

Mejoras del *rendimiento* de la *línea de alta* *velocidad* al cambiar el ancho del resto de la *red* *ferroviaria*

Lluís Battle i Gargallo, Dr. Ingeniero Industrial

El objeto de este estudio es profundizar sobre si el modelo adoptado para los trenes de viajeros en España, es decir, líneas de alta velocidad (AV) con ancho de 1.435 mm y resto de la red mantenida con el de 1.668 mm es realmente el más adecuado.

1.- Planteamiento

El éxito económico de las grandes inversiones en líneas de AV exige que puedan encaminar tráficos elevados a base de absorber trenes de otras líneas que, fuera del tramo común a AV, continúan por las líneas clásicas.

Cuando el ancho de vía de la red clásica es diferente, como sucede en España, aparece un problema. Hay que optar por dejar la línea de AV sin aportaciones de la red clásica, introducir los viajeros a través de uno o dos transbordos o utilizar una de las tecnologías de cambio de ancho, con la penalización de tiempos que esto supone tanto por las operaciones de cambio de ancho al entrar y salir como por la menor velocidad que se puede desarrollar.

El modelo previsto para España en el año 2004 (cuando esté en servicio toda la línea de AV Sevilla - Madrid - Barcelona - Perpignan) es tener esta línea de ancho normal de

1.435 mm superpuesta a la red clásica de ancho ibérico de 1.668 mm. No se prevé cambio de ancho en ninguna línea y los trenes que hayan de pasar de una red a otra se prevén con la tecnología Talgo de cambio de ancho de los vehículos remolcados, como se hace ahora en Irún, Portbou, Madrid, Córdoba y Sevilla.

El citado sistema Talgo está ya comprobado ampliamente desde su implantación en 1969 entre Barcelona y Ginebra. El único inconveniente que, según las noticias, mejorará, es que la operación hay que hacerla a paso de hombre y que, hasta ahora, hay que cambiar la locomotora. Al final comentaremos un desarrollo del sistema para cambiar también el ancho de la locomotora.

2.- El cambio de ancho

El cambio de ancho de la red ibérica tiene un coste dinerario de 8 Mpta/km si se simultanea con las renovaciones de vía y de material a lo largo de 20 años, y con unas molestias de transbordo valorables en otras 3 Mpta/km con las ventajas de:

- Reducción de los costes de capital inmovilizado en el material móvil al poder utilizar el parque de vagones europeo,

- Mayor grado de remuneración que daría el tráfico entre África y Europa si en España sólo hay que poner la locomotora, sin intervenir en cargues, descargues ni formación de trenes,
- Disminución del coste del transporte internacional y la mayor competitividad de las empresas españolas en el mercado europeo,
- Poder utilizar material ferroviario europeo de serie, sin costes de adaptación al ancho ibérico,
- Disminución de gastos de conservación de carretera por mayor eficiencia del ferrocarril,
- Ahorro de accidentes de carretera, y de sus primas de seguro, por disminución de camiones de tráfico internacional,
- Aumento de velocidad posible a igual peralte, debido a la menor separación de carriles,
- Mejora del impacto del tráfico en el ambiente, al aumentar la cuota del ferrocarril en el total del transporte,
- Permitir, como ocurre en Europa, que los trenes de AV puedan continuar viaje por la red clásica, evitando las limitaciones del sistema Talgo y los transbordos,

- Aumentar la velocidad media de los trenes que salen de la línea de AV mejorando el fruto de la inversión hecha en ella.

Este artículo pretende profundizar en la última de las ventajas enumeradas.

Si el coste de 1.000.000 Mpta de la construcción de la línea de AV Madrid - Barcelona - frontera, se complementa con 3.200 Mpta/año que supone el cambio de ancho de la red clásica española en 20 años (65.000 Mpta en total, el 6,5%), mejora grandemente el fruto de la inversión.

Se supondrá que, en el 2004, habrá una línea de AV de 1.435 mm de ancho que, saliendo de Sevilla y pasando por Madrid, Zaragoza y Barcelona enlazará con la red europea en Perpignan con velocidad máxima de 300 km/h entre Sevilla y Madrid y de 350 km/h entre Madrid y Perpignan.

Se supondrá que todos los trenes que pueden substituir su itinerario por el de la actual línea de AV, como son los de Madrid a Huelva o a Algeciras, por ejemplo, son substituídos. No se tendrá en cuenta ninguna posible restricción a causa del parque de material. Se dispone de todas las

el viajero no se mueve del asiento. La única variación que puede percibir (suponiendo vehículos con igual confort) es la disminución del tiempo de viaje.

Se tiene así un conjunto de 234 trenes con un recorrido total de 169.552 km, hechos en un total de 111.539 minutos. De ellos, sólo tienen recorridos parcialmente coincidentes con las líneas de AV 98 trenes, con un recorrido total de 93.342 km, con una suma de tiempos de 63.576 minutos. Sobre éstos se hará el estudio.

4.- Distancias de cálculo

No son conocidas las distancias de la nueva línea entre Perpignan y Madrid, pero, tanto de los mapas como de las informaciones que han ido saliendo, se pueden utilizar las siguientes:

Perpignan		0
Barcelona	175	175
Perafort	99	274
Zaragoza	219	493
Madrid	307	800
Córdoba	344	1.144
Sevilla	127	1.271

Se considerarán cambiadores de ancho para trenes Talgo en las estaciones de Zaragoza, Perafort y Barcelona para poder entrar y salir de la línea de AV cuando convenga. Perafort es una estación situada en el centro del triángulo formado por Reus, Tarragona y Valls, que servirá estas tres ciudades.

5.- Velocidades a considerar

En cuanto a las velocidades, hay que basarse en los hechos actuales. Los trenes de AV actuales entre Madrid y Sevilla (471 km) tardan 2h 15m si son directos, 2h 25m si paran en Córdoba, y 2h 30m si paran también en Puertollano y Ciudad Real.

Los trenes Talgo de ancho cambiante, que circulan por la línea de AV a una máxima de 200 km/h, tardan entre 1h 58m y 2h 5m entre Madrid y Córdoba (344 km) sin



La instalación de cambio de ancho de Portbou. A medida que la composición avanza, tanto en un sentido como en otro, las guías verdes desplazan las ruedas; los carriles rojos dejan primero libres los soportes y después del cambio vuelven a inmovilizarlos en la nueva posición

3.- Ambito del estudio

El ámbito del estudio es el conjunto de los trenes clasificados como de "largo recorrido" en RENFE, durante la primavera de 1998. Los trenes están formados por ramas que se juntan y se separan para aprovechar economías dinerarias y de ocupación de vía en los tramos comunes. El considerar cada rama como un tren independiente se aviene más con la presentación que se hace a los viajeros y que se refleja en los prospectos.

composiciones Talgo o de AV que se necesitan en cada hipótesis. Tampoco se tienen en cuenta los trenes o ramas que circulan sólo en época de vacaciones.

Estas hipótesis son discutibles pero, para hacer cálculos numéricos, hay que definir unas concretas y claras. De no hacerlo así, no hay cálculos y sólo quedan los adjetivos.

Como, tanto en el sistema Talgo de España como en la irradiación sobre red clásica practicada en Europa,

cambiar de ancho y entre 3h 12m y 3h 15m de Madrid a Sevilla con un cambio de ancho.

Fuera de la línea de AV, los trenes Talgo desarrollan unos tiempos entre Sevilla y Cádiz (155 km) de entre 1h 32m y 1h 43m, con cuatro paradas. Entre Córdoba y Málaga (193 km) tardan entre 2h 2m y 2h 19m, con un número de paradas que oscila entre dos y cuatro, incluyendo en este caso un cambio de ancho.

Aunque el cambio de los horarios es complejo y variable de una línea a otra, un ajuste sobre estos datos permite calcular el tiempo de un tren de origen a destino por la fórmula

Tiempo en minutos = $R \cdot 60 / V + 4 \cdot (P+1) + 15 \cdot A$ siendo R el recorrido en kilómetros, V la velocidad en km/h, P el número de paradas intermedias y A el número de veces en que se cambia el ancho. La velocidad en km/h es de 210 para los trenes de AV en su línea, de 180 para los trenes Talgo en la misma y de 115 para ambos trenes sobre la red clásica.

En la nueva línea de AV entre Madrid y Francia, la velocidad máxima será de 350 km/h y esto permite suponer que la media de cálculo de 210 km/h, con los mismos márgenes de regularidad incluidos, pasará a ser de $350 \cdot 210 / 300 = 245$ km/h.

Aceptadas estas velocidades, así como las distancias señaladas antes, es fácil calcular la diferencia de tiempos que supone hacer servir composiciones de AV o trenes Talgo de ancho variable. Cada kilómetro recorrido sobre la línea de AV nueva supone una diferencia de

$60 \cdot (1/180 - 1/245) = 0,0884$ minutos

6.- Cálculos de tiempos

En definitiva, respecto los 98 trenes que circularán en parte por las líneas de 1.435 mm y en parte por la red actual, se va a comparar:

- La situación prevista de trenes Talgo con cambio de ancho al cambiar de red, suponiendo que circulará a una media de 180 km/h en la línea



La nueva cabeza motriz evitará este proceder: un Talgo procedente de Francia tiene que entrar en Portbou empujado lentamente, con un hombre que va indicando por teléfono al maquinista cómo están las señales o si hay que ferner por algún imprevisto

de AV y a 115 km/h fuera de ella, con una pérdida de 15 minutos cada vez que haya de cambiar de ancho.

- La situación hipotética de tener la red actual cambiada de ancho y el uso de material de AV como se hace habitualmente en Europa, que circularía a una media de 245 km/h y a los mismos 115 km/h, respectivamente.

Se respetan las paradas actuales de los trenes, contándolas a 4 minutos cada una. Entre Perpignan y Madrid se limitan a las cinco de la nueva línea: Girona, Barcelona, Perafort, Lérida y Zaragoza.

Con este procedimiento, se obtiene para el conjunto de los 98 trenes el resultado siguiente:

Pero una conclusión que no ofrece dudas es la de que tener el ancho de vía europeo en España rentabiliza más la nueva línea de AV.

La nueva línea de AV va a reducir los actuales 387 minutos entre Madrid y Barcelona a 170. Ahorra 217 minutos en este viaje. Sabiendo que actualmente hay 14 trenes, dejo al lector que decida el número de trenes futuro (20, 30, 40,...), y, por tanto, el de minutos, sobre el cual repartir los 1.000.000 Mpta del coste de la línea, que se gastarán en cinco años. Oscilará entre 600 y 300 Mpta/min.

En cambio, la relación entre los 65.000 Mpta del cambio de ancho, que se justifican por la serie de ventajas relacionadas en el punto 2, y los

Minutos de viaje				Kilómetros recorridos	
Trenes	Ancho red	Trenes Actuales	Talgo cambiado	Actual	Previsto
98	63.576	49.054	45.336	93.342	91.060

La diferencia es de 3.718 minutos, 38 minutos por cada uno de los trenes afectados.

Los datos de este cuadro se presentan a muchas comparaciones, la mayoría de las cuales serían engañosas.

3.718 minutos ahorrables en trenes de largo recorrido es de 17 Mpta/min, a repartir en 20 años.

Estas dos cifras no pueden compararse sin muchas correcciones, como son el número de trenes, viajeros

por tren, etc. Los coeficientes son muy opinables y debe fijárselos cada lector, pero dejan ver claramente que la rentabilidad del cambio de ancho es aun más grande que la de la AV.

Vuelvo a recordar que ésta no es una razón determinante para decidir el cambio de ancho sino una simple comprobación de que las razones expuestas en el punto 2 son bien reales.

7.- El nuevo Talgo

La nueva generación de trenes Talgo, con una velocidad de 220 km/h y un coche motor con ejes también de ancho variable, reduce diferencias frente al de AV. La velocidad media que se le va a suponer resulta de la interpolación de los dos datos reales de la Madrid - Sevilla: 180 km/h cuando la máxima es de 200 km/h y 210 km/h cuando la má-

xima es de 300 km/h. Resulta una velocidad media de cálculo de tiempos de 190 km/h.

En cuanto al tiempo perdido por cambio de ancho, no hay noticia de que se vaya a efectuar a velocidad

Repetiendo los cálculos con esta velocidad de 190 km/h en vez de 180 km/h sobre la línea de AV y con un tiempo de cambio de ancho de 10 minutos, el cuadro anterior pasa a ser

Trenes	Minutos de viaje			Kilómetros recorridos	
	Actuales	Trenes talgo	Ancho red cambiado	Actual	Previsto
98	63.576	48.113	45.336	93.342	91.060

mayor que la actual de paso de hombre; sí es seguro que se suprimirá el tiempo perdido por cambio de locomotora, que es de unos 5 minutos. Se supone así que este nuevo Talgo reducirá el tiempo de cambio de ancho a una media de 10 minutos. El tiempo de circulación a paso de hombre depende grandemente de la longitud del tren.

La diferencia se reduce a 2.777 minutos, el ahorro de tiempo por tren baja a 28 minutos y la relación entre el coste del cambio de ancho y los minutos ahorrables en trenes de largo recorrido pasa a 23 Mpta/min.

Pero, recordando el punto 2, nada de cuanto se ha ido exponiendo queda invalidado. ■

Aparato supersónico para la siderurgia

Se ha presentado el primer sistema para inyectar gases y sólidos en hornos eléctricos de arco a velocidad supersónica, lo cual supone una importante mejora en la industria siderúrgica. El llamado *Burnjector* fabricado por BOC Gases de Guildford, al sur de Inglaterra, no sólo puede reducir el consumo de energía de los procesos siderúrgicos sino que es un sistema más sencillo que los convencionales.

Un portavoz de la Compañía ha explicado que "el nuevo sistema se puede utilizar en hornos eléctricos de arco en los que se funde la chatarra para reciclarla. Para que el proceso sea más eficiente y conseguir un acero con las especificaciones adecuadas, es importante que el oxígeno y el carbón sólido penetren perfectamente en el interior del acero fundido. En los sistemas convencionales el oxígeno se inyecta a gran velocidad a través de una lanza

pero, como el aire que hay alrededor está quieto, el chorro de oxígeno se expande rápidamente. En el nuevo Burnjector utilizamos una innovadora boquilla que crea una especie de protector supersónico de la llama que evita que el chorro de oxígeno que sale por su interior roce contra el aire que lo rodea. De este modo, el chorro se mantiene muy fino a lo largo de unos 6 m, frente al metro o dos metros que suele tener el chorro de los sistemas convencionales. Como se puede utilizar el mismo sistema para inyectar el oxígeno, el carbón y para crear la llama, el sistema es más sencillo de manipular y controlar que los que producen la llama y el chorro independientes".

BOC (antigua British Oxygen) asegura que el *Burnjector* se ha probado ya con éxito en una siderurgia de Sydney donde ha demostrado que puede atravesar y mezclar el acero con mucha mayor eficiencia y aumentar la escorificación de espuma,

parte importante del proceso de fabricación de acero. **Cris Feldermann**, ingeniero principal de BOC, creador del nuevo sistema, ha dicho; "Creemos que el *Burnjector* supone un avance importante en la tecnología de la combustión y la inyección y puede suponer una contribución importante para mejorar la eficiencia de los hornos eléctricos utilizados en siderurgia".

BOC Gases, líder mundial en el suministro de gases industriales a las industrias metalúrgicas, forma parte del Grupo BOC, uno de los principales suministradores de gases a nivel mundial y expertos en tecnología de producción, distribución y uso de los mismos. Más del 10% de las ventas de BOC Gases durante 1997 se realizaron en el sector metalúrgico, cuya demanda aumenta a un ritmo del 14% anual. En los últimos 18 meses el grupo BOC ha firmado contratos de suministro con otros 16 clientes de todo el mundo. ■