



Cambiadores de ancho, trenes de ancho variable y tercer carril. Nuevas soluciones a un viejo problema

En este artículo se describen y analizan los nuevos sistemas desarrollados, probados e implantados en España para solucionar el problema de la diferencia de ancho de vía entre el ancho ibérico y el ancho internacional, que es el empleado en las nuevas líneas de alta velocidad. Los trenes capaces de cambiar el ancho de vía, las instalaciones fijas asociadas (cambiadores de ancho), así como la vía con tres carriles para dos anchos y la catenaria polivalente son analizados en este trabajo.

Es bien sabido que el ancho de vía clásico de la red ferroviaria española (1.668 mm entre caras internas de carriles) es diferente del ancho estándar de la mayor parte de la red europea (1.435 mm). El ancho de vía empleado en España es muy similar al ancho normal portugués, por lo que suele denominarse *ancho ibérico*.

El ancho de vía estándar (también llamado internacional e, impropriamente *ancho UIC*), por su parte, se emplea en las líneas francesas, en las de la mayor parte de los países europeos, y también en las nuevas líneas españolas de alta velocidad.

Los trenes no pueden pasar normalmente de líneas con un ancho de vía a líneas con otro, por lo que la existencia de fronteras entre las redes de diferente ancho ha sido un problema para la explotación y para los clientes, que tradicionalmente ha hecho necesario el trasbordo o cambio de tren.

Los puntos de cambio de ancho están situados en las fronteras con Francia (ya que en la red española el ancho existente es el ibérico y en la francesa el ancho estándar); pero también hay fronteras en estaciones españolas, ya que aunque predomina el ancho

de vía 1.668 mm, existen en España líneas con ancho de vía inferior (1.000 mm y otros) dando lugar a otras *fronteras*.

Además, la decisión de construir las nuevas líneas españolas de alta velocidad en ancho estándar, adoptada en 1988, hace que hayan aparecido nuevas fronteras entre los dos anchos (y los problemas asociados). Una eventual decisión de extender al ancho estándar a otras líneas convencionales, al objeto de mejorar las comunicación y los tráfico de mercancías con el resto de Europa, iría trasladando las actuales fronteras con Francia hacia otros lugares y, probablemente, aumentando el número de puntos de transición de forma provisional o definitiva, según la estrategia de transformación al escenario final adoptado.

Para solventar ese problema se han ensayado y aplicado en diversas épocas y en otros lugares algunas acciones puntuales que pueden agruparse en tres tipos de soluciones:

- Facilitar, mejorar y hacer más sencillo el trasbordo y el cambio de vehículo.
- Emplear vías de tres o cuatro carriles para que los trenes de cualquiera de los dos anchos de vía puedan pasar de una red a otra.



Alberto García Álvarez

Ingeniero Industrial del ICAI (1977), Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales, Licenciado en Derecho y periodista. Ha trabajado en RENFE y en el GIF. Actualmente trabaja como Investigador y Asesor en la Fundación de los Ferrocarriles Españoles y es profesor en el ICAI, y en el Master de Sistemas Ferroviarios.

Comentarios a:
comentarios@icai.es

- Aplicación de sistemas que permiten a los trenes, o algunos de sus vehículos, cambiar el ancho de vía. Dentro de estos sistemas hay tres variantes: cambio de ejes de los vagones o coches; cambio de bogies completos; cambio de ancho de vía de un vehículo o de un grupo de vehículos.

En este artículo se trata de las soluciones sin trasbordo implantadas en España que vienen aplicándose con gran éxito desde 1969 y que cada vez permiten más prestaciones y mejores condiciones de explotación.

Sistemas de cambio automático de ancho

Los sistemas de cambio automático de ancho permiten a los trenes pasar de una línea con un ancho de vía ibérico a otra con ancho de vía internacional —o viceversa— variando la distancia entre las ruedas, sin cambiar los ejes ni los bogies, de forma automática y mientras pasa el tren por la instalación.

Estos sistemas se basan en que, al paso por una instalación denominada *cambiador de ancho*, las ruedas del tren se descargan de su peso, pasando el coche a estar apoyado sobre unos carriles laterales elevados. Una vez que las ruedas ya no soportan peso, se liberan los cerrojos que impiden su desplazamiento lateral. Tras ello, las ruedas encuentran unos carriles convergentes o divergentes que las llevan a su nueva posición, y finalmente se vuelven a encerrojar. Todas estas operaciones se realizan de forma automática mediante accionadores mecánicos que encuentra el tren al avanzar linealmente por la instalación.

Los cambiadores de frontera: primera generación

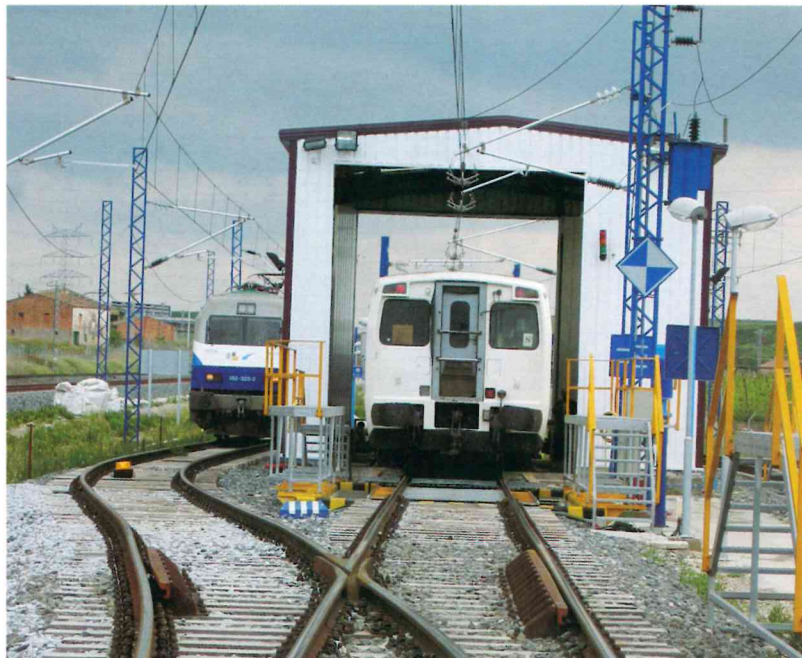
Los diversos cambiadores de ancho pueden agruparse en tres generaciones, según el motivo y época de su instalación, teniendo en común muchas características técnicas y operativas similares los de cada generación.

El primer cambiador se instaló en la factoría Talgo de Aravaca, y en él se realizaron los ensayos del tren experimental de Rodadura Desplazable (Talgo RD) en 1967, con un Talgo RD experimental que hizo un viaje de demostración de Madrid a París el 12 de noviembre de 1968. Para este viaje se instaló un cambiador en Irún.

A la vista del éxito de esta —entonces— revolucionaria experiencia, se fabricaron los

Tabla 1. Longitud de líneas de la red por ancho de vía

	Km	%
Vía métrica (1.000 mm)	19	0,15
Ancho ibérico (1.668 mm)	11.823	90,14
Ancho estandar (1.435 mm)	1.233	9,41
Ancho Mixto (1435 / 1668 mm)	39	0,29
Total	13.114	100,00



En los primeros cambiadores (como es el de Lérida que aparece en la foto) podía pasar el tren, pero no la máquina que debía reemplazarse en el cambiador. Esto se ha mejorado recientemente y en la actualidad ya pueden pasar máquinas y trenes completos. (Foto: Sergio López Lara).

primeros trenes comerciales y se construyó, ya con vistas a su explotación regular, un cambiador en PortBou. Por este cambiador, el día 1 de junio de 1969 comienza a circular regularmente el Tren Talgo III RD que unía Barcelona con Ginebra. Desde mayo de 1974 circula, además, por el cambiador de Portbou el tren Talgo de camas que cubre la ruta de Barcelona a París. Este tren continúa circulando, explotado por la agrupación hispano francesa Elypsos, con el nombre de Joan Miró. En mayo de 1981 se puso en servicio otro cambiador en Irún, para permitir el paso del tren Talgo RD (este Pendular) que unía Madrid con París en 13 horas. Este tren sigue circulando y es explotado también por Elypsos con el nombre de Francisco de Goya.

Los primeros cambiadores de ancho de vía se instalaron, pues, en las fronteras con Francia para el paso de los trenes Talgo de Rodadura Desplazable (RD). Estos trenes tienen la posibilidad de cambiar el ancho de vía

Tabla 2. Ubicación y características de los cambiadores de ancho

Cambiador	Años funcion.	Gen.	Uso cambiador enero de 2007 /trenes sentido en día medio	Tecnología cambiador (1)
Aravaca	1967-2001	1	Desmantelado	Talgo F
Irún	1968-1968	1	Desmantelado	Talgo F
Portbou	1969-	1	T.París y otros / 7	Talgo F
Irún	1980-	1	T. París / 2	Talgo F
Barcelona-Pueblo Nuevo	1969-1988	1	Desmantelado	Talgo F
Las Matas I	1980	1	Mantenimiento	Talgo F
Barcelona-Sant Andreu Comptal	1988-	1	Mantenimiento	Talgo F
Madrid-Puerta de Atocha	1992-	2	Pasos a las Matas	Talgo F
Córdoba	1992-2006	2	Sin uso	Talgo F
(Sevilla) Majarabique Talgo	1993-	2	T.Cádiz, Huelva / 2	Talgo F
Beasaín (factoría CAF)	1999-	-	Sin uso regular	CAF F
(Sevilla) Majarabique CAF	1999-	-	Sin uso regular	CAF F
Lleida	2003-2006	2	Sin uso. No se puede acceder	Talgo F
Río Adaja	2001-	3	Pruebas	Dual / V
Plasencia de Jalón	2003-	3	T.Pamplona, Irún, Logroño / 10	Dual / V
Zaragoza-Delicias	2003-	3	Pasos TRD taller	Dual / V
Huesca	2003-	3	TRD Zaraza-Jaca	CAF P
(Madrid) Santa Catalina	2006-	3	Mantenimiento	Dual / V
Puigverd de Lleida	2006-	3	Sin uso regular	CAF P
Roda de Bará (1)	2006-	3	Alvías y T. Mad-Bcn / 4,5	Dual / V
Roda de Bará (2)	2006-	3	Alvías y T. Mad-Bcn / 4,5	Dual / V
Antequera-Santa Ana (1)	2006-	3	T.Mad Málaga Grand Age /10	Dual / V
Antequera-Santa Ana (2)	2006-	3	T.Mad Málaga Grand Age /10	Dual / V
Valdestillas	-2007	3	Futuros trenes Madrid-Vallad.	Dual / H
Medina del Campo	2007	3	Futuro T. Madrid-Galicia	Dual / H
Madrid-Chamartin (Norte)	2007	3	Futuros Pasos taller Fuencarral	Dual / H
Valladolid (Norte)	2007	3	Futuros trenes Madrid Norte	Dual / V

(1) F=fijo; P=Portable; Dual=Talgo+Caf, V cambio vertical; H cambio horizontal

a los remolques de tecnología Talgo equipados con tal sistema (pero no a las máquinas).

Los cambiadores de Portbou y de Irún siguen actualmente cumpliendo con la función para el paso de trenes internacionales. Por el primero de ellos se estima que han pasado más de 65.000 trenes sin ninguna incidencia relevante.

Estos cambiadores de primera generación tienen en común que solo sirven para trenes Talgo, y únicamente se utilizan para su composición remolcada. Las máquinas no pasan por el cambiador, por lo que los trenes que los emplean deben cambiar de locomotora, y si a ello se suma la compilación derivada de una normativa de explotación compleja, el resultado es que el tiempo empleado está cerca de la media hora.

Llega la alta velocidad: segunda generación

Una segunda generación de cambiadores de ancho surge ligada a una nueva necesidad derivada de la construcción de las líneas españolas de alta velocidad en ancho interna-

cional. Ello hace que aparezcan nuevas fronteras de ancho dentro de la red nacional en los puntos en los que las líneas de la red de alta velocidad coinciden con las de la red convencional de ancho ibérico.

Con motivo de la construcción de la línea de Madrid a Sevilla (1992) se instalan nuevos cambiadores en Córdoba, para permitir a los trenes Talgo 200 hacer el recorrido Madrid a Málaga y Algeciras; en Majarabique (Sevilla) para ir de Madrid a Cádiz y Huelva; y en Madrid-Puerta de Atocha para los trenes de Barcelona a Sevilla. La utilización parcial de la línea de Madrid a Sevilla permitió reducir el tiempo de viaje notablemente. Así el Talgo Pendular de ancho ibérico por la línea convencional tardaba en 1992 más de siete horas de Madrid a Málaga y pasó a emplear menos de cinco con el Talgo de rodadura desplazable, encaminándose hasta el cambiador de Córdoba por la nueva línea de alta velocidad.

El paso por estos cambiadores asociados a las líneas de alta velocidad tiene mayores exigencias en cuanto al tiempo del paso,

Tabla 2. Ubicación y características de los cambiadores de ancho

Nave / Pasa la catenaria	Pte < -3 mm/m lado I435/I668	Equipo agua Talgo / recircul.	Instalac. descongelac. lado I435 /I668
No / No	No / no	Si / no	No / no
Si / No	No / no	Si / no	No / no
Si / No	No / no	Si / no	No / no
Si / No	No / no	Si / no	No / no
No / No	No / no	Si / no	No / no
No / No	No / no	Si / no	No / no
No / No	No / no	Si / no	No / no
Si / No	No / no	Si / no	No / no
Si / No	Si / no	Si / no	No / no
Si / No	No / si	Si / no	No / no
Si / No	No / si	N/A	No / no
Si / No	No / si	N/A	No / no
Si / No	No / si	Si / no	Si / si
No / Si	Si / si	Si / si	No / no
Si / Si	Si / si	Si / si	Si / si
Si / Si	Si / si	Si / si	Si / si
No / Si	-	N/A	No / no
Si / Si	Si / si	Si / si	No / no
No / Si	Si / si	N/A	No / no
Si / Si	Si / si	Si / si	No / no
Si / Si	Si / si	Si / si	No / si
Si / Si	Si / si	Si / si	Si / si
Si / Si	Si / si	Si / si	Si / si
Si / Si	Si / si	Si / si	Si / si
Si / Si	Si / si	Si / si	Si / si
Si / Si	Si / no	Si / si	Si / si
Si / Si	Si / si	Si / si	Si / si
Si / Si	Si / si	Si / si	Si / si

porque se trata de trenes diurnos, con recorridos del orden de 4 o 5 horas, por lo que es importante reducir el tiempo empleado en paso por el cambiador. Además, al ser servicios de una frecuencia alta, resulta importante reducir los recursos necesarios para su operación. Por ello, estos cambiadores se diferencian por su forma de operación, que se agilizó notablemente con la reingeniería de procesos realizada en los años 1994-97 para reducir los tiempos de paso y los costes. Por una parte, se redefinieron las operaciones-paso lo que permitió reducir el tiempo de paso por el cambiador de los 20 minutos iniciales hasta 9 minutos, aunque en numerosas ocasiones se ha realizado esta maniobra en Córdoba en 6 minutos y medio. Por otra parte, redujeron los elevados costes que suponía la dedicación de una máquina o tractor en cada uno de los lados del cambiador para empujar el tren (una vez desenganchada la máquina titular). Para ello, se procedió a la realización de maniobras por gravedad en los cambiadores en que el perfil de vía lo permitía.

Figura 1. Esquemas de los cambiadores duales, que sirven tanto para trenes CAF como para trenes Talgo, cambiando la plataforma. El cambio puede ser por traslación horizontal de las plataformas (izquierda) o por giro de 90° alrededor de un eje longitudinal (derecha). El sistema de giro de 90° se ensayó en Olmedo y está instalado en numerosos cambiadores de tercera generación (Esquemas: Ingeniería y Técnica del Transporte IT3).

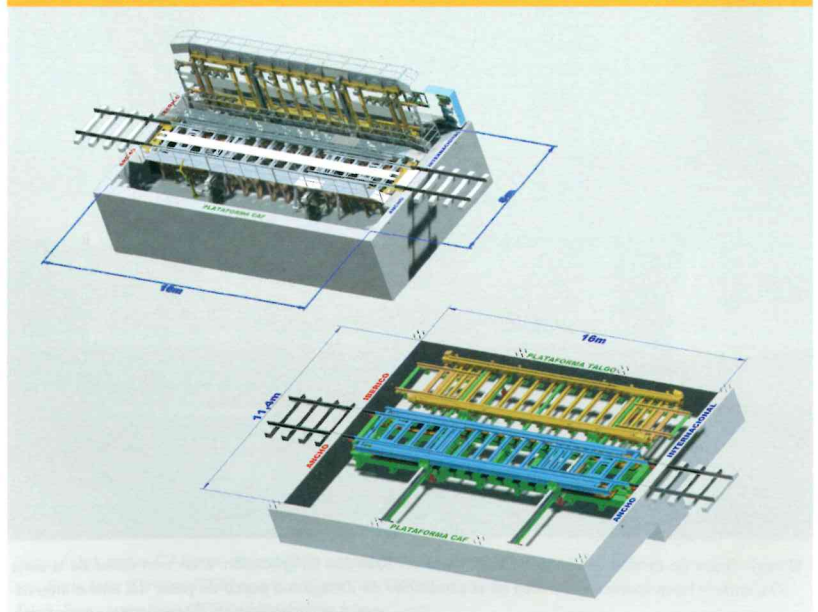


Tabla 3. Material rodante capaz de circular por líneas de ancho estándar ibérico

Nombre del tren	Fabricante	Serie Renfe	Nº trenes	Vel.Máx. (km/h)	Potencia kW	Vehículos
TRD Brava	CAF	594	2	160	1.200	2 (2M)
Brava LD	CAF-Alstom	120	12	250	4.000	4 (4M)
Brava LD (2ª serie)	CAF-Alstom	120.5	16	250	4.000	4 (4M)
Brava Regional	CAF-Alstom	120.6	29	250	4.000	4 (4M)
Regionales ancho var.	CAF	140	34	160/180	2.400	4
Talgo XXI	Talgo	355	2	220	1.500	4 (M-2R-Rc)
Talgo RD Aut	Talgo-Bombardier	130	45	250	5.600	13 (M-1IRT-M)
L 9202 y tren pruebas	Talgo-Team y Talgo	130.9	1	260	3200	7 (Loc-4 RT)

Nuevas líneas: Tercera generación

La tercera generación de cambiadores nace ligada a la nueva línea de alta velocidad de Madrid a Barcelona, y sus características inspiran los que se instalan en el resto de las nuevas líneas de alta velocidad. En este caso, se superan, ya desde el diseño, las limitaciones apreciadas en las generaciones anteriores; y además se tienen en consideración otros dos hechos nuevos, como son la aparición de una nueva tecnología de trenes capaces de cambiar de ancho desarrollada por CAF (sistema Brava); y la posibilidad que ahora ofrecen, tanto el sistema de Talgo como el de CAF, de que los vehículos motores (locomotoras o trenes autopropulsados) puedan pasar por el cambiador, reduciendo el tiempo de paso y eliminando la necesidad de máquina de empuje o carros de arrastre.



El bogie Brava de cambio de ancho de CAF nació en 2000 con su aplicación a un tren diesel de la serie 594, como el que aparece en la foto en el cambiador de Zaragoza a punto de pasar del ancho internacional al ancho ibérico. (Foto: Sergio López Lara).

A la vista de estas necesidades y posibilidades, se diseña por el GIF (con la colaboración de TIFSA y las aportaciones de los técnicos de la empresa IT3) y se construye en 2001 un cambiador experimental en Río Adaja, dentro del Tramo de ensayos de Olmedo a Medina del Campo. En él se prueban las innovaciones más importantes como son el cambiador en *plataforma* portátil que permite el traslado del cambiador a otra ubicación en caso de necesidad; la coexistencia de plataformas para dos tecnologías (CAF y Talgo), la recogida y reutilización del agua de lubricación, el perfil en bañera para permitir el paso de trenes por gravedad en los dos sentidos y la relación de la posición del cambiador de ancho con el enclavamiento. Con las experiencias recogidas en las pruebas del cambiador de Río Adaja, en la explotación de los cambiadores anteriores y en el análisis de las nuevas necesidades se definieron los criterios de diseño de los nuevos cambiadores.

Con estos nuevos criterios se diseñan los cambiadores de Plasencia de Jalón (para los trenes de Madrid a Pamplona, Irún, Logroño y Vitoria), Zaragoza Delicias (para futuros trenes transversales del Norte, complementándose con otro previsto en Miraflores), Huesca (trenes Zaragoza-Jaca), Puigverd de Lleida (trenes Alvia de Madrid a Barcelona), Madrid-Santa Catalina (complemento al taller de trenes de ancho variable), Antequera-Santa Ana (Madrid a Málaga, Granada y Algeciras) y Roda de Bará (Madrid a Barcelona), que constituyen la que podríamos denominar tercera generación de cambiadores. El cambiador provisional de Lleida, aunque está en la línea de Madrid a Barcelona, puede considerarse de la segunda generación, puesto que fue proyectado y construido con los mismos criterios que los de la línea de Madrid a Sevilla.

Tabla 3. Material rodante capaz de circular por líneas de ancho estándar ibérico

Tipo servicio	Año servicio	Ancho de vía mm	Tensión kV	Plazas	Longitud m	Tara t
Regional	2003	1.435/1.668	Diesel	126	47,7	90
AV LD	2006	1.435/1.668	3 cc / 25 ca	238	107	233
AV LD	2007-2008	1.435/1.668	3 cc / 25 ca	238	107	233
AV Reg.	2008-2010	1.435/1.668	3 cc / 25 ca	270	107	233
Regional	2008-10	(1.435)/1.668	3 cc / 25 ca	230	80	171
Serv.Adif	2002	1.435/1.668	Diesel	-	56	110
AV LD	2007	1.435/1.668	3 cc / 25 ca	299	185	298
Pruebas	2004	1.435/1.668	3 cc / 25 ca	-	98,24	170

• **Perfil en bañera:** Para hacer posible el paso de los trenes por gravedad en ambos sentidos, los nuevos cambiadores están situados en un perfil de vía en bañera: el cambiador está en una zona más baja, por lo que las dos vías de acceso tienen pendiente hacia el lado del cambiador. Así, los trenes pueden pasar por gravedad en los dos sentidos. En la zona central está la plataforma del cambiador; debe ser de rasante horizontal, y las zonas en pendiente, ésta debe tener una inclinación mínima (3-4 milésimas) para que puedan pasar por gravedad los coches considerando la resistencia mecánica adicional del cambiador.

• **Modularidad y portabilidad:** Al diseñar funcionalmente los cambiadores de la tercera generación se observó que en cada emplazamiento se presentaban necesidades diferentes. Así, un cambiador puede ser para trenes Talgo, para trenes CAF o los dos; puede ser para trenes autopropulsados y para trenes convencionales (remolcados por locomotora), o solamente para una clase de ellos; pueden tener o no necesidad de descongelación de rodales en uno o en los dos lados; puede haber o no haber en la ubicación seleccionada acometida de energía eléctrica y de agua, etc.. Por ello, la principal característica de los cambiadores de la tercera generación es su modularidad, para dar respuesta a las necesidades funcionales de cada caso concreto pero empleando soluciones generales y fabricables en serie. Por ello, al diseñar cada cambiador se definen sus necesidades concretas, y en virtud de ellas, se añaden los módulos necesarios, siempre sobre la idea de poder cambiar la configuración si cambian las necesidades, ya que todos los subsistemas son intercambiables. Además, la progresiva expansión de la red de ancho internacional sugiere que en muchos casos los cambiadores van a tener un periodo de utilización limitado, desapareciendo su

necesidad y a su vez apareciendo la necesidad en otro emplazamiento. Por ello, a la propiedad de la modularidad, se ha añadido la portabilidad, de forma que el propio cambiador y los equipos auxiliares, pueden trasladarse hacia una nueva ubicación, y puede aprovecharse, según los casos, hasta un 80 % de la inversión realizada en un cambiador si sus elementos se trasladan o se reaprovechan para otros emplazamientos.

• **Catenaria:** Una novedad muy visible de los nuevos cambiadores es que la catenaria pasa por ellos, ya que se debe garantizar la continuidad del hilo de contacto, porque los pantógrafos pueden estar en todo momento en contacto él. Esta necesidad no se produciría en los cambiadores clásicos, ya que al cambiar la máquina, aunque ésta fuera eléctrica en ambos lados, la máquina no pasaba por el cambiador; por lo que no era necesario



Tanto Talgo como CAF han desarrollado sistemas de cambio de ancho automáticos para trenes de viajeros. En la foto (Grisén, 2006) aparece el tren de CAF (serie 120) y la locomotora experimental de Talgo-Team numerada L9202. (Foto: Sergio López Lara).



El tren de la serie 130, desarrollado por Talgo, permite al tren completo pasar por el cambiador. Estos trenes, que pueden alcanzar los 250 km/h, han comenzado sus pruebas en 2006, y con el 120 de CAF están llamados a llevar el peso de los principales servicios de viajeros en los próximos años en los que coexistirán tramos parciales de las nuevas líneas de alta velocidad con la red convencional. (Foto: Gonzalo Rubio).

mantener la continuidad del hilo de contacto. Con los trenes autopropulsados, sí que es preciso asegurar que el pantógrafo no se desprende, si bien como es lógico, mientras está pasando por el cambiador no toma energía

- **Descongelación:** Algunos cambiadores de la nueva generación incluyen equipos de descongelación de los rodales de los trenes. Cuando hay nieve en la vía, se puede introducir agua y congelarse en los intersticios de los rodales, impidiendo el paso por el cambiador. En los casos en que los rodales de los trenes lleguen congelados, en los cambiadores de primera y de segunda generación se emplean unas lanzas con las que se proyecta manualmente agua caliente a presión, pero el tiempo empleado en descongelar la totalidad del puede ser de hasta 5 horas. Para descongelar más rápidamente, se han instalado fosos con equipos automáticos de descongelación que proyectan agua caliente a presión más concentradamente en las zonas en que es preciso, en los lados de los cambiadores en los que se prevé dicha necesidad. La capacidad de descongelación (y por ello el tiempo empleado en el proceso) depende tanto del tráfico de trenes previsto, como de la probabilidad que los trenes lleguen al cambiador con este problema.

Trenes de ancho variable

Para el paso de una red a otra, caracterizadas por el diferente ancho de vía, se han

ensayado lo largo del tiempo muy diferentes sistemas aplicados al material rodante.

En algunos casos, se cambian los ejes de los vagones, de forma que al llegar a la frontera se desenclavan los ejes del ancho de vía de llegada y se sustituyen por otros del nuevo ancho. Este sistema se aplica para los trenes de mercancías en las fronteras de Irún y de Portbou desde los años 50 y permite a vagones cargados en España llegar a cualquier rincón de Europa. Presenta dos inconvenientes: el proceso de cambio de ejes es lento (un eje requiere no menos de 10 minutos) y es costoso, porque necesita el empleo de mano de obra especializada y de instalaciones específicas que, si no están redundadas, convierten a la frontera en un cuello de botella si el proceso se quiere extender a un importante número de trenes.

En otros casos, se opta por cambiar el bogie o carretón completo, lo que comporta una cierta reducción en el tiempo de cambio de ancho. Esta solución fue empleada con los trenes de viajeros, entre ellos el Surexpreso y el Puerta del Sol, en la frontera de Hendaya desde los años 60 hasta los últimos años 90, y permitió a los trenes de viajeros continuar sin bajarse los viajeros en la frontera.

Un tercer sistema se basa en mantener los mismos ejes o rodales y cambiar solamente la separación entre ellos, realizando el paso de forma automática. Este sistema es el empleado por los trenes Talgo desde 1968 y por los trenes CAF desde 2003, y ha dado lugar a nuevos desarrollos, a la aparición de cambiadores de ancho y a una auténtica revolución en los sistemas de explotación de los servicios ferroviarios.

Los primeros trenes con este sistema son los remolques de los trenes Talgo con tecnología de cambio de ancho: primero, desde 1969, el llamado Talgo III RD, y después diversas versiones del Talgo Pendular (generaciones 6, desde 1988 y 7 desde 2000). Estos trenes han realizado varias decenas de miles de pasos por los cambiadores de ancho, reemplazando siempre las máquinas en la frontera, y se aplicaron desde 1969 al tráfico internacional y también desde 1992 a servicios nacionales que emplean parcialmente las líneas de alta velocidad.

El siguiente paso era el cambio de ancho de ejes motores, de manera que las locomotoras pudieran pasar por los cambiadores de ancho, lo que reduciría de forma importante los tiempos de paso y costes del proceso de cambio y la necesidad de locomotoras.

Talgo desarrolló un bogie motor capaz de cambiar el ancho de vía, que fue instalado en una locomotora diesel de una muy original arquitectura que llevaba en la parte anterior este bogie de cambio de ancho y en la parte posterior un rodal Talgo compartido con el primer coche (de ahí su nombre de "BT": Bogie-Talgo). Esta máquina diesel, con unos coches de prueba hizo muy numerosas pruebas desde 1998, entre las que cabe destacar un viaje de Madrid a Puente Genil en 1999. Poco después se añadió una segunda máquina de las mismas características. Estas dos máquinas fueron adquiridas con algunos coches por el Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (GIF) que las empleó para probar el cambiador de ancho dual en Olmedo y el nuevo sistema de vías de tres carriles con dos anchos. También realizó diversas pruebas en la línea de Madrid a Barcelona, entre las cuales alcanzó el record mundial de velocidad con tracción diesel en 2002 (mas de 256 km/h) cerca de Lleida.

Por su parte, CAF también desarrolló un bogie motor capaz de cambiar de ancho con una tecnología similar; y desde 2000 comenzó a probar un tren diesel TRD que equipó con bogies de este tipo. Tras las pruebas exitosas, se equiparon dos trenes que comenzaron a hacer servicio comercial finales de 2003 entre Calatayud, Zaragoza y Jaca en parte por la línea de alta velocidad de Madrid a Barcelona.

Como una derivada desde este bogie, se construyó también por CAF, un electrotren de cuatro coches y potencia de 4.000 kW, capaz de alcanzar los 250 km/h (serie 120), que puede alimentarse a 25 kV en corriente alterna o a 3 kV en continua; tiene cuatro pantógrafos. Este tren presta servicio desde marzo de 2006 entre Madrid y Barcelona con el nombre comercial Alvia. El nuevo tren pasa por el cambiador de ancho sin detenerse, tan solo con una reducción de velocidad a unos 15 km/h.

Por lo que se refiere a las locomotoras convencionales un consorcio liderado por Talgo (que además construyó la parte mecánica), y en que participan las empresas Ingelectric y Team construyó una máquina de ancho variable capaz de alcanzar los 260 km/h, que fue probada desde diciembre de 2003. La máquina tiene una masa de 18,5 t por eje; cuenta con dos bogies, cada uno con dos ejes, y cada eje es accionado por un motor eléctrico trifásico asíncrono.



Gracias a los nuevos cambiadores de ancho (en la foto los dos cambiadores duales de Roda de Bará) y a los trenes de ancho variable (en la foto el tren ascultador de Adif) es posible extender los beneficios de la alta velocidad al conjunto de la red. De hecho, el tren Talgo diésel de la foto podría circular por toda la red ferroviaria europea, desde Algeciras a Estambul, por ejemplo.

Con los resultados de los ensayos de las diesel BT y de la máquina de Talgo Team se han construido las cabezas motrices del electrotren de la serie 130 que está formado por dos motrices eléctricas encuadrando un número variable de remolques Talgo de la 7 generación (11 coches con 300 plazas en la primera versión). Este tren, que puede alcanzar los 250 km/h, realiza pruebas desde los últimos meses de 2006.

Tercer carril

La vía con tres carriles para permitir la circulación de trenes de dos anchos (1.435/1.668 mm) por una misma vía, tiene diversas y antiguas aplicaciones en España, pero limitadas históricamente a puertos, talleres, instalaciones de mercancías, fronteras con Francia etc.

Por las características de estas instalaciones, la velocidad de circulación por ellas (tanto por vía directa como por desviada) es muy reducida, y además está generalmente limitada a mercancías y a trenes de maniobras.

A raíz de la decisión, adoptada en 1988, de construir la línea de Alta Velocidad de Madrid a Sevilla en ancho internacional, se estudiaron diversas fórmulas para la aplicación del tercer carril, ya que en aquel momento (y durante un cierto tiempo), se pensó en la



Los cambiadores de ancho Talgo entraron en servicio comercial en 1969, y desde entonces han pasado por ellos cerca de 100.000 trenes sin ninguna incidencia significativa. Los nuevos cambiadores (como el de Santa Catalina en la foto) permiten pasar a trenes completos (es el caso del 130) y por ello tienen catenaria. El tren no se detiene, reduce la velocidad a unos 20 km/h y los viajeros sólo notan como si el tren pasara por un puente metálico. (Foto: JM Luna, Vía Libre).

posibilidad de extender el ancho internacional a toda la red Española o a una parte significativa de ella.

Al quedar únicamente la línea Madrid-Sevilla en ancho internacional y abandonarse, al menos inicialmente, las ideas de transformar este ancho a líneas preexistentes, se dejó de trabajar en el tema del ancho de vía mixto.

Posteriormente, y al comenzarse a construir la línea Madrid-Barcelona en ancho internacional y decidirse que las nuevas líneas de Alta Velocidad, tales como Madrid-Levante, Madrid-Norte Noroeste y Córdoba-Málaga se iban a construir en tal ancho, se aprecia de nuevo la necesidad de permitir la coexistencia de las circulaciones en los dos anchos.

En paralelo, se desarrollan los nuevos sistemas (descritos anteriormente) de cambio de ancho de los trenes, como la introducción por parte de Talgo de la tecnología de cambio de

ancho a vehículos motores, y el desarrollo por parte de Caf del bogie Brava.

Ello, sin embargo sigue planteando problemas, especialmente derivados de la menor velocidad de circulación de los trenes de ancho variable por los tramos de Alta Velocidad, por lo que en ciertos trayectos resulta aconsejable el ancho de vía mixto, por ejemplo en antenas con poco tráfico, pero por las que pasan trenes que han circulado muchos kilómetros por líneas de alta velocidad.

El primer caso en que se vio claramente la necesidad del ancho mixto es en el corredor de Llobregat donde estaban previstas dos vías de ancho estándar de la línea Madrid-Barcelona y otras dos vías de ancho ibérico para conectar el Puerto de Barcelona con la línea Papiol Mollet y de aquí enlazar hacia Francia. Esta topología de vías obligaría a los trenes de mercancías de ancho internacional, procedentes del Puerto de Barcelona o de la estación de mercancías de Barcelona, a circular por la línea de Alta Velocidad, en coexistencia con los trenes de viajeros en el tramo más saturado, para tomar después la línea de ancho internacional hacia Francia. Además, en el pasillo de Llobregat, la construcción de más vías resulta prácticamente imposible y, desde luego, muy costoso. Por todo ello se planteó la posibilidad de construir en ancho mixto las dos vías inicialmente previstas en ancho ibérico.

Estas vías conectarán directamente con el enlace a través de El Vallés, y por tanto con las líneas dirección Francia en ambos anchos e independizarán, por tanto, la salida de mercancías del Puerto de Barcelona de los tráfico de viajeros de Alta Velocidad en este corredor.

Antes de introducir esta técnica como un elemento de planificación era preciso despejar una parte importante de las incógnitas sobre su funcionamiento que se iban a plantear. Por ello, se procedió a la definición funcional tecnológica de una vía con posibilidad de circular en ambos anchos a velocidades medias/altas (orientativamente se fijó 220 km/h por vía directa y 100/120 km/h por vía desviada). Se consideró oportuno establecer ciertas restricciones, ya que si se pretendía abarcar toda la casuística posible, probablemente se llegaría a no resolver el problema. Por ello, se asumió que en una sección de vía solamente se harían desvíos a un lado del ancho internacional y al otro del ancho ibérico. Por tanto, no habría aparatos para desviar en el mismo lugar los dos anchos, y las vías

de apartado serán cada una de un ancho y donde sea preciso cambiar de lado el tercer carril se establecerán unos cambiadores de lado que obligarán a una restricción de velocidad al paso por ellas.

Para probar esta nueva vía antes de su aplicación comercial, se construyó el tramo de ensayos entre Olmedo y Medina. Las pruebas se desarrollaron satisfactoriamente en el primer semestre de 2002, alcanzándose velocidades de 248 km/h y pasos por los desvíos a 242 km/h por vía directa y a 110 km/h por vía desviada, comprobándose la viabilidad del proyecto, en el que, como consecuencia de las pruebas, se realizaron algunos ajustes.

Como derivada del éxito de esta prueba, el primer tramo comercial con tercer carril se construyó entre Tardienta y Huesca, entrando en servicio en diciembre de 2003 y el corredor del Llobregat que entra en servicio en 2007 también se ha previsto con este ancho de vía mixto.

Catenaria polivalente

Como complemento a la vía con tres carriles para dos anchos, se ha diseñado la llamada *catenaria polivalente GIF, CPG bicorriente*, instalada experimentalmente en el tramo de ensayos de Olmedo a Medina del Campo y que fue probada con éxito a partir del día 12 de marzo con el tren de ancho variable de CAF 120-001. Esta catenaria fue diseñada para ser empleada para diversas funcionalidades, entre las que destacan aquellas líneas que se electrifican inicialmente a 3 kV con posibilidad de transformación en el futuro a 25 kV y velocidades de más de 300 km/h.

La instalación de la catenaria experimental en el tramo de ensayos se realizó en 2002 con proyecto de la Dirección de Instalaciones de GIF y con la ayuda económica del entonces Ministerio de Ciencia y Tecnología (fondos Profit). El objetivo del desarrollo era disponer de una catenaria que cumpliera las siguientes funcionalidades:

- Puede funcionar indistintamente en 3 kV (c.c.) o en 25 kV (c.a.) (por ejemplo, en líneas con tráfico de viajeros por el día y de mercancías por la noche, podría conmutarse por periodos). Para ello, tiene aisladores adecuados para 25 kV y sección de conductores suficiente para 3 kV.
- Puede funcionar en tramo de vía con tres carriles (en alineación recta se ha instalado el eje de la catenaria coincidiendo con el eje de la vía de ancho 1.435 mm sin que se

hayan producido problemas en el ancho 1.668 mm: precisamente en este ancho se realizaron las pruebas por ser la situación más desfavorable.

- Es apta para velocidades máximas de 220 km/h en cualquiera de las dos tensiones de electrificación y de los dos anchos de vía.
- Puede transformarse de forma sencilla y rápida para ser empleada a velocidades de hasta 350 km/h, en este caso ya sólo a 25 kV. Esta funcionalidad, quizá la más necesaria de todas, tiene por objeto que esta catenaria pueda equipar un tramo de vía que se electrifica a 3 kV con perspectivas de, en el futuro, cambiar a 25 kV en alta velocidad. De hecho, una derivación de esta catenaria (aunque no idéntica) se ha instalado en la variante de Alpera línea Madrid Levante y permitirá que si en el futuro se cambia de ancho a 1.435 mm y la tensión a 25 kV, los trenes puedan alcanzar los 350 km/h.

Para dar respuesta a estas necesidades, la catenaria diseñada es muy original, pues es una catenaria doble: dispone de dos sustentadores de cobre (cables trenzados de 100 mm² de sección cada uno) y de dos hilos de contacto de cobre magnesio (de 150 mm²). Así se diferencia de las catenarias habituales de 3 kV (con un sustentador y dos hilos de contacto) y de las de 25 kV (con un sustentador y un hilo de contacto). Esta configuración permite que la sección de la catenaria sea suficiente para 3 kV, y como se ha indicado, los aisladores proporcionan el aislamiento suficiente para 25 kV. Con este montaje se cumplen todos los requerimientos indicados, excepto la posibilidad de circular a más de 220 km/h. Para lograr este objetivo adicional se desmonta "la mitad" de la catenaria (es decir, un sustentador y un hilo de contacto y sus péndolas) quedando entonces una catenaria muy semejante a la montada en el tramo Madrid Lleida de la línea de alta velocidad de Madrid a Barcelona. Tras esta transformación (que en principio se prevé como irreversible) queda una catenaria de alta velocidad, pero ya no es apta para 3 kV. ■

Referencias

"Definición funcional de las instalaciones de cambio de ancho para trenes de viajeros en las nuevas líneas de Alta Velocidad", Dirección de Explotación del GIF, diciembre de 2002.

Alberto García Álvarez, "Cambiadores de ancho para trenes de viajeros", Vía Libre, enero de 2007.