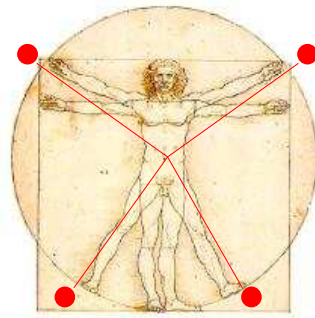


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

VOLUMEN XI. AÑO 2013

SEPARATA



EXPERIENCIA ESTADOUNIDENSE CON EL SUBBALASTO BITUMINOSO Y
POSIBLE IMPLANTACIÓN EN LÍNEAS DE ALTA CARGA DE TRÁFICO

Juan Antonio Villaronte Fernández-Villa



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO
Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Juan Antonio Villaronte Fernández-Villa
Junio, 2013.

<http://www.uax.es/publicacion/experiencia-con-el-subbalasto-bituminoso-y-posible-implantacion-en-lineas.pdf>

© De la edición: *Revista Tecnol@ y desarrollo*
Escuela Politécnica Superior.
Universidad Alfonso X el Sabio.
28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).
ISSN: 1696-8085

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

Tecnol@ y desarrollo. ISSN 1696-8085. Vol. XI. 2013

EXPERIENCIA ESTADOUNIDENSE CON EL SUBBALASTO BITUMINOSO Y POSIBLE IMPLANTACIÓN EN LÍNEAS DE ALTA CARGA DE TRÁFICO

Juan Antonio Villaronte Fernández-Villa

Ingeniero de Caminos Canales y Puertos
Universidad Alfonso X el Sabio

ADIF, 91 506 65 67,javillaronte@adif.es.

RESUMEN:

La experiencia en Estados Unidos, donde la carga por eje de los trenes de mercancías es de 33 toneladas por eje, en referencia al comportamiento de la plataforma ferroviaria constituye una valiosa experiencia para el diseño de nuevas plataformas ferroviarias de alta carga de tráfico de mercancías. Este hecho resulta muy interesante dado que en Europa cada vez la competencia entre los diferentes modos de transporte terrestres es más elevado, lo que obliga a disponer de trenes con más capacidad y mayor longitud. Los costes de mantenimiento de la infraestructura se disparan en estos casos, además de reducir considerablemente la vida útil de la vía, por lo que es necesario buscar otras soluciones para la plataforma, diferente de las tradicionales capas de subbalasto granular. Se puede ver en este artículo que la utilización de subbalasto bituminoso ha aumentado en más del doble la vida útil de la plataforma en un país donde el grado de fatiga a la que se somete esta, es probablemente, la mayor del mundo. Se analiza en este artículo el comportamiento de esta plataforma tanto desde el punto de vista empírico como mediante la modelización obtenida con el programa Kentrack, diseñado expresamente para estudiar este tipo de plataforma. Por último, se indica la posible utilización en la red ferroviaria española.

PALABRAS CLAVE: Vía, Fatiga, Subbalasto bituminoso, Mercancías.

ABSTRACT:

The experience acquired in the US , where axle load for goods transportation trains is 33Tn/axle, in the field of railways platforms performance is a valuable experience in order to design new heavy traffic railways infrastructures for goods transportation. This fact gets special significance giving the increasing rivalry among different ground transportation options happening in Europe, that forces to get longer and more loaded freight trains each time. As a consequence, infrastructure maintenance costs raise and tracks lifespan shrinks, what leads to seek for other solutions different from classic granular subballast layers. As shown in this article, the use of bituminous subballast layers has doubled platform lifespan in the country with probably the highest infrastructure fatigue stress levels in the world. This article analyses both empirically and through Kentrack program calculations (Specially designed to study this specific type of platform) this platform set-up performance. The article also studies its possibilities for the spanish railways net.

KEY-WORDS: Track, Fatigue, Bituminous subballast, Freight.

<http://www.uax.es/publicacion/experiencia-con-el-subbalasto-bituminoso-y-posible-implantacion-en-lineas.pdf>

SUMARIO: 1. Introducción 2. Implantación del subbalasto bituminoso en las líneas norteamericanas. 3. Conclusiones 4. Bibliografía

1. Introducción.

Las exigencias en el tráfico de mercancías por ferrocarril requieren, 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 trenes de 750 metro. 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 norteamericanas.

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 Norteamérica se ha establecido una sección con subbalasto bituminoso que se estudia en este artículo y que podría ser de interés para su implantación en líneas ferroviarias de alta carga de tráfico.

2. Implantación del subbalasto bituminoso en las líneas norteamericanas.

La sección tipo utilizada en Estados Unidos, como en el resto de administraciones, ha sido tradicionalmente una sección en la que, tanto las capas de fundación como la capa de subbalasto están constituidas por materiales granulares. En los años 60 la compañía de ferrocarriles “Santa Fé Railways” decidió llevar a cabo unas pruebas con subbalasto bituminoso 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 bituminoso bajo una capa de balasto de 254 mm de espesor y con un ancho de capa de 4,88.

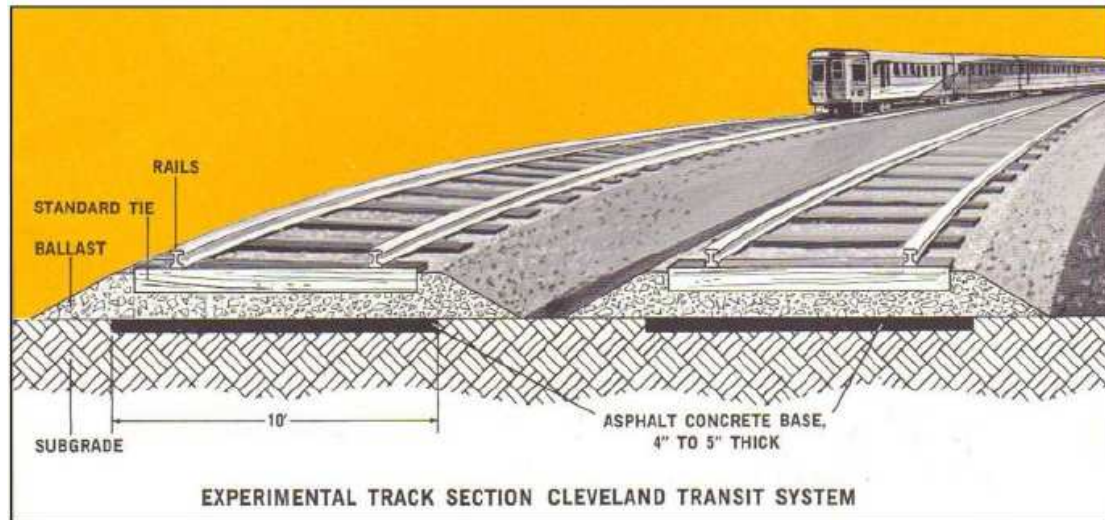


Fig.1 Sección experimental de 1969 (Fuente: J. G. Rose 2009)

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 con plataforma tradicional.

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.

En 1985 la Union Pacific incorporó un subbalasto bituminoso en una sección de un importante cruce de líneas en Kansas City verificándose al cabo de 5 años que la línea no necesitaba ser renovada mientras que, con una estructura tradicional, necesitaba renovarse cada año y medio. Esta experiencia llevó en el año 2002 a construir una capa de subbalasto bituminoso para estabilizar los suelos de una plataforma de reducida calidad a lo largo de la vía de Sands Hill en Nebraska. En 1994 la empresa BNSF incorporó una capa de subbalasto bituminoso en su línea de alta capacidad transcontinental. Un análisis económico de viabilidad llevado a cabo por esta compañía comprobó la mayor rentabilidad de esta solución frente a la incorporación de capas granulares.

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

Sección tipo.

Como se comentó anteriormente la sección tradicional adoptada por los ferrocarriles estadounidenses es de subbalasto granular conforme se aprecia en la figura 2.

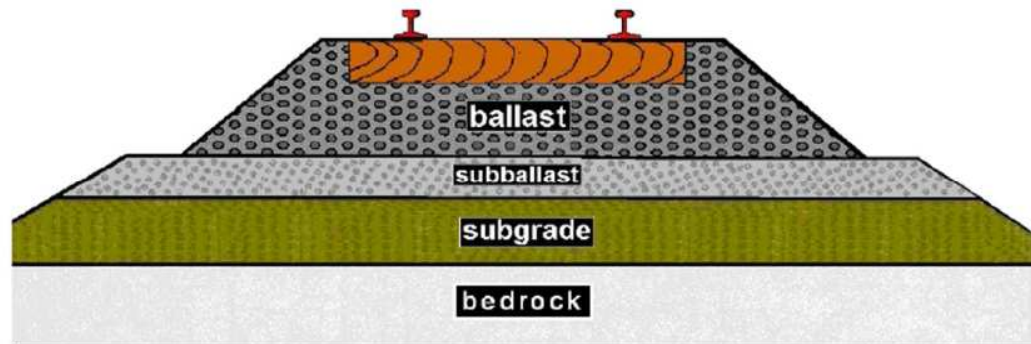


Fig. 2 Sección tipo estadounidense con subbalasto granular (Fuente: J. G. Rose 2009)

Frente a esta sección se han adoptado diferentes secciones con subbalasto bituminoso, todas ellas con un espesor mínimo de balasto es de 12,5 cm. El valor más habitual se sitúa entre 12,5 y 25 cm, y en algunos casos puede alcanzar entre 40 y 60 cm, aunque existe una tipología de sección en la que la traviesa apoya directamente sobre la capa de subbalasto bituminoso.

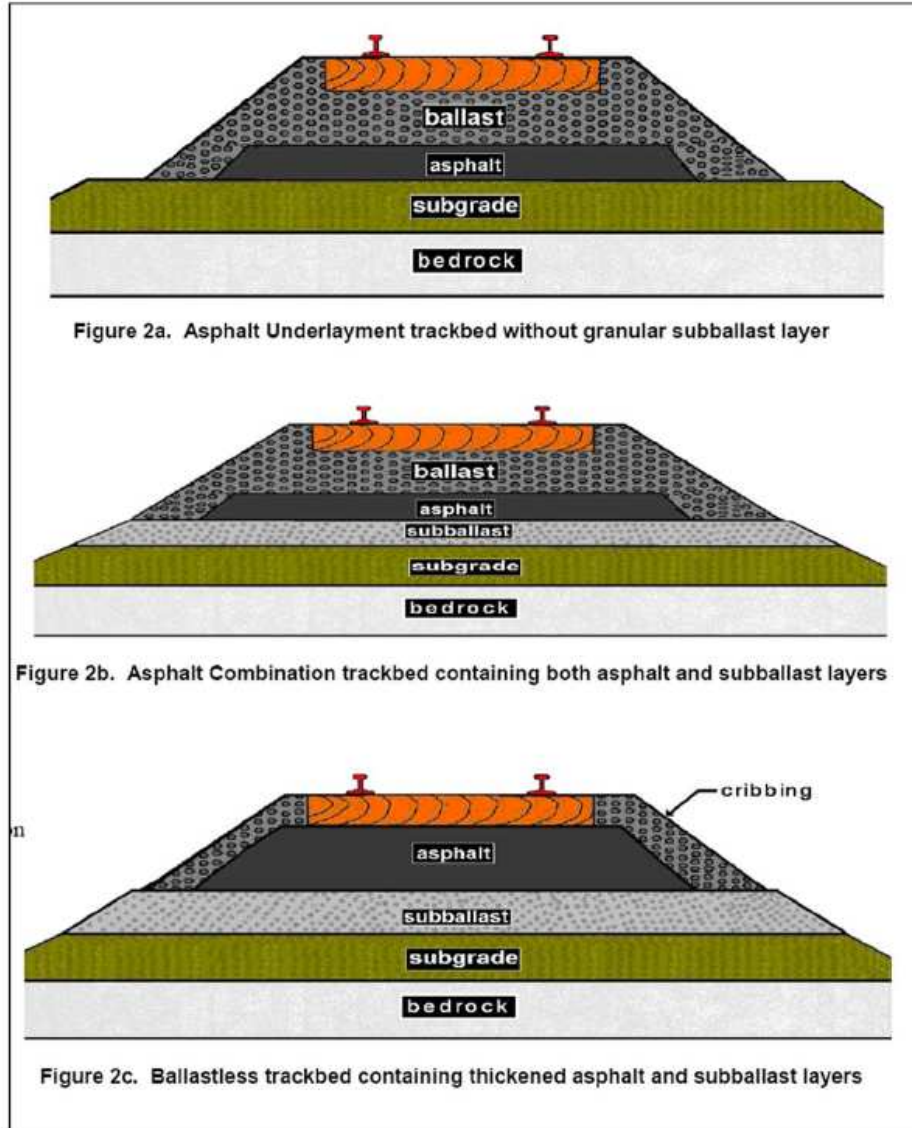


Fig. 3 Secciones tipo estadounidenses con subbalasto bituminoso (Fuente: J. G. Rose 2009)

Dado que se busca mejorar exclusivamente la capacidad portante y el comportamiento frente a la fatiga, la capa asfáltica se coloca solamente en la zona afectada por la distribución de tensiones

<http://www.uax.es/publicacion/experiencia-con-el-subbalasto-bituminoso-y-posible-implantacion-en-lineas.pdf>

8. Juan Antonio Villaronte Fernández-Villa

verticales de la vía. En general la capa se extiende entre 0,45 a 0,65 m a cada lado de la traviesa, lo que da una anchura de entre 3,3 y 3,7 metros en vía única.

El espesor de la capa puede variar desde un mínimo de 7,5 cm hasta un valor máximo de 20 cm. Para plataformas de calidad media el valor habitual varía entre 12,5 cm y 15 cm.

En algunas secciones se utilizan soluciones mixtas en las que la capa de subbalasto bituminoso se apoya sobre una capa de subbalasto granular. Todas estas secciones se contemplan en la Figura 3.

Mezclas adoptadas.

Se busca que el subbalasto tenga buena impermeabilidad y capacidad portante, pero sobre todo, buen comportamiento frente a la fatiga. Por esta razón, las características de la mezcla difieren notablemente de las utilizadas para la construcción de carreteras. Las que han presentado mejores resultados de comportamiento son las mezclas plásticas de bajo módulo y con un porcentaje de huecos de 1 a 3 %. El contenido de betún se ve incrementado en cerca de 0,5% con relación al óptimo de carreteras debido a la protección que confiere la capa de balasto, que evita problemas de roderas y exudación, lográndose, por tanto, una mezcla más densa e impermeable y con una mayor protección a una posible oxidación debida a los efectos del aire y el agua. El resultado es una mezcla de razonable rigidez en clima cálido y ligeramente más resiliente en clima frío. Se recomienda un tipo de betún AC-10 o AC-20, o bien el superpave PG para áreas localizadas.

La composición granulométrica y el diseño de la muestra sugeridas por el Asphalt Institute para la mezcla ASTM D 3515 ligeramente modificada se recoge en las Tablas 1 y 2

PROPIEDADES	RANGO DE VALORES
Compactación	50 golpes
Estabilidad mínima	3375 N
Deformación	3,8-6,4 mm
Huecos	1-3 %
Huecos rellenos	80-90
Densidad in situ	92

Tabla 1. Criterio de diseño de la mezcla asfáltica de subbalasto bituminoso en EEUU Método Marshall (Fuente Asphalt Institute).

TAMIZ	37,5	25,0	12,5	4,75	2,36	0,3	0,075
% Pasa en masa	100	90-100	56-80	29-59	19-45	10-22	1-7

Tabla 2. Huso recomendado para subbalasto bituminoso en EEUU (Fuente Asphalt Institute).

2.3. Criterios de diseño de la estructura de vía.

Para el diseño de la estructura de la vía y el desarrollo de los catálogos de secciones estructurales se utilizan, como en la mayoría de administraciones ferroviarias, métodos empíricos o semiempíricos basados, en este caso, en el índice CBR de la plataforma, complementándolo con el método de Talbot y el de la American Railroad Association.

Mediante la modelización por elementos finitos la universidad de Kentucky ha desarrollado el programa KENTRACK. Dicho programa se basa en la teoría elástica de Boussinesq y el sistema multicapa de Burmister además de utilizar la fórmula empírica de Talbot:

$$P_c = \frac{16,8 \cdot P_m}{H^{1,25}} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

P_c = Presión en la capa de forma (psi)

P_m = Presión en el balasto (psi)

H= Espesor de la capa de balasto (in.)

También se utiliza en este método la fórmula empírica utilizada por los ferrocarriles Japoneses:

$$P_c = \frac{50 \cdot P_m}{10 + H^{1,35}} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

P_c = Presión en la capa de forma (kPa)

P_m = Presión en el balasto (kPa)

H= Espesor de la capa de balasto (cm)

10. Juan Antonio Villaronte Fernández-Villa

Teniendo en cuenta que el armamento de vía se compone de carriles, sujeciones, placas de asiento, y traviesas que se sustentan sobre las diferentes capas de balasto, subbalasto, y capa de forma, el sistema modeliza las diferentes capas. Los esfuerzos y deformaciones en el carril y las traviesas producidos por las diferentes cargas se obtienen por la superposición del efecto en cada carga.

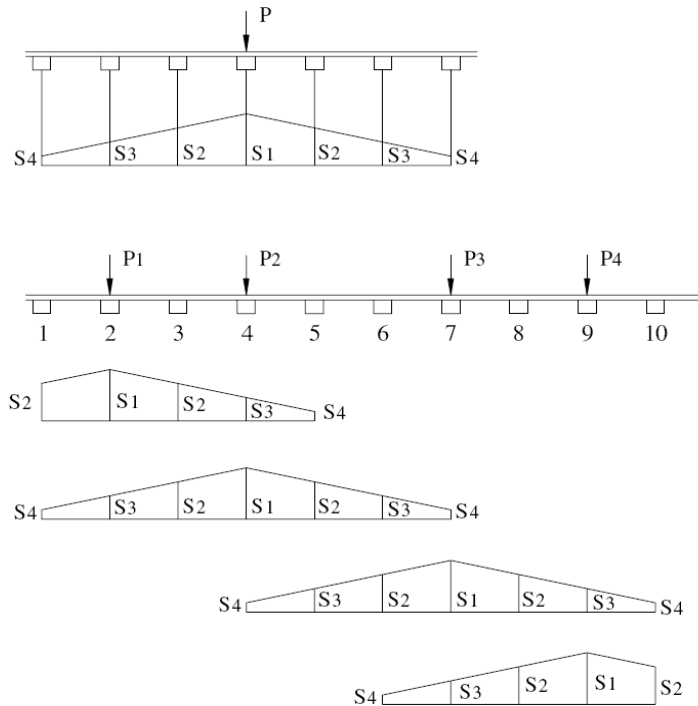


Fig. 4 Superposición de cargas. (Fuente: J. G. Rose 2009)

S_1 de la primera traviesa se calcula mediante la expresión:

$$S'_1 = S_2 \frac{P_1}{P} + S_4 \frac{P_2}{P} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Las diferentes capas se disponen conforme se indica en la figura 2.5. Mediante elementos finitos se calculan los esfuerzos en los carriles, traviesas y sujeciones conforme se ve en la figura 2.6 y el método de multicapa se utiliza para el cálculo de esfuerzos y deformaciones en cada capa como se observa en la figura 2.7.

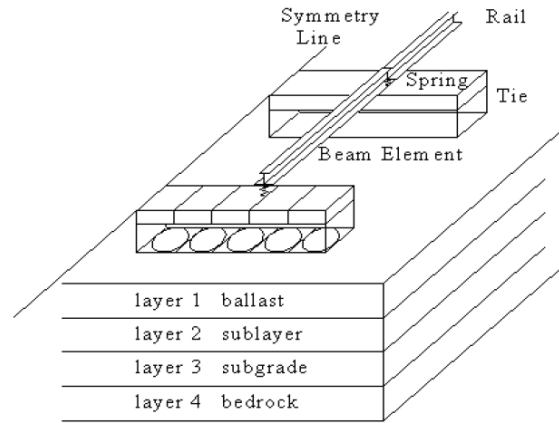


Fig.5. Esquema del modelo de cálculo considerado en el programa KENTRACK (Fuente: J. G. Rose 2009)

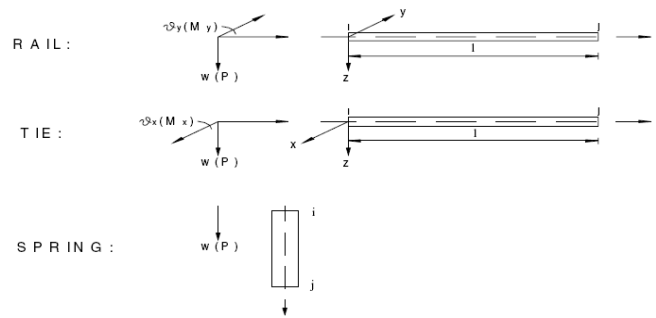


Fig. 6. Esfuerzos en los carriles, traviesas y sujeciones en el programa KENTRACK (Fuente: J. G. Rose 2009)

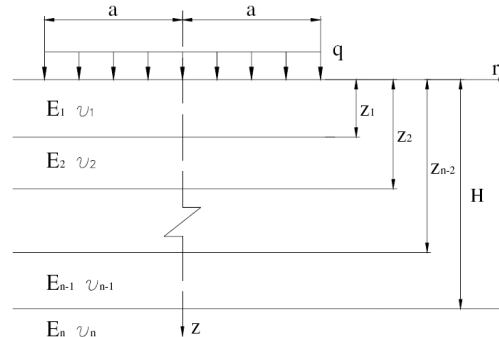


Fig. 7. Modelo multicapa (Fuente: J. G. Rose 2009)

Los espesores de las capas de asiento se definen en función de las máximas cargas por eje, el emparrillado de vía y las características de la plataforma para que cumplan con el periodo de vida de diseño. El periodo de vida de diseño se expone en la tabla 3.

El reducido periodo de vía de la plataforma se debe a que las vías norteamericanas se diseñan básicamente para el tráfico de mercancías con grandes cargas por eje. Se tiene en cuenta que una vez producido el asiento permanente, el ciclo de vida se amplía mediante aportes sucesivos de balasto y labores de bateo, nivelación y alineación.

ELEMENTO ESTRUCTURAL	CRITERIO DE FATIGA	PERIODO DE VIDA DE DISEÑO
Capa de subbalasto bituminoso	Fatiga por fisuración	30 años
Plataforma	Fallo por asiento permanente de la plataforma	10 años

Tabla 3. Criterio de diseño en las estructuras de vía de subbalasto bituminoso (Fuente CENIT).

Para evaluar el número de repeticiones hasta alcanzar el periodo de vida de fatiga de diseño de la plataforma se emplea la ley propuesta en 1984 por Huang et al.

$$N_d = 1,172 \cdot 10^{-9} \cdot \sigma_p^{-3,734} \cdot E_p^{-3,583} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Donde:

N_d : Número de ciclos de carga

σ_p : Tensión vertical de compresión sobre la superficie de la plataforma.

E_p : Módulo de elasticidad de la plataforma, MPa.

Para la fatiga por fisuración del subbalasto bituminoso se emplea la ley de fatiga propuesta por el Asphalt Institute.

$$N_a = 1,386 \cdot 10^{-9} \cdot \epsilon^{-3,291} \cdot E_a^{-0,853} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Donde:

N_a : Número de ciclos de carga

e : Extensión horizontal de la base de la capa asfáltica.

E_a : Módulo de elasticidad de la capa asfáltica, MPa.

Así, mediante un análisis paramétrico, llevado a cabo con el modelo descrito, se definen los espesores de las capas de balasto y subbalasto que se adaptan al periodo de vida pretendido.

Si comparamos una vía formada por subbalasto bituminoso de 15 cm de espesor con una vía formada por subbalasto terreo del mismo espesor, considerando una vía de 33 toneladas por eje y sobre una plataforma de buena calidad con un módulo de elasticidad de 80 Mpa se obtienen, según Rose et al. los siguientes resultados.

ITEM	Vía con subbalasto bituminoso: h _{balasto} = 20 cm h _{subbalasto} = 15 cm E _{plataforma} = 80 MPa	Vía con subbalasto terreo: h _{balasto} = 25 cm h _{subbalasto} = 10 cm E _{plataforma} = 80 MPa
Tensión vertical sobre la plataforma.	81,4 kPa	93,8 kPa
Extensión horizontal en la capa asfáltica	$1,54 \cdot 10^{-4}$	----
Periodo de vida de la plataforma	14 años	6 años
Periodo de vida de la capa asfáltica	29 años	----

Tabla 4 Comparación entre el periodo de vida de la infraestructura de una vía con subbalasto bituminoso y otra con subbalasto granular según el criterio de diseño norteamericano (Fuente López-Pita y Fonseca Texeira).

Aplicando esta metodología de diseño, Rose et al. calcularon el periodo de vida de la plataforma para diferentes valores de capacidad portante de la misma para diferentes espesores de la capa de subbalasto bituminoso. Estos cálculos se han obtenido para una carga por eje de 33 tonelada y armamento de vía de carril RE 132 y traviesa de madera, que es la vía típica de mercancías norteamericana, por lo que el

periodo de vía previsto (10 años) es muy reducido para una plataforma de mediana calidad, con un módulo de elasticidad de la plataforma de 60 MPa y un espesor de subbalasto de 20 cm.

Comparando los resultados obtenidos con el KENTRACK con los obtenidos en base a mediciones in situ y ensayos triaxiales sobre dos tipos de vía en el TTCI se verifica que los resultados concuerdan satisfactoriamente.

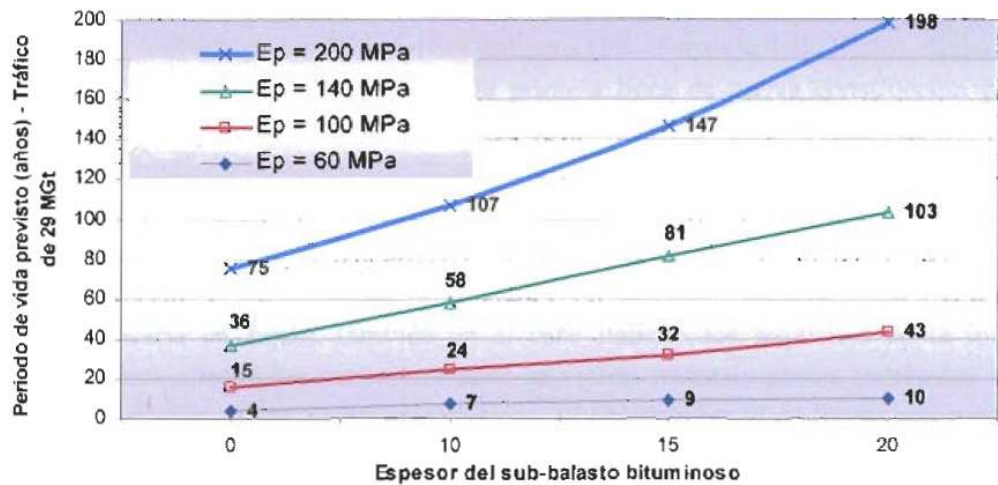


Fig. 8. Periodo de vida previsto para la plataforma (Fuente CENIT).

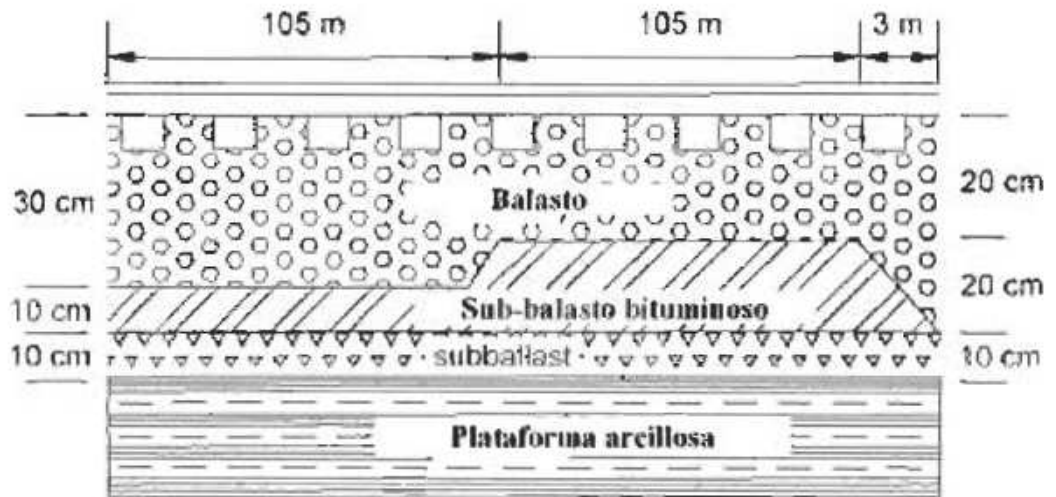


Fig. 9. Perfil longitudinal de las secciones de prueba efectuadas en el TTCI (Fuente D. Li et al.).

3. Conclusiones.

Si se observan los estudios realizados por J.G. Rose mediante el programa KENTRACK, y que se contrastan satisfactoriamente con la evolución sufrida en este tipo de plataformas, se puede concluir que la vida útil de la vía mejora considerablemente, en concreto pasa de 6 años a 14 años. Es necesario tener en cuenta que, el armamento de vía en las líneas estadounidenses está pensado exclusivamente para el tráfico de mercancías y está constituido fundamentalmente por traviesas de madera. En una línea de tipo europeo armada con traviesa de hormigón y carril 60 E1, y pensada para tráfico mixto, esta vida útil se alargaría considerablemente, si bien los parámetros de confort exigidos, al tener tráfico de viajeros, son bastante más elevados. No se puede obviar el alto coste de los productos bituminosos y la carencia de derivados del petróleo que tiene Europa, por lo que esta solución no se puede adoptar como general sino que se tendría que hacer un análisis de tráfico pesado para realizar la sustitución por este tipo de plataforma solo en tramos de tráfico muy denso y pesado, como por ejemplo las salidas de los principales puertos. En concreto en España sería interesante el estudio fundamentalmente en el puerto de Valencia, donde se produce el mayor tráfico de contenedores del Mediterráneo, y en el puerto de Algeciras donde, si bien actualmente no hay un gran hinterland, podría, dado el tráfico marítimo que soporta, tener un gran potencial.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

ASPHALT INSTITUTE (1998). Hot Mix Asphalt for Quality Railroad and Transit Trackbeds. Information Series IS-137. 10 pp.

LÓPEZ PITA, A. Y P. FONSECA TEIXEIRA (2004). Estudio sobre la viabilidad de incorporar capas de subbalasto con material bituminoso en las líneas de alta velocidad, Barcelona, abril 2004.

LÓPEZ PITA, A. Y P. FONSECA TEIXEIRA (2001). Resistant track homogeneity: a way to reduce maintenance costs. 4th International Conference Railway Engineering, Londres, abril-mayo 2001.

LÓPEZ PITA, A. Y P. FONSECA TEIXEIRA (2003). New criteria in embankment/bridge transitions on high-speed lines. IABSE 2003 Symposium Structures for highspeed railway transportation, Antwerp (Bélgica).

LÓPEZ PITA, A., P. FONSECA TEIXEIRA Y F. ROBUSTÉ (2004). High Speed track deterioration: the role of the vertical stiffness of the track. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F, Journal of Rail and Rapid Transit, vol. 218, issue 1, marzo 2004

<http://www.uax.es/publicacion/experiencia-con-el-subbalasto-bituminoso-y-posible-implantacion-en-lineas.pdf>

16. Juan Antonio Villaronte Fernández-Villa

ROSE, J.G (2006). Kentrack . A Railway Trackbed Structural Design Program, Louisville, Kentucky, pp31.

ROSE, J.G (2011). Design, Evaluation, and Performance of Asphalt Trackbeds – U.S. Experiences International Seminar on Optimization of Railway Design using Bituminous Sub-Ballast – BITU-RAIL, Lisboa, Julio 2011.