Dirección General de Ferrocarriles del Ministerio de Fomento* e, desde então, não se tiveram notícias nem dos resultados obtidos nem da continuidade na investigação e desenvolvimento destes sistemas.



Figura 3. Posicionamento das travessas no sistema ATD.

Por parte da ADIF, neste momento, está-se a estudar o **sub-balastro betuminoso** de forma muito detalhada, baseado no modelo de *ITALFERR* para vias de alta velocidade em Itália.

Já se planeou a construção de camadas de sub-balastro betuminoso de forma experimental nalguns troços. Dois troços, um na Catalunha e outro em Castela e Leão, já estão construídos, e devidamente instrumentados, para poder analisar o seu comportamento em serviço. E, actualmente, há um outro troço em obras, também em Castela e Leão, onde está prevista a sua execução.

O sub-balastro betuminoso que está a ser colocado, baseado no modelo italiano, consiste numa espessura de 12-14 cm de mistura betuminosa semi-densa do tipo **AC22 S**, aplicado em duas camadas. Nalguns dos troços já construídos também foram aplicadas misturas densas, do tipo **AC22 D**.

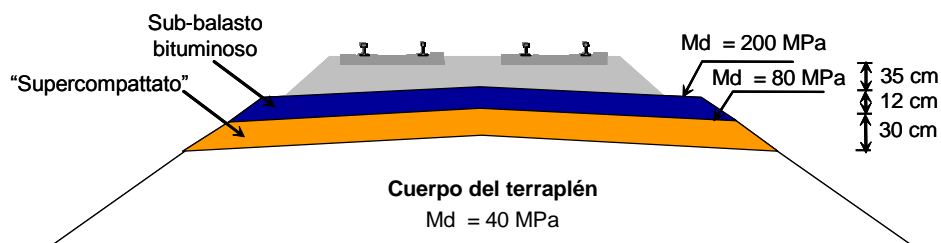


Figura 4. Estrutura tipo de linhas férreas alta velocidade em Itália.

Fonte: Buonanno, A., Mele, R., *The use of bituminous mix sub-ballast in the Italian State Railways*. Eurasphalt & Eurobitume Congress, Barcelona, 2000.

Em paralelo, a ADIF contratou ao CEDEX a instrumentação e o seguimento destes troços experimentais e, o que é mais importante e inovador, a realização do estudo e modelização do comportamento do sub-balastro betuminoso mediante a realização de ensaios acelerados à escala real nas instalações do CEDEX, no denominado *Caixão*, do Laboratório de Geotecnia.

Estão-se a caracterizar as curvas de fadiga do balastro para 1,5 milhões de eixos com simulações de passagem de comboios a 300 e 360 km/h através da aquisição de dados de sensores externos (três equipamentos de raios laser), da modelização em 3-D do comportamento estático e dinâmico do caixão e da instrumentação de partículas de balastro com acelerómetros 2-D e 3-D.

Este ensaio à escala real, comparado com os dados que estão a ser obtidos nos troços executados, corresponde ao mais avançado tecnologicamente, presentemente, a nível mundial.

Desta forma, poderá avaliar-se o comportamento de todos os elementos da via, tanto por abaixo como acima da camada de sub-balastro, perante a passagem de circulações ferroviárias de alta velocidade, cuja particularidade reside nas grandes cargas que se transmitem e, de forma especial, no carácter dinâmico das ditas cargas.



Figura 5. Caixão de ensaio de plataformas ferroviárias do CEDEX.

5 VANTAGENS DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

Apesar de, como já referido anteriormente, o emprego de sub-balastro betuminoso estar pendente do desenvolvimento e aplicação, podem-se antecipar algumas vantagens que o seu uso pode associar comparativamente às soluções convencionais, baseada na experiência noutros países.

A utilização de misturas betuminosas na camada de sub-balastro permite um melhor desempenho das funções que esta camada tem atribuídas dentro do projecto da plataforma ferroviária. Estas funções são:

- Impedir a infiltração das águas pluviais para as zonas inferiores (aterros e escavações).
- Reduzir a transmissão das cargas à camada de forma e zonas inferiores.
- Proteger estas zonas de agentes atmosféricos: geadas, gelo-degelo, etc.

- Amortecer e absorver a energia das cargas estáticas e dinâmicas transmitidas pelos comboios em circulação.
- Evitar a contaminação do balastro por finos.



Figura 6. Sub-balastro betuminoso aplicado num dos troços experimentais.

Ao cumprir com estas funções, as vantagens, em função das necessidades, poderiam ser as seguintes:

- Melhoria da capacidade estrutural da plataforma, o que se traduziria num melhor comportamento de todas as partes e elementos da infra-estrutura.
- Maior durabilidade da plataforma face às deformações verticais produzidas pelas cargas.
- Melhores condições de drenagem, pois a mistura betuminosa protegeria da entrada de água nos aterros e nos fundos das escavações.
- Melhor comportamento da infra-estrutura perante as acções do clima, pois exerce uma protecção mais eficaz.
- Maior estabilidade do balastro e via, o que reduziria drasticamente as operações e gastos de conservação.
- Redução do ruído e vibrações produzidas pela passagem regular dos comboios.
- Melhores condições de construção pois, como já mencionado, o coroamento da plataforma com sub-balastro betuminoso apresentaria muitas vantagens do ponto de vista de organização e qualidade nas obras ferroviárias.

Face aos resultados obtidos até à data, estas vantagens podem conseguir-se, sempre e quando se realize um correcto projecto da plataforma e dos restantes elementos que compõem o sistema.

6 CONCLUSÕES

Sendo esta uma aplicação que, actualmente, não envolve um volume considerável no mercado das misturas asfálticas em nenhum país do mundo, do ponto de vista dos autores, em Espanha, apresenta umas perspectivas muito interessantes devido às previsões de investimento em infra-estruturas para os próximos anos.

No caso do sub-balastro betuminoso pode-se estimar um consumo de misturas betuminosas de 4.200 t/km nas linhas férreas de alta velocidade. Como já exposto, o uso deste tipo de sub-balastro implicaria numerosas vantagens de índole técnico, económico e sobre o meio ambiente.

Não obstante, os temas analisados ainda carecem de serem mais desenvolvidos e comprovados. E, para além disso, na opinião dos autores, os trabalhos a desenvolver não devem restringir-se ao “modelo italiano”, mas, aproveitando o estado actual tão avançado da tecnologia das misturas asfálticas, se deveriam estudar muitos aspectos complementares, a saber:

- As possibilidades de combinação de secções em função das características dos materiais nas camadas inferiores, os distintos tipos de misturas betuminosas disponíveis e a possibilidade de variação de espessuras do sub-balastro.
- A possibilidade de introduzir melhorias do ponto de vista ambiental: misturas betuminosas a frio, temperadas, semi-quentes, altas taxas de reciclado, etc.
- As vantagens que pode supor o uso de misturas especiais para melhorarem prestações pontuais. Por exemplo, a possibilidade de recorrer a misturas com betume com borracha em zonas onde seja necessário reduzir o ruído ou as vibrações (povoações, estruturas, etc.).
- A formulação de camadas asfálticas especiais, similares às dos pavimentos de estradas, de tal forma que se possam combinar distintas camadas com diferentes exigências estruturais/funcionais (permeabilidade, resistência, etc.).
- O desenvolvimento de normativa específica que garanta as prestações que necessitam estes materiais para estas aplicações. Não deve ser esquecido que toda a normativa de aplicação em Espanha decorre da aplicação em pavimentos de estradas, de tal forma que há especificações que nestes casos carecem de sentido e outras que conviria incorporar (Ex.: punçamento do balastro).

E, por último, apesar de não ser objecto da presente comunicação, os autores também querem corroborar que outro dos aspectos interessantes a desenvolver seria o tema, já citado, dos diferentes sistemas de via em placa baseados em camadas de misturas betuminosas.

7 REFERÊNCIAS

- ADIF – Administrador de Infraestructuras Ferroviarias: *Plan de I+D+i 2007-2010*. Dirección de Innovación Tecnológica, Madrid, 2007.
- Bitume.info: *Ligne à Grande Vitesse Est – Sos les rails le bitume*, París, 2005.
- Buonanno, A., Mele, R., *The use of bituminous mix sub-ballast in the Italian State Railways*. Euroasphalt & Eurobitume Congress, Barcelona, 2000.
- CEDEX – Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas: *Memorias años 2006, 2007 y 2008*, Laboratorio de Geotecnia, Madrid, 2008.
- Deddens, T., *HMA Underlayments Solve Railroad Maintenance Issues*, Asphalt Institute, E.U.A., 2002.
- EAPA (European Asphalt Pavement Association), *Asphalt in Railway Track*, 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, 2000.
- Huang, Y.H., Lin, C. y Deng, X., *Hot Mix Asphalt for Railroad Trackbeds – Structural Analysis and Design*, E.U.A., 1999.
- Langley, G., et al., *Protecting railway sub-grade with a reinforced bituminous geombrane*, E.U.A., 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, València, 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, Tóquio, 2003.
- Mittal, A.V., Maurya, S.K., *Ballast Specification for High Axle Load (32,5 t) and High Speed (≥ 250 kmph)*, Indian Railways, Nova Deli, 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, Madrid, 2003.