

# Rendimiento sobre carriles

Material eléctrico para ferrocarriles diseñado por ABB para hacer más cómodos los viajes

Harald Hepp, Fabiana Cavalcante, Peter Biller

La economía actual depende del movimiento de mercancías y de personas. Sin un sistema de transporte eficaz y asequible, las personas tendrán menos opciones para elegir los artículos que pueden adquirir o el lugar en el que pueden vivir y trabajar. Al mismo tiempo, el transporte debe tener el menor coste medioambiental posible. Los ferrocarriles eléctricos están en buena posición para satisfacer estas demandas. Ofrecen capacidad elevada, consumo de energía reducido y una ocupación mínima de espacio, sin prácticamente contaminación. No sorprende, pues, que se estén construyendo en todo el mundo nuevas líneas de ferrocarril para satisfacer, por una parte, la necesidad de enlaces de alta velocidad entre ciudades distantes varios centenares de kilómetros como alternativa al avión y, por otra, la de transporte urbano en áreas metropolitanas en expansión que cada día están más congestionadas por los coches.

Es esencial disponer de un servicio ferroviario fiable y seguro para ganar más cuota de mercado frente al transporte aéreo y por carretera. Para ganar más adeptos, son factores fundamentales de éxito el acortamiento del tiempo de viaje y la mayor comodidad y seguridad. Este artículo presenta algunas de las aportaciones de ABB para alcanzar estos objetivos.

Poca gente piensa, cuando viaja en tren, metro o tranvía, en cómo determinan la comodidad de su viaje los componentes eléctricos de ese vehículo. En este sentido, las primeras cosas que vienen a la cabeza son la calefacción, la ventilación y el aire acondicionado (CVAA), la iluminación, las tomas de corriente para ordenadores portátiles y otros dispositivos de entretenimiento a bordo.

## “Dispositivos de entretenimiento” a bordo

La demanda de electricidad en trenes y vehículos de transporte urbano ha crecido constantemente a lo largo de los años. La instalación de CVAA, las puertas automáticas, los sistemas de información a los pasajeros, los sistemas de vigilancia por vídeo o los aseos en circuito cerrado ya son cosas comunes en casi todos los sistemas de transporte. Actualmente, estos sistemas auxiliares suelen necesitar una capacidad de unos 400 a 800 W por asiento.

En algunos tipos especiales de vehículos o trenes, esta demanda de energía es aún mayor; así ocurre, por ejemplo, con el equipo de cocina de un coche restaurante o las duchas de un coche cama.

## Convertidores auxiliares ABB BORDLINE® M

¿Cuál es la aportación de ABB a estas prestaciones que aumentan el confort de los pasajeros en tantos aspectos? Los convertidores auxiliares de energía

## Avanzando

adaptan la alimentación eléctrica de la línea a la tensión e intensidad necesarias para los diferentes grupos de aplicaciones a bordo. Son servicios que los usuarios quieren tener, pero prefieren no ver. Estos sistemas no deben hacerse notar, ni tampoco deben ocupar espacios de los que podrían disfrutar los pasajeros. Se ha progresado mucho en aumentar la densidad de potencia de estos dispositivos, en desarrollar un diseño de tamaño más reducido y en disminuir las emisiones acústicas de los imprescindibles sistemas de refrigeración y de los conmutadores de gran potencia. Los convertidores auxiliares ABB BORDLINE® M tienen una gran flexibilidad de montaje bajo el suelo, en

el techo e incluso dentro del armario de otros aparatos eléctricos de a bordo **1**.

En un vehículo de transporte se debe disponer de electricidad para servicios auxiliares sin interrupción. ABB diseña sistemas redundantes de gestión del suministro eléctrico y de baterías que garantizan la continuidad del suministro auxiliar aunque se produzcan cortes eléctricos durante el funcionamiento del tren. Para los trenes que atraviesan fronteras entre distintas tensiones de línea, ABB proporciona convertidores auxiliares multisistema que se adaptan automáticamente a la tensión presente. Estos sistemas se tratan con más detalle en otro punto de este artículo.

Algunos de los convertidores auxiliares de ABB contribuyen también a la comodidad del pasajero de otra forma: activan un sistema pendular para trenes, que pueden así circular más deprisa por vías con muchas curvas.

### Tiempos de viaje más cortos

Con ayuda de los convertidores auxiliares, los pasajeros pueden disfrutar a bordo de las lujosas comodidades a las que están acostumbrados en su vida cotidiana, pero que no pueden utilizar en un coche: ordenador personal, restaurante, lavabos, cama. Pero uno de los

factores más importantes que determinan el valor de un viaje, aunque sea el desplazamiento diario entre casa y el trabajo, es la duración: cuanto menor, mejor. En viajes de larga distancia se espera una velocidad máxima alta, mientras que en el transporte urbano lo que hacen falta son maniobras de aceleración y frenado rápidas y suaves. Es evidente que el sistema de propulsión es esencial para acortar los tiempos de viaje. ABB suministra los principales componentes eléctricos de un sistema de propulsión eléctrico o diésel-eléctrico: motores, electrónica de potencia, interruptores de potencia **Cuadro 1**, transformadores y generadores. Una mirada más atenta a los transformadores y convertidores compactos muestra cómo estos componentes no sólo aumentan la velocidad de desplazamiento, sino que también están diseñados para atender otros aspectos de la comodidad de los pasajeros: más espacio, menos ruido, horarios más fiables, viajes sin transbordos de trenes y seguridad.

### Transformadores de tracción ABB

El transformador es un punto único de transferencia de energía entre la catenaria y los motores y debe satisfacer la más exigente demanda de fiabilidad. Cualquier fallo del transformador provocaría la inmediata parada del tren, o lo

**1** BORDLINE M30, convertidor auxiliar compacto para montar en el techo de un vehículo de ferrocarril ligero. Proporciona alimentación para muchas aplicaciones auxiliares.



**2** Varios ejemplos de trenes equipados con transformadores de tracción de ABB



haría ir a menor velocidad si dispusiese de un segundo transformador en una cadena independiente de propulsión. Así pues, el transformador es de la mayor importancia en términos de fiabilidad y prestaciones.

### Acceso a los coches y aumento del espacio libre

Los transformadores de tracción tienen que ser pequeños, pues el espacio es escaso, especialmente en los coches que utilizan el concepto de propulsión distribuida (unidad eléctrica múltiple o EMU) que domina en la actualidad. ABB ha desarrollado distintas soluciones para ello, bien situando el transformador bajo el suelo (típico de aplicaciones de trenes de alta velocidad, como el AGV, que es la nueva generación del Tren de Alta Velocidad (TGV) en Francia, el ETR 500 en Italia, o el TALGO 350 en España), bien montándolo en el techo (como en el NINA de Bombardier, el X60 de Alstom o los trenes FLIRT de Stadler) **2**. En ambos casos, los transformadores tienen que ser muy planos, para que el coche pueda tener un diseño de suelo bajo. El suelo bajo significa mayor facilidad de acceso, una mejora considerable para pasajeros discapacitados o que viajan con un equipaje voluminoso, coches de niño o bicicletas. Un acceso más fácil permite acortar el tiempo de parada en

las estaciones, lo que a su vez acelera el servicio y mejora el aprovechamiento de la capacidad de la línea.

El transformador debe pesar lo menos posible, dado que la carga por eje no suele superar las 22,5 t, o incluso las 17 t, en determinados trenes de alta velocidad o de vía estrecha. Menos peso significa, además, menos necesidad de energía para acelerar y frenar el tren y, por tanto, una mejor utilización de la electricidad. El montaje bajo el suelo de los pesados transformadores de tracción baja el centro de gravedad y aumenta así el confort, especialmente cuando se viaja a gran velocidad.

### Seguridad: la comodidad invisible

Los transformadores y convertidores de tracción, además de otros equipos del tren, deben cumplir normas estrictas sobre incendios y humos **Cuadro 2**. En el diseño de sus transformadores de tracción rellenos de aceite (éste se utiliza para el aislamiento dieléctrico y la refrigeración), ABB tiene buen cuidado de minimizar el riesgo de incendio en todas las situaciones imaginables. No obstante, en el improbable caso de que se produjera un accidente, la adecuada elección de los materiales garantiza un riesgo mínimo para la salud de los pasajeros.

Los pasajeros pueden sentarse muy cerca de los transformadores, vayan montados bajo el suelo o en el techo. Además de los aspectos de seguridad, también hay que respetar los límites de las emisiones electromagnéticas. Esto se tiene en cuenta en el diseño del componente activo, de las conexiones y de la cuba del transformador de tracción. Los avanzados conocimientos de ABB contribuyen al apantallamiento del campo magnético, que se aplica también al diseño de los convertidores de tracción.

### Reducción de ruido

Otro aspecto del confort es la reducción de las emisiones acústicas. La principal fuente de ruido en un transformador es la deformación mecánica periódica del núcleo y de las bobinas bajo la influencia de los campos electromagnéticos fluctuantes. Durante el funcionamiento de un transformador, las vibraciones del núcleo y los bobinados se transmiten a la cuba y a su superficie y se emiten como ruido a la atmósfera exterior.

Se han estudiado distintos medios de reducción del ruido aplicables a los transformadores de tracción ABB. Éstos incluyen la fijación del transformador al vehículo mediante amortiguadores que aíslan el tren de las vibraciones, utilizando núcleos de acero de veta orientada

**Cuadro 1** Interruptor de vacío de media tensión y de corriente alterna AC Trac

El interruptor de vacío de media tensión (MT) y de corriente alterna AC Trac es otro producto de la cadena de tracción ferroviaria esencial para la seguridad a bordo. El nuevo interruptor de MT se monta en el techo del vehículo y se puede utilizar tanto para aplicaciones de 25 kV/50 Hz como de 15 kV/16,7 Hz. Su principal función es proteger el transformador, los convertidores y todos los demás componentes eléctricos frente a sobrecorrientes peligrosas como los cortocircuitos, muy frecuentes en el ferrocarril.



**Cuadro 2** Convertidor que actúa como freno de emergencia para Zugspitzbahn

Los ferrocarriles de montaña tienen requisitos de seguridad muy estrictos, en particular en lo relativo a los equipos de frenado. En caso de corte de corriente, los sistemas mecánicos de frenado deben detener el tren. Pero los frenos mecánicos no están diseñados para funcionar durante todo el descenso de la montaña. Los convertidores compactos ABB de los trenes cremallera de la Bayerische Zugspitzbahn resuelven estas emergencias con una función especial de control de frenado: dado que no hay tensión en la línea, el enlace de corriente continua se carga en primer lugar utilizando la



batería del vehículo. Después se sueltan los frenos mecánicos, se activan los convertidores y, por último, los motores empiezan a funcionar como generadores para frenar el vehículo. Para mantener este funcionamiento se necesita una velocidad mínima que alimente la tensión del enlace de corriente continua de los convertidores; por tanto, hay que volver a activar los frenos mecánicos para detener el tren cuando llega a su destino final. Los pasajeros no se dan cuenta de que se ha producido una situación de emergencia, ya que el tren rueda pendiente abajo como de costumbre.



## Avanzando

con menor magnetoestricción y agrupando las láminas de acero de forma distinta (técnica de colocación del núcleo o *step lap*). El sistema de refrigeración exterior del transformador puede ser también una fuente de ruido, y por lo tanto merece una gran atención en la etapa de diseño.

Además del liderazgo tecnológico, ABB disfruta también de una clara posición de liderazgo en el mercado de los transformadores de tracción. Se han diseñado distintos tipos que se han suministrado a casi todos los integradores ferroviarios existentes y que se encuentran en cualquier parte del mundo y en todas las aplicaciones (locomotoras, alta velocidad, EMU, etc.). El nuevo tren AGV de Alstom/SNCF que en abril de 2007 batió el récord mundial de velocidad para ferrocarriles de línea a 574 km/h <sup>3</sup> llevaba un transformador de tracción ABB.

### Convertidores compactos de ABB

Los convertidores de propulsión son un enlace activo entre el transformador y los motores en el caso de redes ferroviarias de corriente alterna. No sólo entregan al motor exactamente la tensión necesaria en cada momento –aceleración, velocidad constante o desaceleración–, sino que además permiten que el coche devuelva energía a la línea durante el frenado. Otros tipos de convertidores de propulsión toman energía en corriente

continua de la catenaria (para ferrocarriles, metros o tranvías de corriente continua) o utilizan la salida de un generador (en propulsión diésel-eléctrica) para alimentar y controlar los motores.

ABB ha desarrollado una amplia gama de convertidores compactos BORDLINE<sup>®</sup>-CC que combinan el convertidor de propulsión y el convertidor auxiliar en un mismo dispositivo<sup>1)</sup>. En un tren regional, un recinto del tamaño de un armario doméstico puede contener el convertidor de propulsión, el convertidor auxiliar, el cargador de baterías, el filtro de línea y el interruptor principal para la cabeza tractora. El diseño muy compacto y modular deja mayor espacio para el pasajero, y también es más cómodo para el servicio técnico <sup>4</sup>. Para ferrocarriles ligeros, ABB ha diseñado un convertidor compacto que se puede montar en el techo y bajo el suelo, una solución muy versátil que encaja en distintos tipos de coches. Presenta dos inversores de motor independientes y todos los demás componentes de un BORDLINE<sup>®</sup>-CC que se describen en el

Cuadro 3.

### Desplazamiento suave

Todos los convertidores compactos ABB BORDLINE<sup>®</sup> utilizan la plataforma industrial de control estándar AC800PEC<sup>2)</sup> de ABB, y de este modo se benefician de unas condiciones de apoyo técnico y

desarrollo eficaces a largo plazo en términos de costes. Las simulaciones en MATLAB/Simulink se pueden traducir directamente al software de control en esta plataforma. La calidad del convertidor de propulsión tiene también una influencia directa en la comodidad del viaje. Un viajero puede distinguir fácilmente un vehículo que acelera dando tirones o frena con brusquedad porque los convertidores no controlan perfectamente los motores.

<sup>4</sup> Ejemplos de convertidores compactos CC BORDLINE<sup>®</sup> para trenes regionales <sup>a</sup> y vehículos de ferrocarril ligero <sup>b</sup>



Cuadro 3 Características técnicas del convertidor compacto de ABB para ferrocarriles ligeros <sup>4a</sup>

<b>Tensión de entrada:</b>	420 – 900 V DC
2 inversores independientes de motor con la siguiente	
<b>potencia de salida para cada motor:</b>	
Propulsión:	166 kW
Frenado:	345 kW
Frenado de emergencia:	535 kW
<b>Salidas auxiliares</b> con aislamiento galvanico:	3x 230/400 V 50Hz, 35 kVA
	3x 0...230/400 V, 0...50 Hz, 5 kVA
	24/36/72/110 V DC, 8 kW
<b>Dimensiones y peso</b>	1600 x 1800 x 430 mm, 550 kg

<sup>3</sup> Tren Alstom de la SNCF con un transformador ABB a bordo batiendo el récord mundial de velocidad. El 3 de abril de 2007 alcanzó los 574 km/h.



### Continuidad del viaje al cruzar fronteras

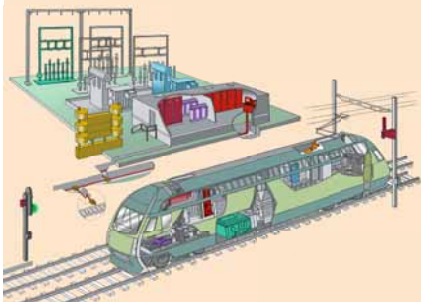
En Europa, la tensión de la línea ferroviaria cambia en la mayoría de las fronteras entre países, a veces incluso dentro de un mismo país. Así, las redes de Finlandia, Hungría, Grecia, Portugal, parte de Francia y el Reino Unido están electrificadas a 25 kV/50 Hz, al igual

#### Cuadro 4 Historia de ABB en el ferrocarril

ABB es un nombre bien conocido en el sector ferroviario. Aunque en 1996 ABB Sistemas de Transporte se convirtió en parte de AdTranz (una empresa conjunta con Daimler-Benz, luego vendida a Bombardier), ABB se quedó con la producción de componentes, como transformadores de tracción, convertidores y motores. Como precursor de lo que ahora se llama "Iniciativas del Segmento Industrial", en 2005 se creó "ABB RCS" para los clientes ferroviarios de ABB. La actividad alcanzó un desarrollo considerable gracias a la implantación de un enfoque comercial centrado y coordinado en el mercado ferroviario y a la mayor colaboración entre las distintas unidades internas de ABB. En 2007, ABB obtuvo pedidos del sector ferroviario por un importe superior a los 700 millones de dólares, más del doble que cuando se creó RCS. Actualmente, ABB disfruta de una posición destacada en el mercado como proveedor independiente de componentes a la mayor parte de los integradores de sistemas de transporte y fabricantes de vehículos del mundo. La cartera de productos de ABB para material rodante incluye transformadores de tracción, convertidores, motores, interruptores de media tensión, semiconductores de potencia, filtros de sobretensiones y productos de baja tensión.

En cuanto a las instalaciones fijas, suministra subestaciones de potencia completas, productos de alta y media tensión, transformadores, soluciones de calidad de la alimentación eléctrica, convertidores de frecuencia y sistemas de comunicaciones para señalización.

Encontrará más información en [www.abb.com/railway](http://www.abb.com/railway).



que las de muchos otros países del mundo, como China y la India<sup>3)</sup>. Las líneas principales en Alemania, Suiza, Austria, Suecia y Noruega están electrificadas a 15 kV/16,7 Hz. En Polonia, Bélgica, Italia y España dominan las redes de corriente continua de 3 kV, que también se encuentran en Sudáfrica y Sudamérica, mientras que los Países Bajos y el sur de Francia están electrificados a 1,5 kV en corriente continua. Los viajes de larga distancia en Europa y los viajes regionales en redes transfronterizas dependen de la capacidad técnica de los transformadores y de los convertidores para adaptarse a las distintas tensiones de línea. En términos de comodidad de los pasajeros, es una gran ventaja poder seguir sentados, o acostados, en el caso de los trenes nocturnos, mientras el tren cruza fronteras entre distintas redes eléctricas. Esta capacidad multisistema también reduce considerablemente la duración del viaje.

ABB ha desarrollado soluciones multisistema innovadoras tanto para transformadores<sup>4)</sup> como para convertidores de propulsión. Los transformadores multisistema admiten distintas tensiones y frecuencias de entrada. El convertidor frontal multisistema de ABB convierte una tensión de entrada en corriente continua a una tensión en corriente alterna para el devanado primario de un transformador multisistema de ABB. Ello permite utilizar un convertidor compacto AC BORDLINE®-CC para tensiones de entrada en corriente alterna y continua. Este convertidor se utiliza actualmente en los trenes regionales "FLIRT" TILO<sup>5)</sup>, que prestan servicio en las regiones de Ticino, Suiza (15 kV en corriente alterna) y Lombardía, Italia (3 kV en corriente continua) <sup>5</sup>. En el pasado, el operador ferroviario TILO tenía dos tipos distintos de locomotoras, una para funcionar en Suiza y otra para Italia. Los

<sup>5</sup> El Stadler FLIRT TiLo cruza las fronteras con la tecnología de tracción ABB.



trenes tenían que parar siempre en la frontera entre Suiza e Italia para cambiar de locomotora. Esta maniobra llevaba mucho tiempo. Ahora, los nuevos trenes de tipo FLIRT con convertidores compactos multisistema BORDLINE® de ABB permiten cruzar la frontera sin interrupciones. Südtiroler Transport-Strukturren ha encargado recientemente equipos similares para viajar entre Italia y Austria.

### Fiabilidad, puntualidad, disponibilidad

Por último, se debe insistir en un aspecto fundamental de confort en el transporte público: la fiabilidad del servicio. La fiabilidad y disponibilidad del material eléctrico de los ferrocarriles son decisivas para el confort de los pasajeros. ABB, con su larga experiencia en el sector ferroviario <sup>Cuadro 4</sup>, no sólo defiende su posición de liderazgo en innovación tecnológica, sino que pone un interés especial en la fiabilidad, la rapidez de asistencia técnica, un diseño robusto y un compromiso a largo plazo con los fabricantes de vehículos y con los operadores ferroviarios.

**Harald Hepp**

**Fabiana Cavalcante**

Productos de automatización de ABB

Turgi, Suiza

[harald.hepp@ch.abb.com](mailto:harald.hepp@ch.abb.com)

[fabiana.cavalcante@ch.abb.com](mailto:fabiana.cavalcante@ch.abb.com)

**Peter Biller**

ABB Sécheron SA

Ginebra, Suiza

[peter.biller@ch.abb.com](mailto:peter.biller@ch.abb.com)

#### Notas a pie de página

<sup>1)</sup> Estos convertidores se tratan con más detalle en "El convertidor compacto", *Revista ABB* 3/2006, páginas 52–55.

<sup>2)</sup> Para más información sobre el AC800PEC, véase "Patrones de diseño", *Revista ABB* 2/2006, páginas 62–65.

<sup>3)</sup> Casi todas las líneas de alta velocidad del mundo funcionan a 25 kV CA. En muchos países es posible que los trenes deban funcionar también con redes electrificadas de 1.500 o 3.000 V CC.

<sup>4)</sup> Los transformadores de tracción de ABB para trenes multisistema se tratan con más detalle en "Nacido para adaptarse", *Revista ABB* 3/2006, páginas 49–51.

<sup>5)</sup> FLIRT: Flinker Leichter Innovativer Regionaler Triebzug (Tren Regional Ligero, Rápido e Innovador); TILO: Treni Regionali Ticino Lombardia, (Trenes Regionales Ticino – Lombardía), operador de los trenes regionales transfronterizos entre Italia y Suiza.