

Análisis previo de la conveniencia y viabilidad de ubicación de los postes de electrificación en el centro de las vías dobles ferroviarias



Foto: Javier Ortega



Alberto García Álvarez

Ingeniero del ICAI (1977), Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales, Licenciado en Derecho. Es Director de los grupos de estudios e investigación de "Economía y explotación del ferrocarril" y de "Explotación de alta velocidad" de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

albertogarcia@ffe.es



Alberto Barreiro Martínez

Ingeniero Industrial. Es en la actualidad Técnico Junior de Instalaciones y Sistemas Ferroviarios de TIFSA, e investigador-colaborador de los grupos de estudios e investigación de "Economía y explotación del ferrocarril" y de "Explotación de alta velocidad" de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

abarreiro@ineco.es

Palabras clave: Tráfico mixto, explotación de alta velocidad, entreje, postes de electrificación.

Resumen:

En las líneas ferroviarias los postes de electrificación siempre se han ubicado en el exterior de la doble vía. Sin embargo, su ubicación en el centro de la doble vía podría tener claras ventajas, especialmente en las líneas de alta velocidad, de tráfico mixto, con trenes de viajeros a 300 km/h y de mercancías. En este artículo se analiza preliminarmente la problemática que se plantea en el cruce de trenes en tales líneas y las posibles soluciones. Se propone la alternativa de la nueva ubicación de los postes (en dos versiones, con los mismos postes para las dos catenarias y con postes diferentes para cada catenaria). Se analizan ventajas e inconvenientes de la ubicación propuesta y se hace un somero análisis de la viabilidad técnica de la alternativa. La posibilidad que aquí se enuncia será analizada con detalle en un proyecto de investigación.

Key words: mixed traffic, high-speed operation, track-to-track centre line distance, catenary supports.

Abstract

In railway lines catenary supports have always been located outside of double track. Nevertheless, their location in the center of the double track could have clearly advantages, especially in mixed-traffic high-speed lines with passenger trains running at 300 km/h and freight trains. This article analyzes problems of crossing of trains in those lines and their possible solutions.

It is proposed a new location of catenary supports (in two versions, with the same supports for both catenaries and with distinct supports for each catenary). The advantages and disadvantages of the proposed location are analyzed and a brief technical feasibility analysis of the alternative is made. The possibility that is enunciated here will be analyzed in detail in a research project.

Introducción

La circulación simultánea de trenes de alta velocidad (por encima de los 250 km/h) y de mercancías convencionales (a velocidades de 100/120 km/h) es una exigencia de racionalidad para la optimización de los recursos públicos y para la mejora de la eficiencia del sistema de transporte¹.

La troncalidad de la red. Ello es así porque el carácter troncal de la red española de alta velocidad hace que en las líneas capilares, situadas en la periferia, nunca se puedan alcanzar los niveles de tráfico necesarios para justificar en términos económico-sociales la construcción de una línea de alta velocidad. En la periferia de la Península puede haber una vía por cada ocho vías que salen de Madrid en la correspondiente línea troncal, que se ramifica en líneas capilares cuya demanda potencial está limitada por la capacidad en el tramo troncal común.

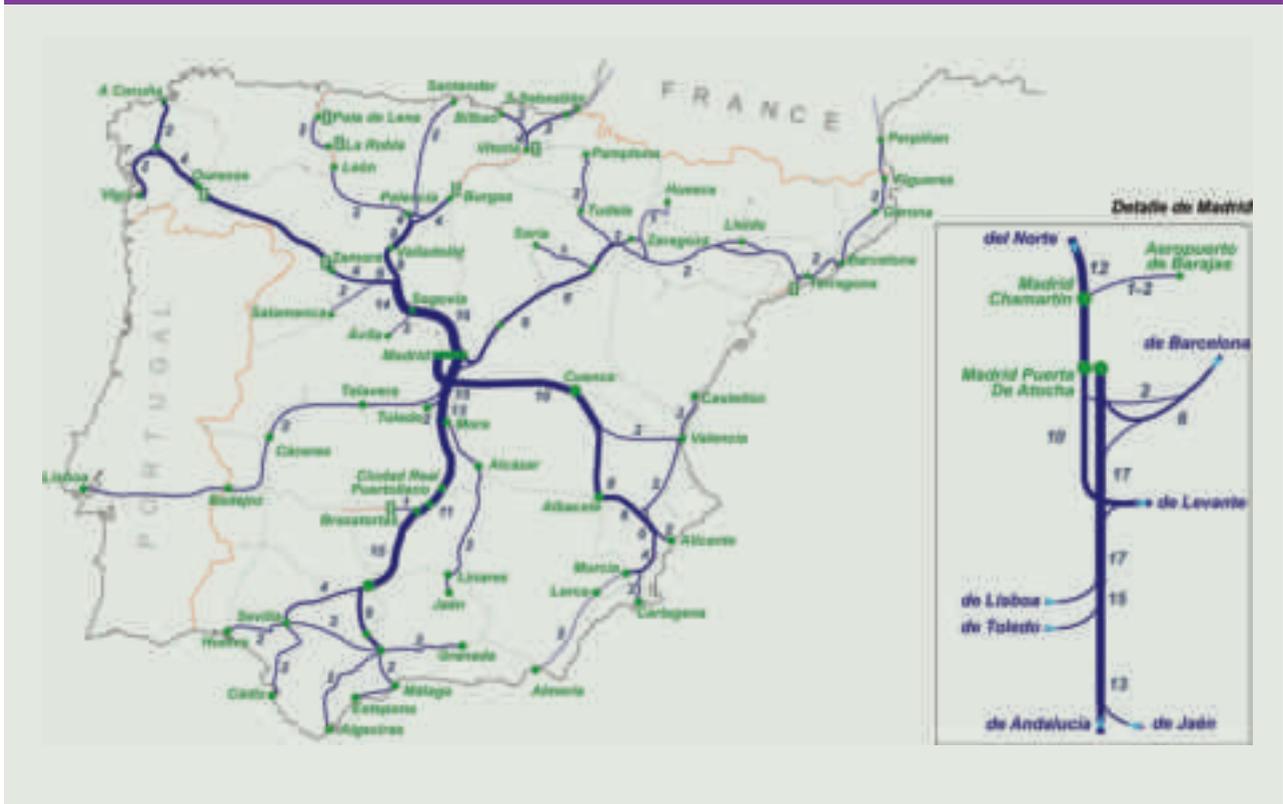
Por otra parte, en estos tramos “capilares periféricos”, la línea ferroviaria convencional preexistente encuentra normalmente grandes dificultades para salvar las zonas montañosas, por lo que suele presentar trazados obsoletos, de difícil mejora y que resultan poco eficientes para el transporte (por ejemplo, los casos de las rampas de Pajares, Reinosa, Brañuelas, Orduña, Almería...). Además, en otros casos, como en el Norte de Cataluña y en el País Vasco, la línea de alta velocidad (por ser de ancho de vía estándar) ofrece a los trenes internacionales de mercancías la ventaja adicional de hacer innecesario el cambio de ancho para pasar a la red francesa.

Todo ello permite afirmar que habrá muchos tramos en los que los trenes de mercancías podrían circular por líneas de alta velocidad con mejora de su competitividad (con menores costes de explotación, menor consumo de

energía y tiempos de viaje reducidos). Además, así se emplearía la capacidad ociosa de los tramos periféricos capilares y se complementarían a los trenes de viajeros para conseguir el nivel de uso de la línea, que justifique su construcción desde el punto de vista económico-social.

Este tráfico mixto no será posible (ni necesario) en muchas líneas troncales cerca de Madrid, en las que el número de trenes de viajeros será muy grande y donde además existen itinerarios alternativos para los trenes de mercancías en la red convencional. Sin embargo, en muchas líneas capilares de acceso a la periferia peninsular (donde el tráfico de viajeros es necesariamente menor y donde hay muchas dificultades para construir nuevos trazados), la coexistencia del tráfico no sólo es posible y deseable, sino que es la única forma de rentabilizar económica y socialmente la

Figura 1. Estructura de la red española de alta velocidad. Puede apreciarse cómo en los tramos troncales próximos a Madrid, el tráfico que discurre por una línea con dos vías se ramifica hasta en ocho líneas con 16 vías en la periferia (Elaboración propia. Cartografía: Luis E. Mesa)



¹ Una detallada descripción de las prácticas europeas de tráfico mixto “trenes de alta velocidad + mercancías” y de las repercusiones técnicas, comerciales y económicas de este tipo de explotación puede verse en los capítulos 9.5 y 9.6 del libro “Alta Velocidad en el Ferrocarril” del profesor López Pita (Ed. Comsa Emte, 2010).

construcción de estas líneas “periféricas” de alta velocidad.

Tipos de tráfico mixto. El transporte de mercancías en líneas de alta velocidad puede hacerse en trenes “ligeros”, semejantes a los de viajeros, tanto para el transporte de mercancías urgentes y paquetería, como para el transporte de vehículos (como es el caso de trenes que transportan coches y camiones, acompañados o no, por sus conductores).

Hay otro tipo de tráfico mixto que es el que se producirá cuando en una misma línea circulen simultáneamente trenes de viajeros a 250 o 300 km/h y además trenes de mercancías “convencionales” a velocidades de 100 o 120 km/h. A este tipo de tráfico mixto es al que se dedica atención en este artículo.

La compatibilidad de los tráficos (viajeros en alta velocidad y mercancías convencionales) en la misma línea se puede conseguir encaminando los trenes de mercancías por la noche, y los de viajeros por el día. Pero ello no siempre es posible: bien porque así no se llegue a conseguir la suficiente capacidad para los trenes de mercancías; bien porque los horarios que necesitan los clientes de mercancías no sean totalmente compatibles con esta estrategia; o bien, finalmente, porque sea necesaria una “banda de mantenimiento” que reduzca sensiblemente la capacidad de circulación de los trenes por la noche. En todos estos casos debe estudiarse la posibilidad de compatibilizar en ciertos horarios (que desde luego no serían en las ho-

ras-punta tráfico de viajeros) los trenes de viajeros de alta velocidad con los trenes de mercancías.

Medidas “convencionales” para el tráfico mixto. Para hacer posible la compatibilidad de trenes lentos y rápidos en la misma línea, suelen tenerse en cuenta dos condiciones en el diseño de las líneas: un trazado en planta con mayores radios de curva (que permite reducir el peralte para la misma velocidad de los trenes de viajeros y, en consecuencia, minimizar el “exceso de peralte” de los trenes de mercancías), y establecer los “apartaderos” (en los cuales los trenes de mercancías se desvían de la vía general para ser adelantados por los trenes rápidos de viajeros) más próximos entre sí.

Estas actuaciones, siendo necesarias, no son suficientes para permitir la compatibilidad segura y eficiente de los trenes de alta velocidad con los de mercancías convencionales en el mismo segmento horario. A nuestro juicio, y desde el punto de vista de la explotación, son inevitables además otras medidas complementarias si se desea no tener que reducir de forma significativa la velocidad de los trenes de viajeros por la coexistencia con trenes de mercancías.

Medidas para conseguir el tráfico mixto seguro y eficiente

Para hacer posible el tráfico simultáneo (de forma eficiente y segura) de trenes de alta velocidad y de mercancías convencionales son necesarias diversas medidas adicionales que se refieren a la distancia entre las vías

dobles (entreeje); al número y configuración de las vías en los puntos de adelantamiento, así como a otros dispositivos complementarios de seguridad. En este artículo se analiza de forma especial lo relativo a la distancia entre las vías (aumento del entreeje), que es el más relevante. El resto de las medidas adicionales que se estiman necesarias se enuncian someramente; puede encontrarse un análisis más detallado en García Álvarez (2010).

Aumento del entreeje

Para lograr mayor seguridad en el cruce es necesario disponer de un gran entreeje en los tramos en los se deban producir cruces con trenes de mercancías a velocidades relativas de más de 350 km/h (por ejemplo, a más de 250 km/h el tren de viajeros y de 100 km/h el de mercancías). Debe tenerse en cuenta que los trenes de mercancías presentan en ocasiones cargas, puertas o toldos fuera de gálibo; que se pueden producir desprendimientos de la carga (en España hasta contenedores vacíos han volado de su plataforma); o que (con más frecuencia de la deseada) hay vagones que circulan descarrilados durante kilómetros en la cola del tren de mercancías sin que el maquinista llegue a apercibirse. También hay que resaltar la importancia que tienen las fuerzas aerodinámicas, que se producen en el cruce de trenes sobre la peculiar resistencia estructural de los trenes de mercancías, estudiadas por Lozano (2010).

En todos estos casos, cuanto mayor sea el “entreeje” (definido como la distancia entre los ejes de las dos vías en

Tabla I. Diversos posibles tipos de tráfico mixto de mercancías y alta velocidad en la misma línea y panorámica de las medidas necesarias para hacerlos posible en condiciones de eficiencia y seguridad

Coexistencia con trenes de viajeros	En la misma banda horaria que trenes de viajeros hasta 220 km/h	En diferentes bandas horarias que los trenes de viajeros a más de 220 km/h	En la misma banda horaria que trenes de viajeros a más de 220 km/h
Tipo de tren de mercancías			
Trenes de mercancías ligeras	No son precisas medidas especiales	No son precisas medidas especiales	No son precisas medidas especiales
Trenes de mercancías convencionales aceleradas	No son precisas medidas especiales	No son precisas medidas especiales	Son necesarias algunas medidas especiales
Trenes de mercancías convencionales	No son precisas medidas especiales	Se precisan medidas de vigilancia y control	Son necesarias medidas especiales

una línea de vía doble), menor será la probabilidad de colisión o de impacto físico o aerodinámico. En el supuesto de que un tren descarrile hacia el lado interior de la vía doble (lo que tiene, en caso de descarrilamiento, una probabilidad de ocurrencia del 50%) es muy probable la colisión lateral del tren descarrilado con un tren que circula en sentido contrario por la vía contigua. Debe tenerse en cuenta que en la mayor parte de los casos de descarrilamiento, una vez que las pestañas de las ruedas de un bogie han remontado el carril, se produce un desplazamiento lateral de los ejes, del bogie y de la caja, hasta el punto en que las ruedas del otro lado alcanzan el carril contrario por la parte interior. A partir de ese punto, el carril hace de "guía" por su parte interior, impidiendo un mayor desplazamiento lateral.

Por ello, resulta especialmente importante alcanzar un valor del entreeje de manera que, cuando un vehículo descarrilado hacia el lado interior de la vía doble se mueva con las ruedas guiadas por el interior del carril contrario, la caja del vehículo no llegue a invadir el gálibo de la vía contigua. Para lograr este objetivo deben alcanzarse valores de entreeje de al menos 5,20 o 5,30 metros.

En suma, un entreeje de valor elevado tiene una gran importancia para incrementar la seguridad en la circulación y el confort de los viajeros. En concreto, un mayor entreeje:

1. Reduce la probabilidad de impacto con el tren de viajeros de cualquier elemento fuera del gálibo del tren de mercancías.
2. Reduce las posibilidades de impacto de un tren de viajeros (o de mercancías) con un tren descarrilado en la otra vía (de viajeros o de mercancías).
3. Reduce la presión aerodinámica en el cruce de los trenes de viajeros a alta velocidad (que producen hasta 700 km/h de velocidad relativa), mejorando el confort de los viajeros.
4. Aumenta la seguridad de los trabajadores cuando están manteniendo una de las vías mientras circulan trenes por la otra (actualmente esto es posible con una limitación de velocidad a 160 km/h).

Figura 2. Valores adoptados para el entreeje en líneas de diversas velocidades.
Fuente: López Pita (1993)

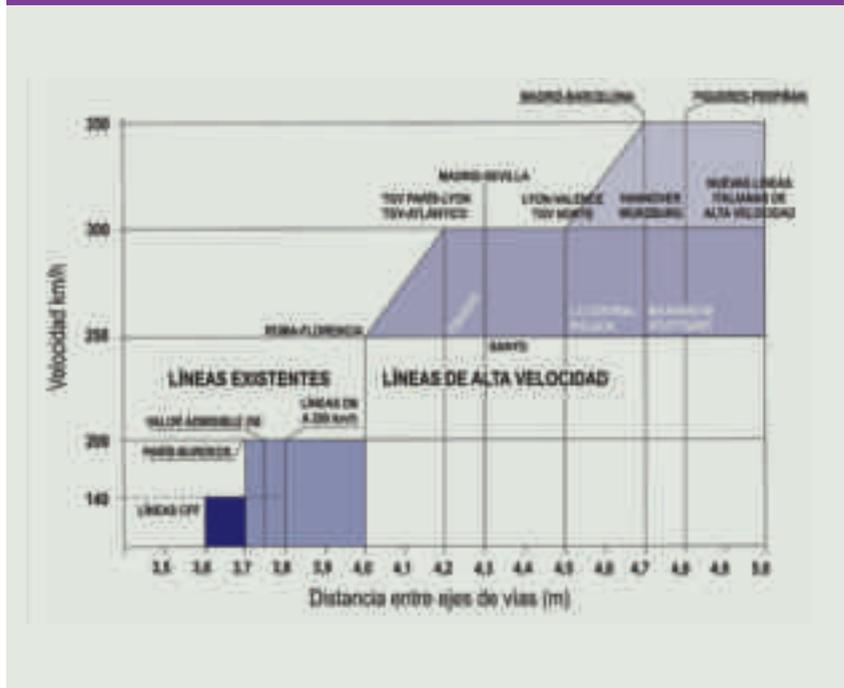
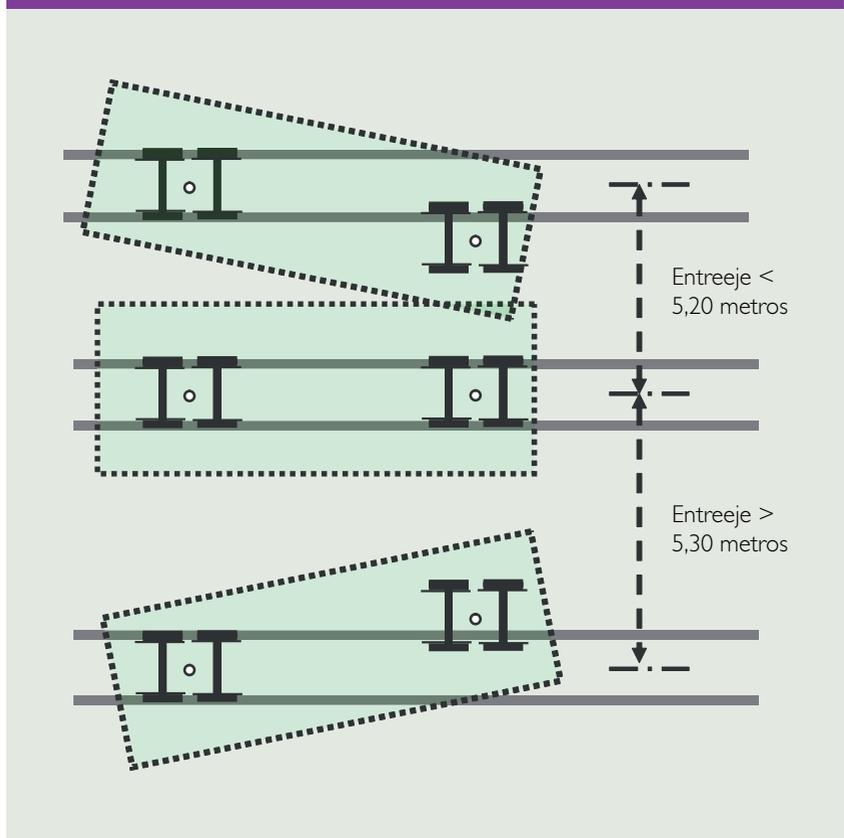


Figura 3. A partir de ciertos valores del entreeje (alrededor de 5,20-5,30 metros), un tren descarrilado que lleva una rueda guiada por el carril contrario puede no invadir el gálibo de la vía contraria, pero con entreejes menores siempre se produce la invasión del gálibo (Fuente: Elaboración propia)



5. Hace posible, con un adecuado diseño, que se pueda circular con tracción eléctrica por una de las vías mientras se trabaja en la catenaria de la otra (lo que con la disposición actual es complicado por la distancia entre conductores y por los efectos de inducción de la corriente alterna de una vía sobre la catenaria de la otra).

Otras medidas necesarias para hacer posible el tráfico mixto simultáneo

Número y disposición de vías en los apartaderos. Normalmente los puntos de adelantamiento (apartaderos) en las líneas de alta velocidad se diseñan con una vía de apartado a cada uno de los lados de las vías generales. Esta disposición puede ser aceptable (aunque desde luego no es la más eficiente por la posición lateral de la vías) para el tráfico normal de trenes de viajeros, pero no es la más adecuada para hacer posible el tráfico mixto. En este caso es necesario disponer de un número adecuado de vías de apartado en los puestos de adelantamiento.

Debe tenerse en cuenta que en estas líneas los trenes de mercancías deben explotarse "en baterías" de varios trenes del mismo tipo, seguidos entre sí. Como consecuencia de esta necesidad en cuanto al diseño de los horarios, cada "apartadero" debe tener tantas vías de apartado como trenes forman la batería.

Además, las vías de apartado en los apartaderos deben disponerse (al menos una parte) en el centro de las vías generales para disminuir el número total de vías de apartado necesarias, ya que el tráfico de mercancías en un sentido suele estar desplazado en el tiempo con respecto al otro sentido. Las vías de apartado en cada uno de los sentidos se utilizan a la vez (por cada uno de los trenes de la batería), pero el tiempo empleado en cada vía es relativamente corto y por ello el número de vías de apartado necesarias para el conjunto de los dos sentidos (si, por ejemplo, se sitúan en el centro) es menor que la suma del número de vías necesarias para cada uno de los dos sentidos.

Las vías de apartado deben tener suficiente longitud, no sólo para poder apartar trenes largos de mercancías, sino para lograr que la deceleración de éstos se produzca sobre la vía de apartado en lugar de realizarlo sobre la vía general. La velocidad de paso por la vía desviada debe ser adecuada a este objetivo, ya que si es muy reducida puede obligar a que una parte importante del proceso de deceleración se produzca sobre la vía general, reduciendo notablemente la capacidad de circulación por ésta.

Finalmente, es preciso recordar la necesidad de que los trenes de mercancías sean "inyectados" en las líneas de alta velocidad, con una alta precisión en cuanto al momento de su entrada en la línea y a la velocidad a la que lo hacen. Para ello debe disponerse, en los puntos de entrada a la línea, de apartaderos con número de vías suficientes para que los trenes de mercancías que vayan llegando de otras líneas se estacionen hasta el momento de su entrada a la línea de alta velocidad. La precisión exigida en cuanto al horario para la compatibilidad de trenes de viajeros y de mercancías de alta velocidad es incompatible con las llegadas aleatorias procedentes del resto de la red.

Reducción del número de cortes de vía para mantenimiento.

Es muy conveniente que se pueda circular en la línea de alta velocidad en los días laborables durante las 24 horas, al menos por una vía y con tracción eléctrica, de manera que se limiten los cortes simultáneos de las dos vías a ciclos semanales. De esta manera podrá encaminarse una parte significativa de los trenes de mercancías a los periodos nocturnos (en los que la demanda de este tipo de trenes es mayor) o periodos horarios intermedios en los extremos de la línea (por ejemplo, de 21 a 24 o de 5 a 7).

Es deseable que aunque una de las vías esté cortada por mantenimiento, por la otra se pueda circular con tracción eléctrica, porque la agregación y posterior segregación de una máquina diésel supone unas maniobras lentas (de 20 a 30 minutos), y además las prestaciones de las máquinas diésel en las líneas de alta velocidad (con ram-

pas de hasta 25 milésimas) son muy bajas. Puede estimarse una pérdida de unos 10 minutos en un trayecto de 30 kilómetros sin tensión. Estos tiempos adicionales, así como el coste económico de la máquina diésel se traducen en una notable pérdida de eficiencia.

Sistemas de vigilancia y señalización. Además de todas las medidas anteriores, es necesario dotar a la línea de disposición de sistemas de vigilancia adecuados (detectores de ejes descarrilados, de impacto vertical, de exceso de gálibo, etc.), que reduzcan los riesgos adicionales debidos a las peculiaridades del servicio de mercancías.

Los trenes de mercancías deben disponer de un sistema de señalización que permita al menos la supervisión continua de la velocidad. Si no tiene transmisión continua de información, las señales deberían estar dotadas de balizas "infill" para refrescar la información con cierta antelación, evitando reducciones de velocidad ante las señales que pueden ser muy perjudiciales para la explotación de la línea. Por otra parte, debe tenerse especial precaución al diseñar la longitud de los "cantones" en la entrada de los apartaderos: deben hacerse más cortos que los de vía general (por ejemplo, un cantón de 1.000 metros y otro de 500 m, en lugar de uno de 1.500 metros) para lograr que un tren de mercancías apartándose para ser adelantado no suponga una penalización en tiempo al tren de viajeros que circula detrás.

Ubicación de los postes de electrificación entre las dos vías

Para resolver muchas de estas necesidades del tráfico mixto (entreeje suficiente, protección frente a descarrilamientos, posibilidad de realizar mantenimiento en una vía y circular en la otra con tracción eléctrica...) se propone implantar los postes de electrificación entre las dos vías generales, en lugar de en los lados exteriores de éstas, como es habitual. Esta solución permite, incluso con una inversión menor, aumentar el entreeje, la seguridad en la circulación, la disponibilidad en la vía y la seguridad para los trabajadores en las labores de mantenimiento.

Con el fin de determinar el entreeje necesario puede partirse de la anchura del gálibo de implantación de obstáculos, que en las líneas españolas de alta velocidad es de 4.700 milímetros, cifra a la que hay que sumar la anchura del poste más ancho que es de 700 milímetros, lo que llevaría a un entreeje de 5.400 milímetros. Si se desea respetar la distancia de 1.900 milímetros entre la cara interior del poste y el exterior del carril llevaría a unos 5.950 milímetros de entreeje.

En las estaciones y apartaderos de las nuevas líneas españolas de alta velocidad (que, no lo olvidemos, están diseñadas para admitir trenes anchos, de hasta 3,4 metros de caja) los postes están situados entre la vía general (por la que se podría circular hasta 350 km/h) y la vía de apartado, siendo el entreeje de estas vías de 5.700 milímetros. Este valor intermedio (que ya se produce en la realidad) es el que se adoptará como referencia en este artículo, sin perjuicio de que, tras un análisis posterior de detalle pudiera determinarse otro valor más conveniente.

Desde el punto de vista económico, la ubicación de los postes en el centro no requiere mayor inversión. Si se mantiene la anchura de la plataforma (por ejemplo, 14 metros) puede ampliarse el entreeje de forma notable (pasando, por ejemplo, de 4,70 m a 6,30 metros) sin mayor inversión. Alternativamente, puede reducirse la anchura de la plataforma (por ejemplo de 14 m a 13,4 metros), y con ello se reduce la inversión en infraestructura, de forma compatible con un aumento del entreeje más modesto, pero significativo y útil (por ejemplo, de 4,70 m a 5,70 metros).

Desde el punto de vista del tratamiento mecánico de la sujeción de la catenaria, caben dos alternativas:

- Pueden emplearse los mismos postes para sujetar la catenaria de ambas vías (solución más económica que la actual).
- Pueden emplearse postes diferentes para cada una de las dos vías (solución con un coste similar al actual).

En cualquiera de los dos casos, se puede lograr, con una inversión igual o menor que la actual: un mayor entreeje y una barrera de separación entre

las vías, formada por los postes de la electrificación.

La presencia de postes entre las dos vías tiene efectos muy positivos con respecto a la seguridad en la circulación:

1. Crea una barrera que dificulta que un objeto desprendido de un tren llegue a impactar contra el tren que circula por la otra vía.
2. Hace que un tren descarrilado tenga más dificultad para invadir el gálibo de la vía contraria.
3. Actúa de "fusible", ya que si un tren descarrilado llega a tirar un poste en la entrevía (descarrilamiento que podría tener unas consecuencias letales si no hay postes en la entrevía) corta la tensión en la vía contraria, lo que supone una inmediata señal de parada a los trenes que circulan por la vía contraria, que probablemente tardarían bastantes segundos en recibir la información de la invasión del gálibo. (No debe olvidarse que un tren a 300 kilómetros por hora recorre 83 metros ¡cada segundo!).
4. Permite una separación física, fácilmente identificable, de la zona de

seguridad en los casos en los que se trabaja en una vía mientras los trenes circulan por la otra. Esta separación puede ser además mejorada de forma fácil, rápida y económica con la colocación de cintas entre los postes.

5. Reduce (para el mismo entreeje) la presión que soporta un tren al cruzar con otro y por ello, reduce los riesgos derivados de esta presión aerodinámica sobre la estructura del tren de mercancías.

Resulta indudable que la presencia de postes entre las dos vías crea una barrera que dificulta que objetos desprendidos de un tren, como pueden ser piezas, tornillos, piedras o trozos de hielo (que salen a gran velocidad pero formando un ángulo muy pequeño con la trayectoria del propio tren) lleguen a impactar con un tren en la otra vía. Aunque la separación de los postes sea del orden de 50 metros, el ángulo hace que con gran probabilidad impacte en el canto del poste antes del llegar al tren con el que se cruza. El mayor entreeje ayuda a ello.

Por otra parte, la ubicación de los postes entre las dos vías permite que

Figuras 4a y 4b. Secciones de plataforma en líneas españolas de alta velocidad con los postes en el exterior de la doble vía (situación actual) y en el centro (propuesta)

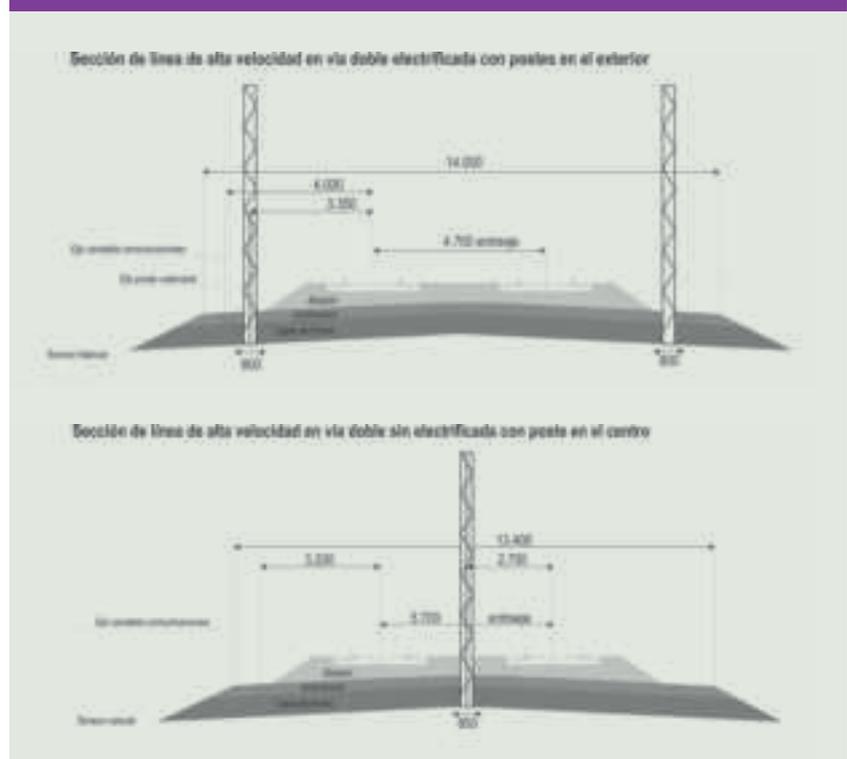


Figura 5. Los postes de la electrificación (abajo) crean una barrera que, junto al mayor entreje, hace difícil que objetos desprendidos de un tren lleguen a impactar contra un tren que circula en sentido contrario por la vía contigua

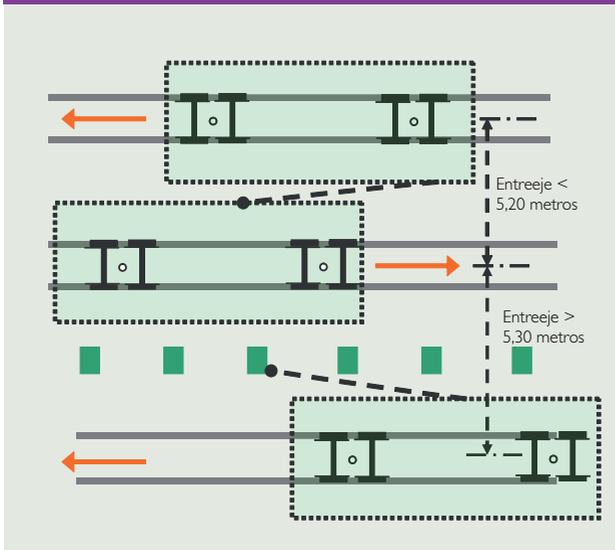
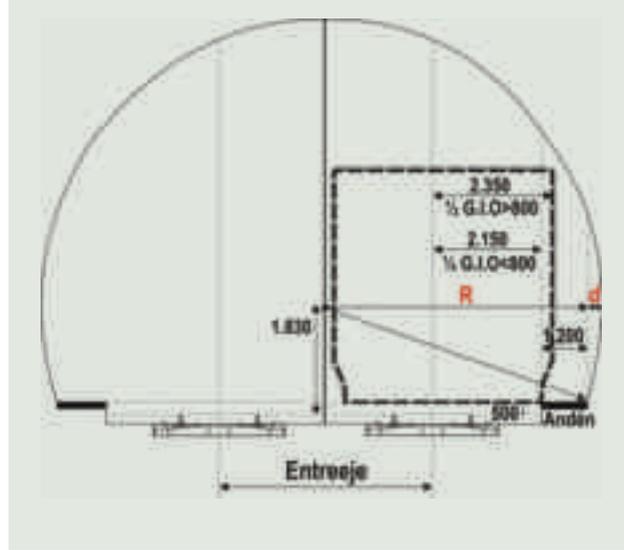


Figura 6. Sección del túnel monotubo en líneas de alta velocidad



los viajeros que viajan en lado exterior del tren puedan contemplar el paisaje sin la perturbación que supone el periódico cruce de los postes en su trayectoria visual (los que viajan en lado central ven postes sea cual fuere su posición: tanto si los postes están en el centro, como si están en los lados).

Inconvenientes. La ubicación de los postes entre la vías generales tiene algunos inconvenientes (que estimamos de menor entidad frente a las ventajas) que deben ser analizados, valorados y, en lo posible, resueltos en una investigación posterior que desborda el ámbito de este estudio preliminar. Entre ellos pueden citarse los siguientes:

1. Deben adoptarse nuevos procedimientos para los trabajos de mantenimiento, derivados de la menor distancia a los conductores de la vía contigua que son potencialmente activos.

2. Se producen nuevas (y diferentes) disposiciones de la sección transversal de los elementos de electrificación (por ejemplo, en puestos de banalización y en las zonas de escapes).

3. Es preciso resolver (probablemente con postes más altos) la posición de los feederes negativos y de los cables de guarda, que deben mante-

ner unas determinadas distancias con los cables activos de la catenaria.

La solución en puntos singulares

Desde luego esta solución (aumento del entreje y postes entre las dos vías) no puede extenderse a la totalidad de la línea: los postes no pueden ponerse entre las vías en las zonas de escapes (donde, sin embargo, sí que puede mantenerse el entreje aumentado), ni en todos los túneles monotubo de vía doble (donde el aumento de la sección podría suponer un coste mayor). Ello no debe ser obstáculo para obtener las ventajas apuntadas en la mayor parte de la línea, sin perjuicio de que pueda ser necesario reducir la velocidad del tren de viajeros en los túneles monotubo de sección muy reducida (y solo en ellos) en los periodos de tiempo en que pasen trenes de mercancías (y sólo en estos periodos).

La problemática de los túneles

Con respecto a la problemática de los túneles, cabe plantearse en qué túneles es posible mantener el entreje de 5,700 milímetros (lo que permitiría, si se desea, poner postes en el centro y, desde luego, no habría que hacer transiciones para cambiar de entreje en los extremos del túnel).

En los casos en los que no sea posible alcanzar el entreje de 5,700 milímetros en el túnel, no se podrían poner los postes en el centro (lo que no tendría ninguna importancia puesto que pueden anclarse a la bóveda, como se hace habitualmente) y además sería necesario: por una parte, establecer transiciones para pasar del entreje a cielo abierto de 5,500 milímetros al entreje del túnel de 4,700 o 4,800 milímetros, lo que supondría unas transiciones de hasta 700 metros de longitud en la entrada y salida del túnel para poder mantener la velocidad de 300 km/h con el necesario nivel de confort (éste es un valor máximo ya que, como se verá, en la mayor parte de los casos se puede mantener en túnel el entreje de 5,700 milímetros).

Por otra parte, el tener un entreje más reducido en túnel podría aconsejar, por razones de seguridad, limitar en estos túneles la velocidad de los trenes de viajeros al cruce con los trenes de mercancías.

Resulta, pues, de máximo interés conocer en qué casos puede mantenerse el entreje de 5,70 metros en el túnel (lo que comporta las ventajas apuntadas) o, por el contrario, en qué casos no puede llegarse a este entreje sin aumentar la sección del túnel por encima del mínimo necesario (lo que implica los inconvenientes descritos).

Para determinar el radio mínimo interior del túnel compatible con el entreeje de 5.500 milímetros hay que tener en cuenta los siguientes sumandos:

- Los 1.200 milímetros necesarios, según la normativa vigente de seguridad, para un paseo o andén de evacuación, situado a una altura de entre 350 y 500 mm sobre el carril.

- Los 2.150 milímetros que se corresponden con la mitad del “gálibo de implantación de obstáculos” a esta altura (entre 400 y 800 milímetros sobre el carril), que es de 4.300 milímetros (el valor característico de 4.700 mm sólo se presenta en cotas por encima de 800 mm sobre el carril).

- La distancia horizontal (d) entre el final exterior del andén y la mayor anchura del túnel. Para calcularla hay que tener en cuenta que la altura máxima del andén, según la Instrucción para la Seguridad en los Túneles Ferroviarios (ISTF), es de 500 mm sobre el carril (¿por qué la norma no permite andenes a 760 mm que harían posible una evacuación más fácil y rápida?). Por tanto, el andén está situado en una cota inferior al centro del círculo teórico del diámetro interior del túnel (ubicado según la recomendación IGP-4.2. a 1.830 mm sobre el carril) y es preciso sumar la reducción de anchura del túnel en esta cota que es $(R^2 - (1.830 - 500)^2)^{1/2}$.

- La mitad del entreeje, que es la incógnita a despejar:

Por tanto, el radio necesario del túnel para poder tener este entreeje es de 6.360 milímetros. Para determinar en qué casos puede alcanzarse ese radio (y por ello el entreeje de 5,70 metros) debe tenerse en cuenta que existe una relación entre la sección libre del túnel (que es la que exige la aerodinámica) y el radio interior del túnel.

En la tabla se indican, para diversos valores del radio interior del túnel (en el supuesto del centro de círculo a 1.830 mm sobre el carril) el entreeje mínimo compatible con la anchura de andén de 1.200 milímetros y la sección correspondiente.

Ello significa que todos los túneles para dos vías con una sección igual o mayor de 85 metros cuadrados permiten un entreeje de 5.500 milímetros. Se trata ahora

Tabla 2. Valores del entreeje posible en túnel, en función del radio interior y de la sección libre del túnel en líneas de alta velocidad

Radio interior (mm)	Entreeje posible (mm)	Sección libre (m ²)
5.860	4.714	65
6.060	5.124	75
6.260	5.534	75
6.460	5.943	95
6.660	6.352	105
6.860	6.760	115
7.060	7.167	125
7.260	7.574	135
7.460	7.981	145
7.660	8.387	155

de determinar qué túneles precisan esta sección por motivos aerodinámicos.

Atendiendo a las instrucciones de Adif para el cálculo de la sección de túneles (IGP 4.1.), basada a su vez en la ficha 779-11 (2ª Edición, Febrero 2005) de la UIC, puede establecerse una relación entre la longitud del túnel y la sección necesaria por motivos aerodinámicos.

Esta relación está expresada en la figura. En ella se observa que todos los túneles requieren por aerodinámica una sección superior a 85 metros cuadrados y por ello, prácticamente todos permiten el entreeje de 5,70 metros.

Escapes

En los escapes y en algunos (muy pocos) túneles de pequeña sección,

será precisa una actuación inteligente del diseñador del trazado para resolver las discontinuidades de la sección transversal de la plataforma en las zonas en las que necesariamente los postes de la electrificación deban estar en el exterior de las vías: por ejemplo, en las zonas de los escapes. Probablemente también será necesario reducir, en algún caso y ligeramente, el entreeje a la entrada de los túneles con transiciones adecuadas.

El origen de la posición de los postes

Las ventajas de la ubicación de los postes en el centro de las vías son tan evidentes que cabe preguntarse por qué no se instalan siempre en las líneas nuevas de esta manera. No hay



Los postes entre las vías son frecuentes en líneas urbanas de nueva construcción y en líneas de alta velocidad en las estaciones, como es el caso de Olmedo.

respuestas claras a esta pregunta. Desde nuestro punto de vista la ubicación de los postes en la parte exterior de las vías no obedece a ninguna razón técnica ni de explotación, sino que probablemente tiene su origen en razones históricas.

En efecto, en la mayor parte de los países de nuestro entorno las dobles vías se remontan a principios de siglo XX, mientras que las electrificaciones de las líneas de vía doble no comenzaron en España hasta el año 1928 (Barcelona a Manresa). Hasta que se constituyó Renfe en 1941 únicamente había tres tramos de vía doble electrifi-

cada en la red (además del tramo citado, los de Alsasua a Hendaya, en 1929 y el de Bilbao a Portugalete en 1933). Por ello, cuando los ingenieros de la electrificación llegaban para instalar la catenaria en una línea importante, ya estaba instalada la vía doble y sólo podían poner los postes en el exterior. Sin embargo, son muy numerosas las líneas de nueva construcción (especialmente tranvías urbanos en los que la anchura de la sección transversal es importante) en las que los postes se ubican entre las vías sin que ello represente ningún problema técnico o de explotación. ■



La vía doble se implantó, en general, antes que la electrificación en las líneas principales, lo que obligó a ubicar los postes en el exterior de las vías, en lugar de en el centro como hubiera sido lo lógico.

Bibliografía

- GARCÍA ÁLVAREZ, A. (2009): "Electrificación y trazado de ferrocarriles", en III Curso de Diseño de líneas CEDEX.
- GARCÍA ÁLVAREZ, A. (2010): "Requerimientos, desde el punto de vista de la explotación, del tráfico mixto de trenes de alta velocidad y mercancías convencionales" en "Los umbrales técnicos de la compatibilidad del tráfico mixto de alta velocidad y mercancías", Fundación Caminos de Hierro, Córdoba, junio de 2010.
- LÓPEZ PITA, A. (1993): "Criterios de planificación de las nuevas infraestructuras ferroviarias". Revista: Situación. Banco Bilbao-Vizcaya, 37-64.
- LÓPEZ PITA, A. (2001): "La explotación de línea de alta velocidad en tráfico mixto: experiencias disponibilidad disponibles y tendencias".
- LÓPEZ PITA, A. (2008): "Infraestructuras ferroviarias", en colección "Temas de Transporte y territorio", TTT, Ediciones UPC, Barcelona, 2006.
- LÓPEZ PITA, A. (2010): "Alta velocidad en el ferrocarril" en colección "Temas de Transporte y territorio", TTT, ed.: Ediciones UPC y Comsa-Emte, 2010).
- LOZANO DEL MORAL, A. (2010): "Problemática del cruce de trenes de mercancías con trenes de alta velocidad por consideraciones aerodinámicas" en IV Jornadas de Ingeniería para la alta velocidad, Fundación Caminos de Hierro, Córdoba, junio de 2010.

Figura 7. Sección necesaria en un túnel (por motivos aerodinámicos) en función de su longitud

