
Tecnología de Vía en Líneas de Alta Velocidad

.....
Javier Puebla Contreras
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director del Área de Obra Civil
.....

RESUMEN

La circulación de trenes a alta velocidad requiere la revisión de los conceptos ferroviarios más tradicionales y, en especial, de los componentes de la vía, porque la seguridad durante la explotación y fiabilidad del servicio son unos requisitos fundamentales. En este artículo se presentan los conceptos e ideas al respecto.

ABSTRACT

The circulation of high speed trains requires the review of the most traditional rail concepts and in particular the components of the tracks, as safety during the running of the line and reliability of the service are fundamental requisites. This article presents the concepts and ideas on this subject.

INTRODUCCIÓN

La obra civil de la infraestructura ferroviaria incluye la plataforma y la vía, siendo la línea divisoria la establecida por el subbalasto. Por debajo de esta capa las obras tienen numerosas actividades comunes con otras obras lineales, pero por encima la obra es exclusivamente ferroviaria y, en consecuencia, de vía.

La infraestructura de vía contiene el carril, las fijaciones, las traviesas, el balasto, la vía en placa y los aparatos de vía. Otros elementos de vía tienen una incidencia notablemente menor.

La tecnología del conjunto de la vía es la de cada uno de aquellos elementos constituyentes, los cuales han evolucionado notoriamente desde los orígenes del ferrocarril, y no sólo porque han transcurrido varios siglos desde entonces, sino por causa, muy especialmente, de la elevada velocidad de explotación requerida para atender las necesidades de los viajeros.

Es más fácil reconocer la incidencia tecnológica de la electrónica y las telecomunicaciones, cuando podría llegar a ser posible que los satélites sirvieran para ordenar la seguridad de la explotación, permitiendo tener localizados los trenes en cada momento. También son muy llamativos, por ejemplo, los

actuales medios de excavación de túneles o construcción de viaductos. Sin embargo, las innovaciones tecnológicas de la vía, aun siendo menos espectaculares, tienen una mayor incidencia en la fiabilidad del servicio, como pone de manifiesto que la mayor parte de las limitaciones a la explotación provienen de la misma.

El balasto está constituido por el material de construcción más primitivo y requiere un tratamiento fabril no muy complejo, pero sus características permiten la circulación a alta velocidad o, por el contrario, impiden sobrepasar el umbral que merece esta acepción. Igual ocurre con los demás componentes de la vía, de manera que la tecnología de la vía es, como poco, tan importante como los demás temas de la infraestructura ferroviaria.

En lo que sigue se presentan los componentes de la vía para asegurar la fiabilidad del servicio por la infraestructura ferroviaria y se describen las soluciones más interesantes.

REFERENCIAS HISTÓRICAS

Las líneas de alta velocidad que el GIF está proyectando y construyendo entrarán en servicio el siglo XXI, de manera que



la vía tendrá más de cuatro siglos de historia, desde la primera referencia datada en el siglo XVI¹; pero sólo ha permanecido en el tiempo el concepto de la vía, porque la tecnología ha evolucionado al tiempo que ha aumentado la velocidad de explotación comercial.

La evolución del ferrocarril se acostumbra a medir por la velocidad de los trenes. Entre Madrid y Barcelona se dará servicio comercial, por primera vez en el mundo, a una velocidad máxima de 350 km/h. Es una velocidad francamente elevada, cuya incidencia e importancia están por determinarse, y es merecedora de un pleno rigor técnico. Algunas relaciones comparativas son que se habrá multiplicado por diez la velocidad alcanzada en 1831 por Dewitt Clinton, cuando viajó desde Albany hasta Schenectady a 32 km/h². Se habrá multiplicado por algo más de dos la velocidad alcanzada frecuentemente en la New York Central³, por encima de 100 millas por hora, a finales del siglo pasado. Se habrá tenido un notorio incremento de velocidad respecto de la alcanzada por los trenes japoneses a 270 km/h⁴. Y se habrá superado la velocidad máxima de 300 km/h del AVE Madrid-Sevilla en otro grado. La tecnología de vía ha evolucionado en paralelo.

En los libros sobre los ferrocarriles se acostumbra a presentar una visión histórica, que se centra en los avances relacionados con el material rodante, que incluye los sistemas de tracción, y el material de vía. Algunas fechas, relacionadas con la vía, son la introducción de los carriles de madera (1676)⁵; el forro de hierro del carril (1776)⁶; los carriles de fundición (1789)⁷; los cambios ferroviarios (1796)⁸; el carril tipo Vignole (1836)⁹; el creosotado de las traviesas de madera (1838)¹⁰; los carriles de acero (1857)¹¹; trazado secante de las agujas (1886)¹²; las traviesas de hormigón bloque (1954)¹³; Radio en vía desviada único (1965)¹⁴; la traviesa monobloque pretensada (1979)¹⁵; los aparatos para velocidad 100 km/h por vía desviada (1986)¹⁶; cruzamiento con corazón de punta móvil y aguja con desplazamiento horizontal (1992); especificaciones europeas del balasto (1997); aparatos para velocidad 230 km/h por vía desviada (1998)¹⁷.

La viabilidad técnica del objetivo de velocidad está apoyada porque en 1991 un tren circuló, en Francia, a 501 km/h. Recientemente se ha sabido que el AVE circuló en 1993 a 356,8 km/h¹⁸ y otras referencias, que no dejan de ser imagi-

nativas, son que hay estudios que garantizan la viabilidad del tren a 18000 km/h¹⁹.

Otra curiosa referencia más es que, entre 1848 y 1855, se construyeron en España unos 300 km de vía²⁰, que viene a ser la misma longitud que se habrá de construir en poco más de un año en doble vía en la línea de alta velocidad Madrid-Zaragoza-Barcelona-frontera francesa.

CRITERIOS DE DISEÑO

El diseño de los elementos ferroviarios es una labor orientada principalmente por la experiencia: Los modelos ingenieriles empleados ayudan a describir y entender los fenómenos observados, pero no permiten abordar el diseño. Esto es debido, sobretudo, a que el paso de los trenes da lugar a acciones cíclicas y de tipo dinámico.

Hay bastantes ejemplos que ponen de manifiesto esto anterior, un repaso de los cuales podría servir para abrir programas de investigación.

Las traviesas, según la resistencia de materiales clásica, tienen unos coeficientes de seguridad altos, pero la experiencia señala que no deben reducirse.

El balasto es un elemento clave para asegurar la elasticidad de la vía, de lo que cabe atribuirle unas características elásticas; Sin embargo, debido a que está constituido por partículas sin cohesión, los modelos de cálculo ponen de manifiesto su plastificación al paso de los trenes.

Las almohadillas de apoyo de los carriles sobre las traviesas, que sirven para asegurar la elasticidad de la vía, deben de descender al paso de los ejes de los trenes y después deben recuperar la posición inicial. Desde este punto de vista, el material tiene que ser elástico; Ahora bien, el paso de un tren es tan rápido que causa vibraciones en el carril, para cuya mitigación es necesario que aquel material tenga unas características amortiguadoras. Así pues, es necesario recurrir a materiales con características elásticas y amortiguadoras al mismo tiempo.

La resistencia longitudinal de la vía, limitada por la interacción entre las traviesas y el balasto, tradicionalmente se ha considerado que es 10 KN/m, pero hay razones para pensar en que esa resistencia depende de la acción vertical a que está sometida la traviesa, en cuyo caso la resistencia llega a ser 60 KN/m.

En la instrucción española de puentes de ferrocarril se indica que la fuerza horizontal de frenado es un octavo (12,5%) de la carga vertical, pero en el Eurocódigo 1 parte 3 esa relación es el doble.

Los trenes de tolvas producen un momento flector en el centro del vano de un viaducto cercano al 50% del causado por el tren de cargas²¹.

Tradicionalmente se ha considerado que la estabilidad al vuelco de los trenes que circulan por la red española es su-

perior a la de los trenes que circulan por vías de ancho internacional, pero este criterio no es relevante, porque la estabilidad transversal es mucho más exigente.

Otros temas no bien descritos son la incidencia del movimiento térmico longitudinal de los viaductos en el balasto y la denominada fluidificación²² del balasto sobre los viaductos.

ELASTICIDAD DE LA VÍA

Entre los carriles y las traviesas se interpone una almohadilla de material elástico que tiene por objeto proporcionar a la vía unas características de elasticidad en el eje vertical. Así se reduce el deterioro del balasto, se protegen los aparatos de vía y se mejora la calidad de la rodadura, al tiempo que se protege la suspensión de los vehículos.

El asiento del carril al paso de los vehículos es desigual a lo largo de la vía y los carriles tienen protuberancias. El asiento de las ruedas en vía general es diferente, al menos, del que tiene lugar al pasar por los cambios, al transitar por los viaductos y al pasar por traviesas mal asentadas. Por otro lado, las protuberancias del carril se deben al propio proceso de laminado y a la falta de alineación en las soldaduras.

Esos argumentos explican que la circulación a alta velocidad produce impactos entre las ruedas y el carril, que serían los causantes de los fenómenos observados de vibraciones en los vehículos y en el carril, incidiendo las primeras en el confort y las segundas en el balasto, sobre el que tiene lugar un fenómeno de amortiguado y deterioro acelerado.

En la línea de alta velocidad de Madrid a Sevilla las almohadillas tienen una rigidez en torno a 500 KN/mm y las que habrán de ser colocadas en las nuevas líneas tendrán en torno a 100 KN/mm.

LA VÍA EN PLACA

La vía en placa es la solución constructiva de vía alternativa a la tradicional vía sobre balasto y se justifica para resolver los inconvenientes más destacados de ésta última, relacionados con la resistencia y el mantenimiento.

La capa de balasto tiene una resistencia limitada, habida cuenta que está formada por materiales sueltos, en tanto que la placa tiene una resistencia considerable, casi ilimitada, debida a la continuidad del hormigón y al armazón de acero. La aplicación de esta ventaja permite, con carácter general, construir unos peraltes mayores, con lo que, a igualdad de velocidad de explotación, las curvas pueden tener un menor radio de curvatura y, en consecuencia, las obras de plataforma pueden resultar más baratas. Pero esto es un argumento más teórico que práctico, por razones de diseño y de construcción.

La circulación de trenes a menor velocidad que la máxima y la posible evolución de la velocidad de explotación condu-

cen a que el parámetro de trazado prioritario, una vez establecida la aceleración transversal no compensada, es el radio de curvatura. Al mismo tiempo, el hormigón extendido en una gran longitud requiere juntas y adolece de movimientos de retracción, de manera que la resistencia y fiabilidad del conjunto no es suficiente.

El mantenimiento es la servidumbre típica de la vía con balasto, de manera que el argumento en favor de la vía en placa es, en principio, económico, si se considera que el mantenimiento es una actividad generadora de costes y, por consiguiente, poco deseable. Ahora bien, el mantenimiento de la vía en placa no es nulo y el incremento de la inversión que conlleva es cuantioso, de manera que el tema económico, lejos de ser una ventaja, llega a ser un inconveniente para la vía en placa.

Aunque la actividad de mantenimiento es poco deseable desde los puntos de vista económico y de explotación, es la característica más ventajosa de la vía sobre balasto desde el punto de vista ingenieril. Quizás sea la razón más sólida para que el balasto sea la tipología de vía más empleada para la infraestructura ferroviaria y muy especialmente en este país. La vía sobre balasto permite, dentro de unos límites, corregir los errores de diseño y construcción, mediante las labores típicas del mantenimiento y, en particular, la nivelación con adición de balasto.

El mantenimiento sirve, entre otras cosas, para corregir los asientos de la plataforma y, aunque no justifica las obras mal hechas, constituye un auténtico plan de contingencia para solventar sus efectos, lo que tiene una difícil solución en el caso de la vía en placa; Es más, en el caso español no hay solución, porque la reparación de una losa de hormigón interrumpiría el servicio de la línea, debido a la imposibilidad de llevar los trenes de alta velocidad por trazados alternativos.

La necesidad de mantenimiento es imperiosa, habida cuenta la práctica constructiva española. El ejemplo típico es el asiento de los terraplenes de las carreteras y, en concreto, el asiento diferencial en los estribos de los viaductos, lo que es causa de accidentes y de una degradación acelerada del firme y de la suspensión de los vehículos. La vía en balasto permite solventar, hasta cierto punto, el problema de los asientos, pues superado cierto umbral del volumen de balasto se inician los problemas de inestabilidad de vía y de encharcamiento de la plataforma. En ningún caso la posibilidad de solucionar el problema justifica una obra mal hecha y en este sentido hay dos aspectos de las obras en los que concretar la actuación. Por un lado, los pliegos de prescripciones técnicas de los proyectos constructivos exigen el empleo de unos materiales y unos procedimientos de puesta en obra poco sensibles a los fenómenos de asentamiento y, por otro lado, un control de ejecución responsable se ocupa de su cumplimiento.

Cabe pensar en que la vía en placa tenga aplicaciones concretas, como pueda ser en los viaductos y en los túneles, en donde los problemas expuestos serían menores, pero en-

tonces se plantea el problema de las juntas y las transiciones, para lo que no hay una tecnología fiable.

La vía en placa, en base a los argumentos expresados, sólo tiene posibilidad de ser empleada en las estaciones terminales y en las de parada obligada.

EL BALASTO

El balasto es el conjunto de piedras que conforman la capa de apoyo de las traviesas. Su principal misión es permitir la nivelación de la vía y, por estar interpuesto entre el carril y el terreno, debe ser resistente a las cargas aplicadas y debe ser duradero a las cargas repetitivas.

Las especificaciones que se exigen al balasto, desde el punto de vista ferroviario, tienen por objeto asegurar, mediante ensayos, esas propiedades, y así resulta que el ensayo más importante para el balasto es el de desgaste, que se mide mediante el ensayo de los Ángeles y refleja las cargas cíclicas, el impacto causado por los trenes y el proceso de bateado. En líneas de alta velocidad hay que colocar un balasto que tenga un coeficiente Los Ángeles menor que 15.

Otros ensayos son complementarios. Por lo que se refiere a la resistencia, en general, se tiene en consideración el ensayo de resistencia a la compresión simple y se especifica que sea de 120 MPa, pero cabe esperar que un balasto que tenga aquel desgaste también tenga esta resistencia. El contenido de partículas con formas alargadas o planas es una especificación indirecta del coeficiente de los Ángeles.

La granulometría ideal debe ser la uniforme, conclusión a la que se llega por oposición a la especificación del hormigón, habida cuenta que éste debe tener una elevada resistencia, en tanto que aquél debe de ser removido durante las labores de bateado. El tamaño medio debe estar en torno a 40 mm y las demás especificaciones granulométricas tienen que ver, más que con una necesidad ferroviaria, con los medios típicos de producción del balasto.

Otras especificaciones están más allá del ámbito ferroviario y tenerlas en cuenta depende del cumplimiento de unos objetivos no relacionados con la concepción y explotación de una línea de alta velocidad.

Podrían ser especificaciones adicionales las que permitirían asegurar que no hay desplazamiento del balasto en las curvas, o pérdida de peralte, pero la experiencia indica, al parecer, que esto no ocurre, y no se imanejan, por tanto, especificaciones a este respecto.

TRAVIESAS Y FIJACIONES

Las traviesas tienen la misión de mantener la distancia entre los carriles y la de transmitir las acciones de los trenes al terreno. La primera no requiere mayor comentario y la segun-



Puesto de Adelantamiento y Estacionamiento de Trenes (PAET en LAV Madrid-Sevilla).



Sistema de fijación elástica.

da debe entenderse en el sentido vertical y en el plano horizontal.

Las características más destacadas de las traviesas son la longitud (2,60 m), el ancho (30 cm), el peso (315 kg) y la resistencia al ensayo que modeliza las acciones. El GIF ha tenido en cuenta las pautas del Centro Europeo de Normalización y, en lo que respecta a la resistencia, las especificaciones de las traviesas van ligadas a las fijaciones.

Las fijaciones tienen la misión de sujetar el carril y la de proporcionar la elasticidad de la vía. El carril debe estar sujeto a la traviesa para que no tenga, en especial, movimientos de giro o desplazamiento horizontal, pero tampoco debe tener movimientos longitudinales, para no dañar los aparatos de vía.



Sistema de fijación elástica.

La elasticidad de la vía se obtiene mediante las almohadillas y los movimientos que éstas experimentan deben ser compatibles con la concepción y la resistencia a la fatiga de los clips. Para una almohadilla con una rigidez de 100 KN/mm se obtiene por cálculo, considerando una geometría perfecta y unos materiales de vía nuevos, un asiento de 0,9 mm, de manera que los clips deben soportar una amplitud de movimientos mayor, al tiempo que deben resistir las acciones a que dan lugar el paso de los trenes.

DESVÍOS

Los desvíos permiten la explotación de una línea ferroviaria, siendo especialmente destacados en una línea de alta velocidad los que permiten cambiar los trenes de una a otra vía de la línea general, lo que tiene lugar en los puestos de banalización (PB), y el apartado de trenes, que tiene lugar en los puestos de adelantamiento y estacionamiento de trenes (PA-ET).

Desde el punto de vista de la explotación, es necesario que los desvíos permitan la máxima velocidad por la vía directa, en tanto que por la vía desviada es deseable la máxima velocidad posible, la cual depende de numerosos factores. Entre éstos cabe citar las necesidades de espacio de implantación, las posibilidades de transporte desde fábrica, la aceleración transversal aceptada por los pasajeros (los desvíos no tienen peralte), la servidumbre de mantenimiento y el precio. Hasta no hace mucho la limitación de los desvíos era tecnológica (no puede pasar un tren a gran velocidad por un cruzamiento), pero los avances debidos a los programas de investigación y desarrollo acometidos por los fabricantes de este material han resuelto esa limitación.

Las características de los desvíos, desde el punto de vista ferroviario, se centran en las velocidades de paso por la vía directa y por la vía desviada, que en el caso de la línea de alta velocidad Madrid Zaragoza Barcelona frontera francesa son 350 km/h y 220 km/h, respectivamente.

APARATOS DE DILATACIÓN DE VÍA

Desde el punto de vista de las circulaciones de trenes y el mantenimiento de la vía es deseable que el carril tenga continuidad, lo que lleva a colocar el menor número posible de aparatos de dilatación. Ahora bien, no es posible diseñar actualmente una línea de alta velocidad sin los mismos, pues así lo requiere la concepción de los viaductos, lo que es debido, a su vez, a las desmesuradas acciones causadas por los trenes de cargas que han de ser considerados.

En la actualidad ha habido significativos avances en el diseño de los aparatos de dilatación, de manera que ahora los hay para una carrera de movimientos de más de 1000 mm. Hasta no hace mucho los viaductos de ferrocarril tenían una



longitud de tablero continuo menor que 450 m, lo que fuera causa de trabajos de diseño complejos y algunos baldíos, en la equivocada idea de que los aparatos de dilatación disponibles sólo podían responder para una carrera de 300 mm. Afortunadamente, los trabajos de investigación y desarrollo abordados por las empresas suministradoras han superado esa limitación y han permitido, en consecuencia, racionalizar el diseño de los viaductos. Por otro lado, y con consecuencias similares, está en marcha la actualización de las acciones de diseño, en el ánimo de que sean puestas en sintonía la realidad ferroviaria con la obra civil requerida.

MONTAJE DE VÍA

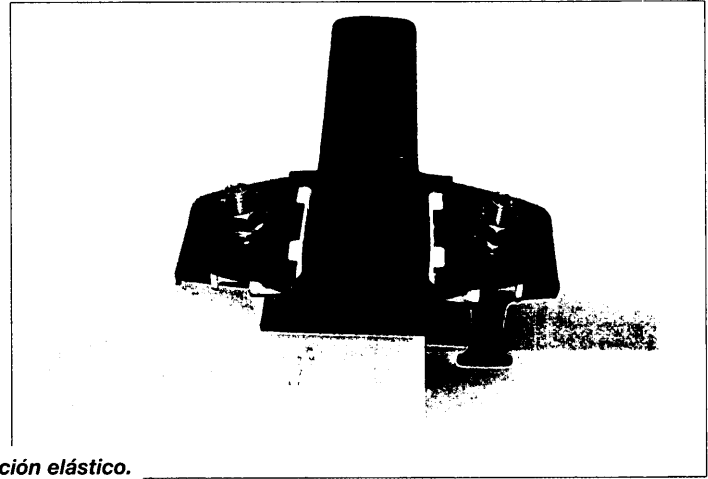
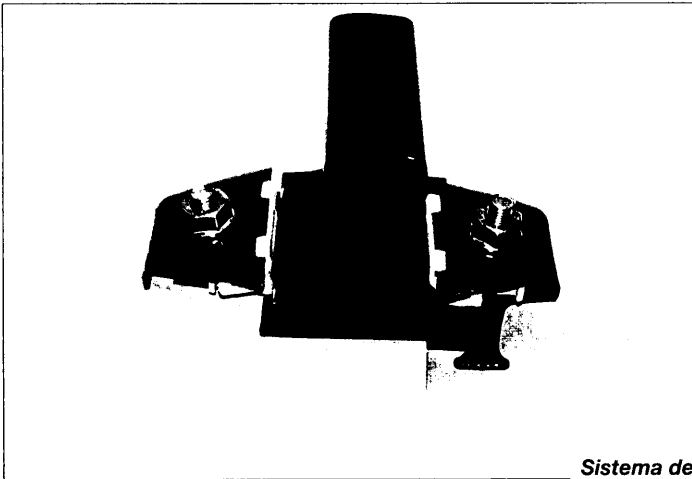
El montaje de una vía es una obra singular, porque hay un número muy reducido de operaciones que llevar a cabo, pero hay numerosísimos ciclos que llevar a cabo.

En esencia, el montaje de la vía requiere las operaciones generales siguientes: a) primera capa de balasto; b) colocación de vía auxiliar; c) descarga de carriles; d) descarga de traviesas; e) colocación de carriles; f) segunda capa de balasto; y f) nivelación y estabilización de carril. Las demás actividades no constituyen camino crítico, a efectos de velocidad de montaje del frente.

Los materiales se llevan al frente de montaje por las mismas vías en construcción, de manera que sólo hay un tajo de montaje en un mismo tramo. A su vez se accede a cada tramo por el punto de conexión con la red ferroviaria, lo que es imprescindible para dar acceso a los trenes carrileros, cargados con las barras largas soldadas. En el punto de conexión se ubica el intercambiador y la base de montaje.

El montaje de una vía tiene las características de una producción en serie y para concebir el mismo tienen cabida todos los modelos al respecto. En concreto, la logística de material incide de forma destacada en la velocidad de montaje y en la valoración de las obras. Cabe pensar en un montaje just in time, en cuyo caso los stock estarían, exclusivamente, en las canteras de balasto, en los talleres siderúrgicos y en los parques de prefabricación de traviesas.

En las vías de alta velocidad se colocan 1667 traviesas de 30 cm de ancho por kilómetro de vía. La justificación más sencilla para este armazón proviene del montaje de la vía. En el pasado las traviesas tenían la máxima separación compatible con la resistencia y deformabilidad del emparrillado que forman la traviesas y el carril sobre el terreno. Ahora también es importante esta compatibilidad, pero la distancia entre traviesas viene determinada porque en fábrica son acopiadas una junto a otra y así son descargadas en el frente de montaje, en una de las vías, de manera que, al pasar una de cada dos a la vía paralela, quedan perfectamente replanteadas. Una sencilla operación matemática conduce a aquella densidad de traviesas.



Sistema de fijación elástico.

Otro concepto bien conocido de la ingeniería y de aplicación en el montaje de vía está relacionado con la disposición de elementos en serie o en paralelo. En este caso los elementos son las vías necesarias en la base de montaje para estacionar los trenes que llevan los suministros, mientras esperan el turno de entrada en la vía de montaje. La espera se debe a la velocidad de montaje y a la reducida capacidad de la línea en construcción por causa de las limitaciones de velocidad y la ocupación de la vía por maquinaria de montaje. En otros países del mundo²³, se concibe una base de montaje que viene a ser una auténtica estación de clasificación, en la que llegan a tener 20 vías en paralelo, ocupando una superficie inmensa. En la línea de alta velocidad Madrid-Zaragoza-Barcelona-frontera francesa está previsto que los trenes con los suministros estén en serie, no ocupando ningún espacio fuera de la traza, disponiendo los cambios que permitan el paso entre ambas vías de la línea para permitir las circulaciones.

INTERCAMBIADORES

En la tecnología de vía no se pueden olvidar dos desarrollos tecnológicos del material rodante, necesarios en el montaje de las nuevas líneas de alta velocidad. Los intercambiadores

se precisan para que los trenes de suministros, especialmente los carrileros que llevan las barras largas soldadas, puedan circular indistintamente por las líneas de ancho Renfe y por las líneas de alta velocidad.

La diferencia de ancho es 223 mm y las soluciones disponibles son el cambio de ejes, que fue resuelto por Tafesa, y el cambio de ancho, que ha sido resuelto por Patentes Talgo. Ambas son adecuadas y solventan técnicamente el problema; Es más, cabe esperar una aplicación de ambas soluciones más allá de nuestras fronteras, porque hay otros países que tienen, como en España, más de un ancho en sus redes ferroviarias, y para atender el tráfico internacional por diferentes anchos.

No hay razones que señalen que una u otra solución sea, en su conjunto, mejor que la otra. Según el criterio de comparación, una u otra solución es más interesante, y, en este sentido, se puede tener en cuenta, al menos, el tiempo de paso por el intercambiador, el espacio ocupado, el coste de la obra civil auxiliar, la carga por eje, el plazo de entrega y el coste por cada tren que requiere pasar por el intercambiador. Por otro lado, para el montaje de una línea de alta velocidad no es imprescindible el paso de los trenes por el intercambiador, puesto que, en su caso, cabe hacer un intercambio de cargas entre los vagones de unos trenes con el ancho que corresponda. ●

NOTAS

1. Jhon R. Day. Trenes. Editorial Bruguera
2. Eryl Davies. Los transportes a través del tiempo. Por caminos, carreteras y ferrocarril. Editorial Anaya
3. C. Hamilton Ellis. Trenes. Una historia ilustrada. Editorial Raices
4. Tífsa. Tipologías de vía para líneas de alta velocidad. Documento inédito
5. Jhon R. Day. Trenes. Editorial Bruguera
6. Jhon R. Day. Trenes. Editorial Bruguera
7. Jhon R. Day. Trenes. Editorial Bruguera
8. José Manuel García Díaz de Villegas. Desvíos ferroviarios
9. Varios. El camino del tren. Fundación de ferrocarriles españoles.
10. Varios. El camino del tren. Fundación de ferrocarriles españoles.
11. Jhon R. Day. Trenes. Editorial Bruguera

12. José Manuel García Díaz de Villegas. Desvíos ferroviarios
13. Varios. El camino del tren. Fundación de ferrocarriles españoles.
14. José Manuel García Díaz de Villegas. Desvíos ferroviarios
15. Varios. El camino del tren. Fundación de ferrocarriles españoles.
16. Varios. El camino del tren. Fundación de ferrocarriles españoles.
17. Varios. El camino del tren. Fundación de ferrocarriles españoles.
18. Rafael González. Líneas del tren. Dirección de comunicación interna de Renfe.
19. F. Capdevila. Donald y el ferrocarril. Walt Disney. Editorial Everest
20. Fina Durán. Pequeña historia del tren. Editorial mediterránea
21. Jaime Fernández Gómez. Pruebas de carga dinámicas en puentes singulares. OP nº 44
22. Vía libre. Julio-Agosto 1998. Fundación de ferrocarriles españoles.
23. Tífsa. Tipologías de vía para líneas de alta velocidad. Documento inédito