

DISEÑOS DE EJE-PUENTE PARA **TRANVÍAS** DE PISO BAJO

Víctor Martínez
Ingeniero Industrial
M.B.A.
SKF Española, S.A.
Unidad de Ferrocarriles

Introducción

Los tranvías de piso bajo y vehículos ligeros sobre raíles facilitan la entrada de los pasajeros. El tranvía modular *Combino*[®] de **Siemens** va provisto de un avanzado eje-puente concebido por **SKF**.

Actualmente la mayoría de los tranvías se diseñan con piso bajo, una solución que contribuye a que los pasajeros puedan entrar fácilmente en el vehículo. El Grupo Siemens, por ejemplo, ha cosechado grandes éxitos con el *Combino*[®], un sistema de tranvía modular y vehículo ligero sobre raíles (LRV). Se caracteriza porque sus mecanismos de rodadura se basan en un eje-puente (Fig. 1) altamente sofisticado, que se ha integrado completamente en el bastidor. **Siemens Transportation Systems** es hoy uno de los líderes en el suministro de sistemas y equipos para la industria mundial del ferrocarril.

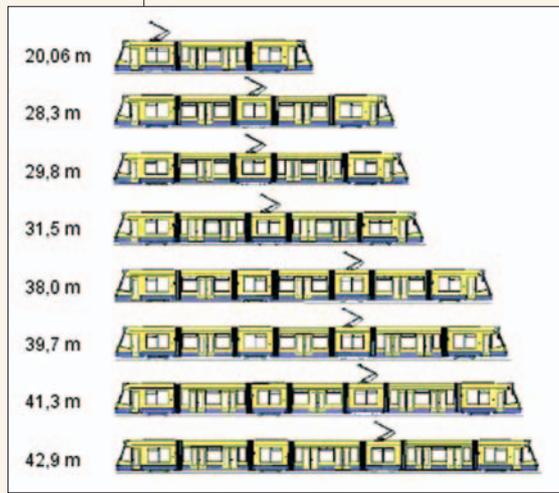
A mediados de la década de 1990, Siemens Transportation decidió concentrar toda su producción de componentes de boges en **Siemens SGP**,



Fig. 1 El eje-puente diseñado por SKF.

en Graz, Austria. En estos talleres se producen cada año más de 3.000 bogies para los más variados productos, desde trenes de alta velocidad, locomotoras, ferrocarriles metropolitanos y coches de viajeros, hasta vehículos ligeros sobre carriles y tranvías de piso bajo.

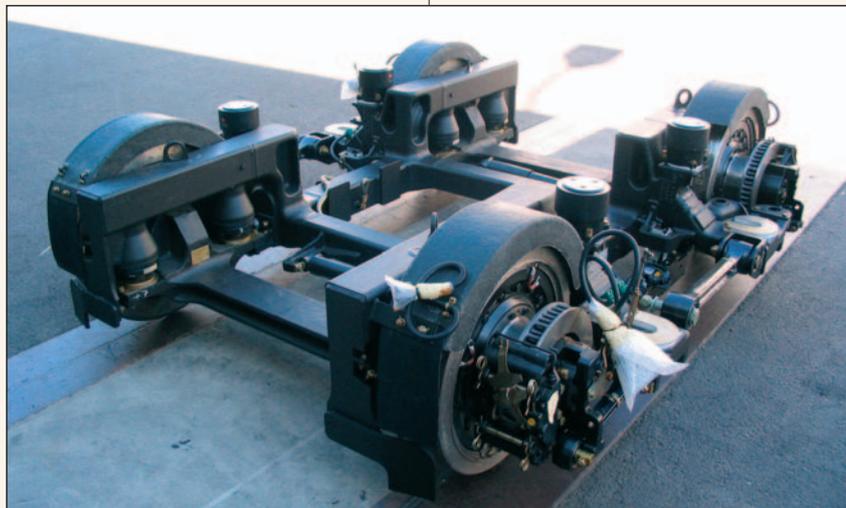
Fig. 2 El sistema modular *Combino* para tranvías de piso bajo.



El concepto *Combino*[®]

Siemens ha desarrollado el sistema modular *Combino* para tranvías y vehículos ligeros de piso bajo, característica que se mantiene a todo lo largo del vehículo. Es una plataforma de productos que permite adaptar el diseño a los requisitos concretos de las empresas de Transporte urbano de diferentes ciudades, en cuanto a la longitud y anchura del vehículo, variando solamente el tamaño de los distintos módulos y la disposición de los bogies remolcado y motor (Figs. 3 y 4).

Desde 1997, Siemens ha vendido más de 600 vehículos *Combino* a 16 ciudades de nueve países siendo líder



del mercado mundial en tranvías de piso bajo, y durante los últimos cinco años ha mantenido una cuota del mercado del 40% en las ventas mundiales de este tipo de tranvías. Hay más de 360 vehículos en servicio comercial y alrededor del 70% de los coches del *Combino* se fabrican para el ancho de vía estándar (1.435 mm) y el resto para un metro de anchura.

Los coches de tranvía modernos y vehículos ligeros sobre carriles diseñados con el piso bajo total suelen

Fig. 3 El bogie remolcado SF 30 C TFW de Siemens.



Fig. 4 El bogie motor SF 30 C TFW.

en el total de la superficie sin necesidad de escalones ni rampas. El mecanismo de rodadura motorizado va provisto de un eje hueco, conectado a la rueda con un

tener el piso a aproximadamente 350 mm sobre la parte superior del carril, en toda la longitud del coche, sin escalones ni rampas interiores. Por tanto, disponen de un espacio muy limitado para acomodar los componentes de propulsión y mecanismos de rodadura (bogie). Esto, combinado con los crecientes requisitos que deben cumplir, significa que su desarrollo comporta un gran desafío.

Al igual que el coche propiamente dicho, el bogie SF 30 del *Combino* se ha diseñado con un alto nivel de modularidad. Los mecanismos de rodadura propulsados y remolcados poseen un eje de mangueta acodado para que el nivel del piso pueda ser bajo

elástico de cruceta y el par de tracción se transmite a las ruedas desde un motor longitudinal y engranajes en ambos extremos.

En el eje remolcado existe un disco de freno embridado directamente a la rueda, con dos brazos articulados con la función de soportar el eje durante el frenado. Además, en el extremo inferior del acodado de la mangueta de ambas ejecuciones (motor y remolcado) se ha incorporado un freno de magnético que actuaría sobre el carril en casos de emergencia.

Para los coches del *Combino* adaptados a los requisitos de Compañías de Transporte Urbano de Ámsterdam y Melbourne, **Siemens SGP**

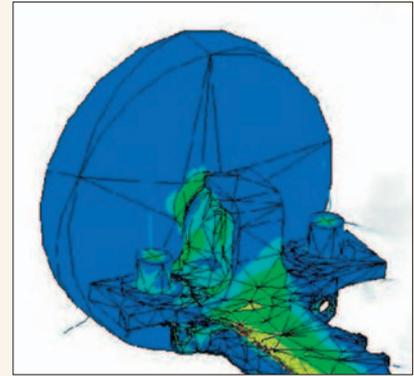


Fig. 5 Resultados de cálculo por el método de elementos finitos.

pidió una generación de eje-puente completamente nueva, más sofisticada y con funciones más avanzadas, comprendiendo:

- El mismo interface a distintos sistemas de ruedas con suspensión de goma, para permitir la modularización del extremo acodado de la mangueta.
- Menor peso.
- Menor mantenimiento.
- Los mismos interfaces al resto del diseño del bogie.
- Ventajas logísticas.

Diseño del eje-puente

El eje-puente original empleado en aplicaciones anteriores era una combinación de dos piezas forjadas, unidas por soldadura a un tubo rectangular. **SKF** empezó realizando estudios de factibilidad de distintos planteamientos de fabricación del componente. Tras evaluar varias soluciones potenciales, finalmente se seleccionó un componente de fundición de acero que ofrecía un alto nivel de fiabilidad y poco peso. La optimización del diseño se realizó en estrecha cooperación con **Siemens SGP**, y con los proveedores de las ruedas, acoplamiento, sistemas de freno y sistemas de retorno a tierra, así como con los subcontratistas de la fundición y los talleres de mecanizado.

El cálculo se empezó con un proceso de Ingeniería inversa y analizando el diseño existente con el método de elementos finitos (Fig. 5). Se inició un proceso más prolongado para optimizar paso a paso el diseño de la nueva generación propuesta. La vali-

Vida de servicio	30 años
Temperatura exterior	- 30 a +45 °C
Máxima velocidad de servicio	70 km/h
Distancia entre ejes	1.800 mm
Ancho de vía	1.435 mm
Diámetro de rueda nueva / usada	600 / 520 mm
Carga por eje (máxima estática)	10 toneladas
Peso del bogie motor	Aprox. 4.300 kg
Peso del bogie remolque	Aprox. 3.000 kg
Suspensión primaria	Resorte de goma cónico
Fuerza de adhesión del freno de vía magnético	68 kN
Altura libre sobre el suelo	65 mm
Unidad/potencia de tracción	Completamente suspendido/2 x 100 kW
Freno (además del motor) Bogie motor	Dos frenos hidráulicos accionados por muelles
Freno (Disco), Bogie remolque	Cuatro frenos hidráulicos
Retorno eléctrico (dispositivo de puesta a tierra)	Uno por eje Como opción, dos por eje si los raíles están aislados eléctricamente para los sistemas de señales y mando del vehículo

Tabla 1. Características técnicas de los bogies del SF 30 Combino para ancho de vía estándar.

dación de los cálculos de elementos finitos y el análisis modal de vibraciones, fue efectuado por un instituto independiente mediante un ensayo de fatiga de 10 millones de ciclos, de acuerdo a la norma 615-4 de la UIC (**Union Internationale des Chemins de Fer**).

El núcleo básico del eje-puente es su sistema de rodamiento integrado.

Existen dos aplicaciones diferentes que generan casos de carga particulares:

- Cadena cinemática de tracción con motor longitudinal suspendido accionando los reductores que proporcionan el giro a las dos ruedas del mismo carril. Se utilizan en este caso una pareja de rodamientos de rodillos cónicos, el interior de mayor tamaño que el exterior.

- Para los ejes remolcados, se seleccionó un cartucho de rodillos cónicos lubricado y obturado de por vida. (Fig. 6).

Los retornos a tierra se precisan para permitir el paso eléctrico desde

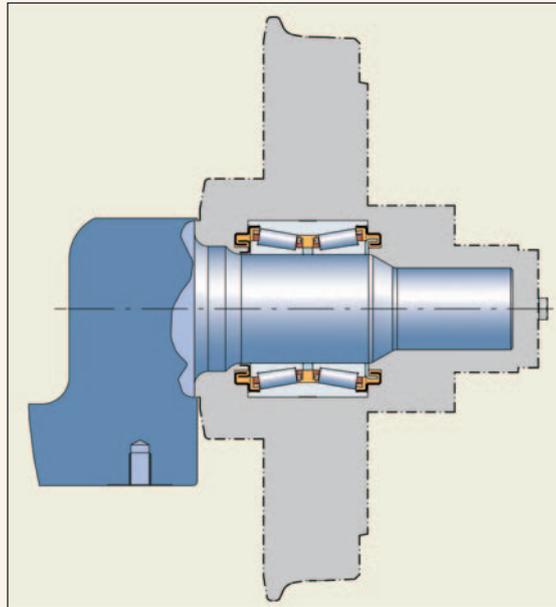


Fig. 6 Principio del sistema de rodamiento del eje-puente.

el bastidor del vehículo, a través del bogie y las ruedas, hasta los carriles. En algunos casos se requieren dos retornos a tierra, en especial si los dos carriles están aislados eléctricamente para el buen funcionamiento de los sistemas de señales y mando

del vehículo. Para proteger los rodamientos contra el paso de la corriente eléctrica y evitar daños a los rodillos y caminos de rodadura, se puede seleccionar en ambos casos como opción, la experimentada solución *Insocoat*[®], que proporciona un revestimiento al aro exterior proporcionando una solución extraordinariamente económica y fiable.

SKF suministra a Siemens SGP un sistema listo para montaje, incluyendo el eje-puente con su sistema de rodamiento integrado, y sus componentes como ruedas, acoplamientos, retornos a tierra

y frenos incorporados. Esta solución facilita el manipulación y contribuye a que Siemens SGP consiga ventajas económicas en su cadena logística (Fig. 7).

Aplicaciones

Las autoridades de Transporte urbano de Ámsterdam, **GVB**, han encargado 155 vehículos ligeros de piso bajo. Este no sólo es el mayor pedido de unidades *Combino* que el Grupo Siemens ha recibido hasta la fecha, sino que también constituye uno de los éxitos de oferta más significativos de los LRV de piso bajo en el mundo. La primera unidad se entregó a la empresa holandesa en noviembre de 2001, después de una fase de pruebas de cinco semanas de duración en el centro de ensayos Wegberg-Wildenrath de Siemens (Fig. 8). Luego se fueron entregando tres unidades cada dos semanas. El diseño modular del Combino (un "kit" compuesto de componentes con garantías de servicio aseguradas) permitió la rapidez de los suministros.

Durante las horas punta, estos tranvías tendrán una frecuencia de servicio de dos o tres minutos entre los principales puntos de confluencia de tráfico urbano. La máxima velocidad que pueden alcanzar es 70 km/h. Esta versión tiene 29 metros de longitud y 67 asientos, con espacio para otros 120 pasajeros de pie. El número de coches en servicio en Ámsterdam es de aproximadamente 70.



Fig. 7 Línea de montaje del eje-puente.



Fig. 8 Tranvía de piso bajo diseñado para prestar servicio en *Ámsterdam*.

Perspectivas

Siemens ha desarrollado recientemente una nueva plataforma, denominada *Avanto/S 70*, con el piso bajo en el 70% de la longitud del vehículo. Los coches de este modelo están diseñados para

una velocidad máxima de 106 km/h. Las primeras unidades han entrado en servicio en Houston, Texas, en enero de 2004. La empresa ha recibido otros dos contratos de París y San Diego, California. Durante 2004, **SKF** desarrolló con **Siemens SGP** un diseño de eje-puente similar para el bogie remolcado, con el fin de satisfacer los nuevos requisitos (Fig. 10).

Resumen

Los componentes estructurales de los LRV (vehículos ligeros ferroviarios) de piso bajo deben tener un pe-

Además, **Siemens** ha suministrado a la empresa de Transporte urbano de Melbourne **Swanston Trams 59** tranvías *Combino* de piso bajo, 38 de ellos de tres módulos y otros 21 de cinco módulos, consiguiendo además el contrato de mantenimiento durante los primeros 15 años de vida de los vehículos. Las primeras unidades entraron en servicio en 2002.

Las versiones de tranvía para Melbourne son de 20 o 30 metros de longitud y están diseñadas para funcionar en la modalidad bidireccional (Fig. 9). Durante las horas punta, tiene asientos para 54 pasajeros. Los nuevos tranvías son un elemento clave para incrementar la capacidad de Transporte urbano, además de realzar el atractivo general del Transporte público.



Fig. 10 El vehículo ligero de piso bajo *Avanto/S70* diseñado para el Transporte urbano en la ciudad de *Houston, Texas*.



Fig. 9 Tranvía de piso bajo diseñado para prestar servicio en *Melbourne*.

so reducido, debido a los requisitos de gran capacidad de transporte y a los pesos adicionales que comportan en los vehículos modernos la instalación de aire acondicionado y otros equipos. Otra exigencia que cada día adquiere más relieve es el mantenimiento. Un aspecto también clave para los suministradores vehículos y sistemas ferroviarios es la estandarización y modularidad, para satisfacer las demandas del cliente en un plazo corto y a un coste razonable. Partiendo de estos requisitos, el desarrollo del eje-puente de **SKF** ha culminado con mucho éxito. ■