

EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS TRANVIARIOS



Miguel Rodríguez Bugarín
Margarita Novales Ordax
Alfonso Orro Arcay



CC BY-NC 4.0 DEED

Atribución-NoComercial 4.0 Internacional

EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS TRANVIARIOS

Miguel Rodríguez Bugarín
Dr. Ingeniero de Caminos

Margarita Novales Ordax
Ingeniero de Caminos

Alfonso Orro Arcay
Ingeniero de Caminos

Grupo de Ferrocarriles y Transportes
*Escuela Técnica Superior de
Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*
UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ISBN: 84-688-3535-8

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

INTRODUCCIÓN

La revolución que ha supuesto el metro ligero en muchas ciudades europeas y americanas ha vuelto a hacer de los sistemas ferroviarios ligeros un modo de transporte atractivo para los desplazamientos urbanos.

No obstante, el metro ligero no aparece repentinamente, sino que se trata de la evolución del venerable tranvía, que aún hoy en día sigue siendo la columna vertebral de muchos sistemas de transporte urbano centroeuropeos. Evolución que, por otra parte, no se ha detenido. Buena prueba de ello es el tranvitrén, una novísima aplicación de los sistemas ferroviarios ligeros para acercar la ciudad a su área de influencia regional.

Somos conscientes de que no hay mejor modo de explicar y entender un determinado fenómeno que analizando su origen y evolución, y con este ánimo hemos redactado el presente Cuaderno, primero de una colección en la que se irán tratando temas ligados a la investigación desarrollada por sus autores en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de A Coruña.

Estos Cuadernos quieren, con la doble vocación universitaria docente e investigadora, acercar al lector a algunos aspectos y soluciones técnicas en el ámbito de los Ferrocarriles y de los Transportes cuya especificidad, unida a su actualidad, dificulta la localización de referencias bibliográficas y técnicas en los canales habituales.

Nunca un texto de estas características puede considerarse cerrado. Nuevas soluciones, nuevos enfoques e innovaciones van haciendo, afortunada e inexorablemente, perder actualidad a una obra técnica. En sus comentarios y cuestiones, que ojalá despierten la lectura de estos Cuadernos, esperamos encontrar la colaboración necesaria en la siempre inacabable tarea, a la que ésta no es ajena, de mejorar cualquier obra.

A Coruña, septiembre de 2003

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

SISTEMAS FERROVIARIOS LIGEROS

1.1. Introducción.....	7
1.2. Los sistemas ferroviarios ligeros.....	8
1.3. Tranvía y metro ligero.....	9
1.3. Otras definiciones de metro ligero.....	10
1.3.1. Estados Unidos.....	10
1.3.2. Union Internationale des Transports Publiques.....	11
1.3.3. Gran Bretaña.....	11
1.4. Características.....	12
1.5. Otros sistemas de transporte urbano o suburbano.....	12
1.5.1. Metro.....	12
1.5.2. Ferrocarril de cercanías.....	15
1.5.3. Sistemas APM.....	16
1.5.4. Trolebuses.....	17
1.5.5. Vehículos bimodales.....	19
1.5.6. Autobuses guiados.....	21
1.5.7. Comparación entre los diferentes sistemas ferroviarios urbanos.....	23
Referencias.....	24

DEL TRANVÍA AL METRO LIGERO

2.1. Los comienzos del tranvía	27
2.2. Los inicios de la tracción mecánica	30
2.3. Los tranvías eléctricos.....	35
2.4. El tranvía entre las dos guerras	40
2.4.1. Francia: hacia la supresión del tranvía	42
2.4.2. Estados Unidos: la evolución continúa	43
2.5. La situación del tranvía tras la II Guerra Mundial	44
2.6. Nacimiento del metro ligero	44
Referencias	47

SISTEMAS DE TRANVITRÉN Y TREN-TRANVÍA

3.1. Introducción	51
3.2. ¿Qué es el tranvitrén?	52
3.3. ¿Qué es el tren-tranvía?	53
3.4. Explotaciones de tranvitrén existentes en la actualidad	53
3.4.1. El inicio en Karlsruhe	53
3.4.2. El sistema de Saarbrücken	55
3.4.3. Otras ciudades alemanas	57
3.4.4. El tranvitrén en Francia	58
3.4.5. El tranvitrén en el Reino Unido	58
3.4.6. Otros proyectos	59
3.5. Explotaciones de tren-tranvía existentes en la actualidad	61
3.6. Ventajas de los sistemas de tranvitrén y de tren-tranvía	63
3.6.1. Ventajas relativas a la inversión pública	63
3.6.2. Ventajas para los usuarios	64
3.6.2. Ventajas para la comunidad	65
Referencias	66



Capítulo I

SISTEMAS FERROVIARIOS LIGEROS

Capítulo I

SISTEMAS FERROVIARIOS LIGEROS

I.1. INTRODUCCIÓN

Es patente la proliferación de proyectos de sistemas ferroviarios ligeros en las ciudades españolas, para tratar de solucionar los problemas de movilidad urbana. A las realidades de Valencia, La Coruña, Alicante, Bilbao y Barcelona, se suman los proyectos más o menos desarrollados Vitoria, Gijón, Zaragoza, Palma de Mallorca, Málaga, Sevilla, Cádiz, Santa Cruz de Tenerife, Las Palmas, Madrid y Valladolid. En general, existe gran confusión a la hora de denominarlos, utilizando con frecuencia la palabra tranvía o metro ligero indebidamente. Es curioso constatar que se atribuyen al metro ligero unas características de modernidad, confort y respeto al medio ambiente que lo hacen más atractivo a ojos de la opinión pública que al tranvía, con connotaciones peyorativas propias de un sistema de transporte urbano anticuado.

A través de este capítulo se definirá qué son los sistemas ferroviarios ligeros, diferenciando el tranvía del metro ligero. Finalmente se compararán ambas soluciones con otros sistemas de transporte aplicados al transporte urbano.

I.2. LOS SISTEMAS FERROVIARIOS LIGEROS

Existen diversas definiciones de sistemas ferroviarios ligeros (algunas de las cuales se comentará más adelante), que se han venido adoptando a lo largo de los últimos años siguiendo la evolución de esta tecnología. Tal y como se empleará a lo largo de este libro, se entiende como sistema ferroviario ligero:

- ❑ Un sistema de transporte urbano ferroviario: la rodadura se materializa mediante ruedas de acero que giran sobre carriles de acero y el guiado se produce mediante la interacción de las pestañas de las ruedas con el borde interior o activo de la cabeza del carril.
- ❑ Que circula total o parcialmente sobre las calles (figura 1.1), adaptándose a su trazado (con capacidad, en consecuencia, para circular sobre curvas cerradas y con pendientes elevadas).
- ❑ Cuyos vehículos son más ligeros que los ferroviarios clásicos, incluso que los empleados en el metro.



Figura 1.1. Tranvía de piso bajo *Cityrunner* circulando por las calles de Graz (Austria).

- Normalmente estos vehículos emplean tracción eléctrica, captando dicha energía a partir de un hilo conductor situado sobre el trazado, a cierta altura de la vía (figura 1.2).

Esta definición cubre tanto los clásicos tranvías como los modernos sistemas de transporte urbano conocidos como metros ligeros.

I.3. TRANVÍA Y METRO LIGERO

La primera cuestión que se plantea es la diferenciación entre tranvía y metro ligero. Al tratarse de sistemas ferroviarios ligeros, ambos sistemas se basan en el uso de vehículos de rodadura ferroviaria (rueda de acero sobre carril de acero), guiados automáticamente (gracias a la interacción entre la pestaña de sus ruedas y el carril) y tracción eléctrica (aunque en su época hubo tranvías de sangre, tirados por caballos). De hecho, la distinción entre ambos sistemas no se basa en las características de los vehículos.

Los tranvías son vehículos que comparten la plataforma que utilizan (en general, la calle) con el resto de los tráficos existentes: peatones, vehículos motorizados, etc.

Lo que diferencia a un metro ligero (o *Stadtbahn*, *light rail*, *métro léger* o *sneltram*, como se le denomina en otros idiomas), de un tranvía es que se trata de un sistema ferroviario que corre sobre sus vías reservadas a lo largo de una parte considerable de su ruta, utilizando de modo exclusivo dicha plataforma (figura 1.3), sin interacción con otros flujos de tráfico.

A tenor de lo dicho, la única diferencia entre un tranvía y un metro ligero es el uso que se haga de la plataforma por donde circularán los vehículos.



Figura 1.2. Tranvía en Hannover captando energía eléctrica (600 V cc) a partir de un hilo de contacto mediante pantógrafo.



Figura 1.3. Vehículo de metro ligero de Oporto, circulando en un tramo de plataforma reservada.

1.3. OTRAS DEFINICIONES DE METRO LIGERO

Existen otras definiciones relativas al concepto de metro ligero que, por su interés, se reproducen en los párrafos siguientes.

1.3.1. ESTADOS UNIDOS

En los Estados Unidos, en el seno del *Light Rail Transit Committee of the Transportation Research Board*, una unidad del Consejo de Investigación Nacional (*National Research Council*), se definió de modo preciso metro ligero como sigue:

“El metro ligero es un modo de transporte urbano que usa predominantemente plataforma de uso reservado, aunque no necesariamente separada. Los vehículos, propulsados eléctricamente, operan aislados o formando trenes. El metro ligero proporciona un amplio rango de capacidades de transporte de pasajeros y prestaciones con costes moderados.

El mayor atractivo del metro ligero es su mayor flexibilidad y versatilidad. Puede situarse en líneas de metro, en las calles, sobre

estructuras elevadas, sobre corredores privados, con o sin pasos a nivel, en medio de autopistas y sobre líneas ferroviarias abandonadas.

El metro ligero posee muchas posibilidades de explotación. Un vehículo de metro ligero puede estar operando en medio de una calle saturada en un momento dado y funcionar como un tren de cercanías momentos más tarde.”

I.3.2. UNION INTERNATIONALE DES TRANSPORTS PUBLIQUES

La *Union Internationale des Transports Publiques (UITP)* se pronunció al respecto en el Congreso que celebró en Helsinki, en el año 1979, formalmente mediante el *First Report* de la *Light Rail Commission*:

“El metro ligero es una forma de transporte ferroviario que puede ser desarrollado en etapas desde un tranvía moderno a una forma de transporte que opere bajo tierra o en viaductos. Cada etapa de desarrollo puede ser la etapa final, aunque permitiría un desarrollo posterior hacia la siguiente etapa superior.”

Esta definición refleja la tendencia que existía en aquellos años en Alemania Occidental y otros países europeos a transformar, en el centro de la ciudad, las líneas tranviarias en metros llevándolas bajo tierra en fases, sistema que se conocieron como pre-metros. Ello implica que el metro ligero, tal y como se concibe hoy en día, es una etapa intermedia cuyo desarrollo final es una red de metro (subterráneo o aéreo). Los altos costes de soterramiento de las líneas tranviarias, junto con el éxito en la década de los 80 de las redes de metro ligero con plataforma reservada en superficie, motivaron el abandono de la idea de los pre-metros.

I.3.3. GRAN BRETAÑA

El *British Department of Transport*, en el documento *“Light Rapid Transit: Provisional Guidance Note on Highway and Vehicle Engineering Aspects of Street Running”*, publicado en Abril de 1989, hizo la siguiente definición de sistema ferroviario ligero:

“Cualquier sistema guiado usado para el transporte de pasajeros donde las características de los vehículos no se ajustan a las requeridas para los ferrocarriles de líneas principales.

LRT 1: La totalidad o una parte de un sistema ferroviario ligero que circula sobre una plataforma donde la parte

usada por sus vehículos es compartida por otros usuarios de la vía, incluyendo peatones.

LRT 2: La totalidad o una parte de un sistema ferroviario ligero que circula sobre una plataforma donde su vía no es compartida, pero es accesible todo a lo largo de su longitud para uso por otros vehículos sobre neumáticos en emergencias.

LRT 3: La totalidad o una parte de un sistema ferroviario ligero que circula sobre una plataforma donde su vía está totalmente segregada de otros tráficos, incluyendo peatones. Esta categoría puede ser subdividida en dos según el modo de explotación:

LRT 3a: Se conduce a la vista y la línea no requiere estar totalmente vallada.

LRT 3b: Se conduce con el control de un sistema de señalización con enclavamientos, estando la línea normalmente vallada.”

1.4. CARACTERÍSTICAS

Las velocidades comerciales de un sistema de metro ligero generalmente oscilan entre 20 y 40 km/h, aunque los vehículos pueden alcanzar los 80 km/h de velocidad máxima. La distancia entre estaciones se sitúa normalmente entre los 300 y 800 m. La capacidad del sistema puede alcanzar los 20 000 viajeros por hora y sentido.

1.5. OTROS SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO O SUBURBANO

1.5.1. METRO

El metro (*underground, subway, U-bahn*) es un sistema de transporte público urbano que emplea trenes más ligeros que los convencionales. En general, es frecuente que una gran parte de las líneas se construyan en túneles excavados bajo la superficie de las calles.

El metro es un sistema de transporte ferroviario urbano, ligero (del orden de 12 t/eje), con tracción eléctrica, totalmente independiente de otros tráficos (plataforma reservada) y con frecuencias de servicio altas. Esta definición no menciona si el tren circula o no bajo tierra, porque ésta no es una

de las características diferenciadoras de este sistema ferroviario de transporte. Aunque los primeros metros fueron, en efecto, subterráneos (Budapest, Londres), existen casos de líneas construidas al aire libre, bien debido a circunstancias específicas de la propia ciudad o bien a la progresiva ampliación de su red hacia un extrarradio menos poblado. Incluso existen casos muy famosos de metros elevados (Nueva York, París). No obstante, es preciso señalar que en algunas ciudades, "metro" se usa sólo para las líneas que realmente son subterráneas.

En cualquier caso, lo importante es que un sistema de metro siempre opera con plataforma reservada, estando totalmente segregada de otros tipos de tráfico. Se trata de una diferencia esencial con respecto a los sistemas ferroviarios ligeros, los cuales, en algún momento, cuentan con plataforma compartida.

Los vehículos de metro suelen operar en unidades más largas y de mayor capacidad que las de metro ligero o tranvías. Las velocidades de circulación oscilan entre 25 y 60 km/h, si bien en algunas líneas con suficiente distancia entre paradas pueden llegar a superarse los 100 km/h.

Como ya se ha dicho, normalmente la frecuencia de servicio de los trenes del metro es muy alta (de 20 a 40 trenes a la hora), deteniéndose durante un corto intervalo en las estaciones para permitir el acceso o salida de los viajeros. Si a este hecho se le añade que el volumen de pasajeros que un tren metropolitano puede llevar es elevado (por ejemplo, una unidad de seis vehículos de la serie V del metro de Viena puede transportar a 1 360 personas), la capacidad de transporte del sistema es muy alta. Existen modernas explotaciones de metro con capacidades de transporte de 60 000 viajeros por hora y sentido (São Paulo, Hong Kong). En general, la capacidad de transporte de este tipo de sistemas ferroviarios urbanos es mayor de 20 000 viajeros por hora y sentido. Por ello, en muchas grandes ciudades el metro es la espina dorsal del sistema de transporte público urbano.

Tradicionalmente, los trenes de metro son conducidos por un maquinista desde la cabina situada al frente del tren. Aunque ésta sigue siendo la forma más habitual de conducción, también existen sistemas de metro que no precisan conductor. Es el caso de Londres (el metro de los Docklands, figura 1.4), Singapur y París (*Météor*).

En general, los metros son sistemas típicamente ferroviarios, en los que el avance de los vehículos se debe al fenómeno de la adherencia de las ruedas de acero rodando sobre carriles de acero. No obstante, también pueden utilizar otras tecnologías, si bien el guiado siempre se confiere a la su-



Figura 1.4. Ferrocarril de los Docklands (Londres).

perestructura. De esta forma, se pueden señalar los sistemas de metro sobre neumáticos (Montreal, París, Lyon, etc.), lo que se traduce en unas mejores prestaciones de aceleración y frenado, así como una mayor comodidad en la marcha y menor emisión de ruido y vibraciones (figura 1.5).



Figura 1.5. Bogie bimotor sobre neumáticos de un vehículo MP73 del Metro de París.

La alimentación eléctrica se puede realizar mediante la disposición de un tercer carril, constituyendo el circuito de retorno la propia vía (por ejemplo, Nueva York o Barcelona), mediante un circuito de tracción independiente con tercer y cuarto carril (Londres) o mediante alimentación aérea con hilo de contacto (Madrid).

I.5.2. FERROCARRIL DE CERCANÍAS

Desde el punto de vista de la vía y los vehículos, y salvando las oportunas modificaciones que el material móvil precisa para este tipo de operación, el ferrocarril de cercanías es básicamente un ferrocarril convencional. De hecho, suele ser explotado por la administración ferroviaria nacional, si bien existen también numerosos casos en que estos servicios son desarrollados por otras compañías públicas o privadas (Alemania, Italia).

La vía suele ser la misma que en otras líneas convencionales (en general, vía sobre balasto), compartiendo otros servicios como *intercitys*, regionales, mercancías, etc. Existe una reserva total de la plataforma, aunque pueden existir pasos a nivel. Las distancias entre estaciones son mayores que en el caso del metro (más de 2 000 m) y, en consecuencia, las velocidades comerciales también son mayores (entre 40 y 70 km/h, habitualmente).

Los vehículos son pesados (en torno a 18-20 t/eje), pudiendo ser automotores (figura 1.6) o remolcados por una locomotora. En este caso, para evitar los cambios de posición de la locomotora en las estaciones terminales, en ocasiones se recurre a soluciones *push-pull*, con la locomotora dando tracción en cabeza o empujando por cola, estando el maquinista situado, en tal caso, en un coche con cabina situado al efecto en el extremo de la composición.

En general, el radio de acción de estos servicios es mayor que el del metro, llegando a poblaciones más lejanas del núcleo urbano principal. Ello justifica también que la distancia entre paradas sea, por lo general, tanto mayor cuanto mayor sea la distancia al núcleo urbano principal, coincidiendo con aglomeraciones de población (barrios, ciudades dormitorio, pueblos, etc.), o centros fabriles del extrarradio.

Aunque las zonas de actuación de ambos sistemas presenten áreas de solapamiento, puede afirmarse, en términos generales, que el ferrocarril de cercanías atiende a un ámbito provincial (incluso en algunos casos extra-provincial), mientras que el metro se centra más en el ámbito urbano y periurbano.



Figura 1.6. Unidad Z2N en la estación de Montparnasse (París).

I.5.3. SISTEMAS APM

Se trata de sistemas ferroviarios de transporte urbano, ligeros, que generalmente operan de modo automático, sin conductor. Por ello, la circulación se realiza siempre sobre plataforma reservada, bien a nivel del suelo o, más usualmente, elevada.

Los sistemas APM (*Automatic People Mover*) se basan en el uso de unos vehículos automáticos, de tracción eléctrica, que circulan sin necesidad de disponer de un conductor. Estos vehículos pueden circular aislados o unidos en un convoy. La plataforma puede ser de hormigón, acero o mixta y su diseño permite conseguir el guiado automático del vehículo. La rodadura puede realizarse sobre neumáticos, ruedas de acero (poco frecuente) o campo magnético.

La explotación automática de los sistemas APM facilita conseguir altas frecuencias, lo que permite alcanzar intensidades de 2 000 a 25 000 viajeros por hora.

Durante las últimas dos décadas, se ha usado la tecnología de APM en las interconexiones entre diferentes terminales de grandes aeropuertos, parques recreativos y grandes complejos comerciales. Esta tecnología también se ha aplicado en las líneas principales del transporte urbano de ciertas ciudades, como el sistema de VAL (figura 1.7) en Lille (Francia)



Figura 1.7. Sistema VAL (Véhicule Automatique Léger).

y el SkyTrain en Vancouver (Canadá), ambos con notable éxito. Este tipo de iniciativas trata de redirigir la aplicación de estos sistemas hacia el transporte urbano. En la tabla 1.1 se muestran algunos de los proyectos más importantes, operativos o en construcción, de este tipo de sistemas urbanos de transporte.

I.5.4. TROLEBUSES

El trolebús es un autobús de tracción eléctrica. La corriente la toma de un par de hilos situados a una cierta altura sobre la calle, mediante unas pértigas denominadas troles. La tensión de alimentación de los sistemas de trolebuses era de 550/600 V cc. En los últimos años, los modernos trolebuses operan bajo tensiones de 750 V cc. Los primitivos sistemas de tracción basados en contactores y resistencias han sido sustituidos por la electrónica de potencia.

Como el autobús, el trolebús requiere que una persona lo conduzca en medio del tráfico de la calle. No obstante, la tracción eléctrica simplifica tanto la mecánica del vehículo (por ejemplo, no existe embrague o caja de cambios) como su conducción. El trolebús se puede alejar de los cables de alimentación una cierta distancia, limitada por la longitud de los troles situados en su techo, lo que le permite una cierta movilidad para salvar obstáculos en su ruta (cosa que no es posible en un tranvía o metro ligero).

Desde el punto de vista operativo, en general, un sistema basado en trolebuses es muy similar al de autobuses. Al compartir la plataforma con otros tráficos, están supeditados a las incidencias del tráfico en las calles, por lo que su capacidad es baja.



Figura 1.8. Trolebús en Lucerna (Suiza).

Hacia finales de la década de los 50 del pasado siglo, los sistemas de trolebús tuvieron una gran popularidad, especialmente en los países anglosajones. Este sistema fue el que reemplazó a los tranvías debido, entre otros factores, a la facilidad para extender sus servicios sin la necesidad de construir la cara superestructura tranviaria, así como por el confort de su silenciosa rodadura, lo que le confirió un gran atractivo para los usuarios.

En la actualidad, esta tendencia ha cambiado. En Alemania, 70 ciudades tenían sistemas de trolebuses, la mayoría de los cuales se mantuvo hasta finales de los 60. En la actualidad, sólo 91 vehículos operan en Eberswalde, Esslingen y Solingen. Aunque el trolebús tiene una notable capacidad de aceleración y frenado gracias a la rodadura sobre neumáticos, y a pesar de que su tracción eléctrica hace que no emita ningún tipo de contaminante a la atmósfera, siendo más silencioso que un autobús movido por un motor diésel, este sistema fue abandonado en muchas ciudades, sin apenas protestas dignas de mención.

Actualmente hay del orden de 40 000 trolebuses en el mundo distribuidos en 356 ciudades. Las flotas más grandes se localizan en Rusia, Ucra-

nia y China, con respectivamente un 34 %, 18 % y 12 % del total de la flota mundial.

I.5.5. VEHÍCULOS BIMODALES

La dependencia de la alimentación aérea y sus consecuencias en el caso de incidencias sobre ella o modificaciones en la ruta a seguir (obras en la calle, accidentes, etc.), llevó a algunos diseñadores de trolebuses a buscar una fuente de energía alternativa que permitiera al trolebús seguir circulando independientemente de los cables de alimentación.

Las diferentes realizaciones se han centrado en dos fuentes de alimentación alternativa: un motor diésel embarcado o un banco de baterías. En el caso del motor diésel, su movimiento no se suele transmitir directamente a las ruedas como en un autobús, sino que se acopla a un alternador que proporciona corriente eléctrica que alimenta los motores de tracción del vehículo.

Estos vehículos híbridos permiten utilizar la tracción eléctrica en aquellas zonas de la línea con una alta circulación de vehículos (por ejemplo, el centro urbano), lo que hace rentable la instalación de una red de alimentación eléctrica suspendida. Sin embargo, las bajas intensidades de circulación que se producen en el extrarradio pueden no justificar la instalación de dicha infraestructura. En esos casos, los vehículos bimodales pueden seguir prestando el servicio de transporte urbano mediante el uso del motor diésel.

El problema de los vehículos híbridos es que tienden a ser complejos y caros. Además, el hecho de llevar equipo de tracción adicional embarcado reduce el espacio útil para viajeros y aumenta su peso.

El segundo paso que lleva hacia el vehículo bimodal es el guiado automático. Para favorecer la capacidad del sistema de transporte, se busca aumentar la velocidad de circulación de los vehículos. Ello suele conducir a reservar una plataforma por la que circular. Si dicha plataforma tiene un diseño adecuado, el vehículo puede ser conducido automáticamente, limitándose el conductor a acelerar o frenar el vehículo. Esta característica permite diseñar vehículos más largos, mediante la articulación de varias cajas.

Una variante de esta filosofía es el «tranvía sobre neumáticos» (conocido también como *TVR - Transport sur voie réservée*). Se trata de un vehículo bimodal, de tracción eléctrica/diésel-eléctrica, que circula como los tranvías, es decir, compartiendo la plataforma (la calle). El guiado se realiza automáticamente mediante un carril especial (figura 1.9) instalado en el eje de su

itinerario en ciertos tramos. La rodadura se realiza mediante neumáticos. En la actualidad, existen experiencias en Caen y en Nancy.

El vehículo (figura 1.10) mide 25 m de longitud y tiene 2,55 m de ancho. Puede transportar a 150 personas. Opera con el motor diésel en las afueras del centro urbano, mientras que en éste lo hace con tracción eléctrica, captando la corriente mediante troles. También se puede realizar la captación de corriente mediante pantógrafo, en cuyo caso el circuito de retorno se establece a través del carril de guiado. El vehículo puede alcanzar los 70 km/h.



Figura 1.9. Entrada en una zona con carril de guiado del vehículo bimodal de Nancy.



Figura 1.10. Vehículo bimodal de Nancy.

I.5.6. AUTOBUSES GUIADOS

Los autobuses guiados son un sistema intermedio entre los autobuses convencionales y los tranvías. El autobús guiado circula normalmente sobre una plataforma especialmente diseñada de hormigón (figura 1.11), acero o mixta y tiene un sistema de dirección que consta de dos circuitos que funcionan independientemente. Con la ayuda de un dispositivo mecánico (figura 1.12), electrónico o electromagnético, los autobuses pueden guiarse automáticamente y el conductor sólo debe acelerar o frenar. Fuera de la plataforma especial, el autobús se conduce de forma convencional, mediante el volante accionado por el conductor.

La tabla 1.1 muestra de modo general las diferentes prestaciones, en aceleración y frenado, que tienen los vehículos modernos de metro ligero y los autobuses.

Actualmente están en desarrollo o fase de pruebas varios sistemas basados en un autobús o trolebús guiado mediante sistemas ópticos y electrónicos (figura 1.13), que leen la información necesaria para guiar el vehículo a partir de unas bandas especiales establecidas en la calzada que pueden tener reservada al efecto.



Figura 1.11. Autobús guiado de Adelaida (Australia).



Figura 1.12. Dispositivo de guiado del O-bahn de Adelaide (Australia).

	TRANVÍA - METRO LIGERO	AUTOBÚS - TROLEBÚS
Aceleración (m/s^2)	0,8 - 1,2	0,7 - 0,9
Frenado normal (m/s^2)	1 - 1,2	Controlado por el conductor
Frenado de emergencia (m/s^2)	1,3 - 2	3,0 - 6,0
Frenado de emergencia con frenos de vía (m/s^2)	2 - 3	No aplicable
Sobreaceleración (m/s^3)	0,65 - 0,8	Controlada por el conductor

Tabla 1.2.

Fuente: [1], adaptado por autores.



Figura 1.13. Experiencias con autobuses guiados con sistemas electrónicos en Japón.

I.5.7. COMPARACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES SISTEMAS FERROVIARIOS URBANOS

Para finalizar este capítulo, y a modo de resumen recopilatorio, en la tabla 1.3 se presentan características genéricas de los tres principales sistemas ferroviarios urbanos que existen en la actualidad. Es preciso hacer hincapié en que los valores presentados son genéricos y deben ser considerados como órdenes de magnitud de los valores presentados.

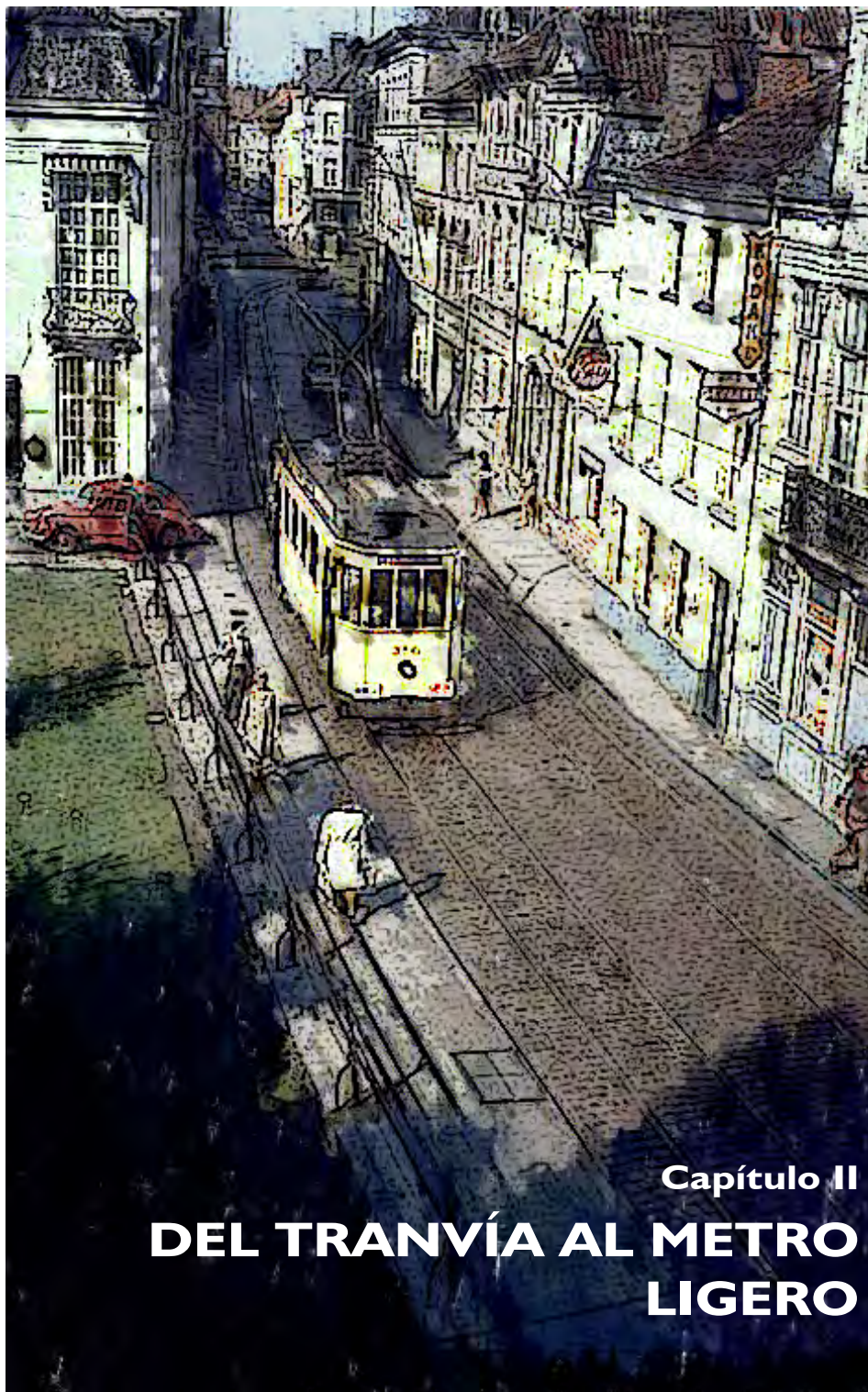
	METRO LIGERO	METRO	FC CERCANÍAS
CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS			
Velocidad máxima (km/h)	70 - 80	80 - 100	80 - 160
Velocidad comercial (km/h)	20 - 40	25 - 60	40 - 70
Trenes/h (máximo)	40 - 90	20 - 40	10 - 30
Capacidad (pasajeros/h)	20 000	60 000	30 000
CARACTERÍSTICAS VEHÍCULOS			
Coches/tren	1 - 4	1 - 10	1 - 10
Longitud coche (m)	14 - 32	16 - 23	20 - 26
Pasajeros/coche	125	250	250
LÍNEA			
Porcentaje de plataforma reservada sobre el total (%)	40 - 70	100	90 - 100
Altura de los andenes	Bajos o altos	Altos	Bajos o altos
Control de billetes	En el vehículo o fuera	Fuera del vehículo	En el vehículo o fuera
OTROS ASPECTOS			
Servicio en el centro urbano	Bueno	Bueno	Limitado
Distancia entre paradas (m)	300 - 800	500 - 2 000	> 2 000
Longitud media del viaje	Corta a media	Media a larga	Larga

Tabla 1.3.

Fuente: [1], adaptado por autores.

REFERENCIAS

- [1] AA. VV., *Urban Railways and the Civil Engineer. Proceedings of a conference organized by the Institution of Civil Engineers*, Thomas Telford, Londres 1987.
- [2] BARRY, M., *Through the cities. The revolution in Light Rail*, Frankfort Press, 1991.
- [3] BONZ, M; LOHRMANN, K. D., Criteria for the choice of light rail systems. Comunicación al 48º Congreso Internacional de la UITP, Budapest 1989.
- [4] KAIN, "Cost-Effective Alternatives to Atlanta's Rail Rapid Transit System". *Journal of Transport Economics and Policy*, Enero, 1997.
- [5] KÜHN, F; SOULAS, C., Between bus and light rail. Emergence of intermediate urban systems. Comunicación al 9º *World Conference on Transport Research*, Seul 2001.
- [6] RODRÍGUEZ BUGARÍN, M.; ORRO ARCAÏ, A. "Sistemas ferroviarios ligeros". *Revista OP*, nº 45, 1998.
- [7] SHEN, D.; HUANG, J.; ZHAO, F., Automated people mover applications: A worldwide review. *National Urban Transit Institute - U.S. Department of Transportation*, 1995.
- [8] VUCHIC, V. R., *Urban public transportation. Systems and technology*, Prentice Hall, New Jersey 1981.
- [9] ZSCHWEIGERT, M., *Bahnanlagen des Nahverkehrs*, Transpress, Berlín 1982.



Capítulo II
**DEL TRANVÍA AL METRO
LIGERO**

Capítulo II

DEL TRANVÍA AL METRO LIGERO

2.1. LOS COMIENZOS DEL TRANVÍA

Los primeros servicios de transporte urbano que utilizaron vehículos sobre carriles aparecieron hacia 1830 en los Estados Unidos, debido al mal estado de las calzadas que dificultaba la circulación de ómnibus tirados por caballos. En 1832 se abrió una línea regular de tranvías que aseguraban la relación entre Nueva York y Harlem. Pero las rudimentarias vías utilizadas en aquella época empleaban carriles con perfiles en U que sobresalían sobre el pavimento. Esta disposición perjudicaba la circulación de los vehículos carreteros, provocando frecuentes accidentes. Ello provocó vivas polémicas y, de modo muy rápido, el tranvía desapareció de las ciudades americanas.

La idea del tranvía fue recuperada veinte años más tarde por un francés, Loubat, que obtuvo autorización para instalar en Nueva York nuevas vías utilizando un carril de garganta que no producía ningún saliente sobre la calzada. Este tranvía se puso en servicio en Broadway en 1853.

Este nuevo modo de transporte resultó ser muy competitivo con respecto a los vehículos de carretera: la rodadura de la rueda metálica sobre el carril requería mucha menos energía que la demandada por la rodadura de

las ruedas sobre la calzada, resultando además muy confortable. Así, desde Broadway el tranvía irá ganando poco a poco las principales ciudades de América: a los primeros vehículos construidos siguiendo el modelo ómnibus seguirán los conocidos como «coches americanos», vehículos ligeros con plataformas extremas que se popularizarán rápidamente en todo el continente (figura 2.1). Hacia 1860 aparecen los primeros vehículos con un solo agente, con plataforma delantera única ocupada por el cochero que también cumple las funciones de interventor.



Figura 2.1. Tranvía de sangre (1912).

Es en esta época en la que el tranvía llega a Europa. A partir de 1853, Loubat, de regreso a Francia, solicita la autorización para construir una línea de tranvía que cruce París y una Vicennes con Boulogne y Sèvres, siguiendo los muelles del Sena. El 21 de Noviembre de ese mismo año, se realizó un ensayo de este nuevo modo de transporte en presencia del Ministro de Obras Públicas. En Septiembre de 1855, el conocido como «ferrocarril americano» entraba en explotación regular. Sin embargo, a partir de su origen, los poderes públicos se tornarón hostiles al tranvía prohibiendo la colocación de los carriles en el centro de la Capital. La línea, limitada a la sección Boulogne - Concorde, perderá su interés esencial.

En el resto de Europa, el tranvía conocerá un desarrollo más rápido, no exento de dificultades. Las primeras líneas inglesas se establecerán con carriles salientes, en Birkenhead (1860) y en Londres al año siguiente. En el Continente, las grandes capitales verán aparecer el tranvía en esos mismos años: Ginebra en 1862, Copenhague en 1863, Pest en 1864, Berlín y Viena en 1865, Hamburgo y La Haya en 1866, Bruselas en 1869, ... La mayor parte de las redes utilizan vehículos según el modelo Starbuck, derivados de los «coches americanos», pero con la incorporación muy a menudo de un imperial (plataforma con asientos situada encima de la cubierta; véase figura 2.2). La tracción animal sigue siendo aún la universalmente empleada.

No obstante, el impacto de los «tranvías de sangre» en la vida de las ciudades fue mucho más pronunciado en los Estados Unidos que en Europa. Las ciudades americanas, grandes o pequeñas, tenían líneas de tranvía en sus calles principales. Y, por lo menos en los estados del Norte, los tranvías



Figura 2.2. Tranvía de sangre en Gran Betaña (1908).

fueron un elemento significativo del crecimiento de las ciudades en la etapa posterior a la Guerra de Secesión. El desarrollo de estas líneas tranviarias estuvo menos regulado en América que en Europa. Y había también importantes diferencias en la explotación. Así, en Europa, los tranvías y ómnibus podían complementarse en la mayoría de las antiguas ciudades europeas donde existía una rígida jerarquía de calles (estrechas y tortuosas, procedentes de la época medieval, donde los ómnibus podían maniobrar, y amplios bulevares, de diseño decimonónico, donde los tranvías tenían ventaja). Sin embargo, en Estados Unidos, donde la trama de las calles era más regular, con calles rectas y ortogonales entre sí, se tendió más a remplazar los ómnibus por tranvías que a hacer los dos sistemas complementarios.



Figura 2.3. Una epizootia que afectó a los caballos de Nueva York hizo que se ensayase, con notable escándalo, la tracción humana en tranvías.

2.2. LOS INICIOS DE LA TRACCIÓN MECÁNICA

No es hasta después de la guerra de 1870 cuando el tranvía va a conocer un verdadero desarrollo. El ómnibus a caballo, traqueteando sobre defectuosas calzadas, no será suficiente para servir a las grandes aglomeraciones que comienzan a extenderse en todas direcciones. De hecho, la construcción de las redes de tranvía va a permitir la creación progresiva de la periferia de las ciudades.

A partir de 1874, el tranvía se va a generalizar en todas las grandes ciudades europeas. Estas redes de nueva creación son generalmente servidas mediante pequeños vehículos con plataformas extremas, rodando sobre una vía normal y tirados por dos caballos. En París, por ejemplo, predominan los vehículos unidireccionales construidos sobre el modelo de ómnibus, encontrándose el cochero en el nivel del imperial.

Sin embargo, la tracción animal se revela muy onerosa. Las grandes compañías deben mantener varios miles de caballos, lo que demanda asimismo el empleo de gran cantidad de personal. Esta situación justifica que ciertas empresas emprendieran rápidamente ensayos para incorporar diferentes soluciones de tracción mecánica a su explotación.

La búsqueda de un dispositivo mecánico que pudiera suprimir a los caballos se centró inicialmente en torno a la fuente de energía mejor conocida de la época, el vapor. Como muestra de estos primeros intentos, se hicieron ensayos de tracción a vapor en París, en 1875, con máquinas Harding, y tres años más tarde se probaron las pequeñas locomotoras sin hogar

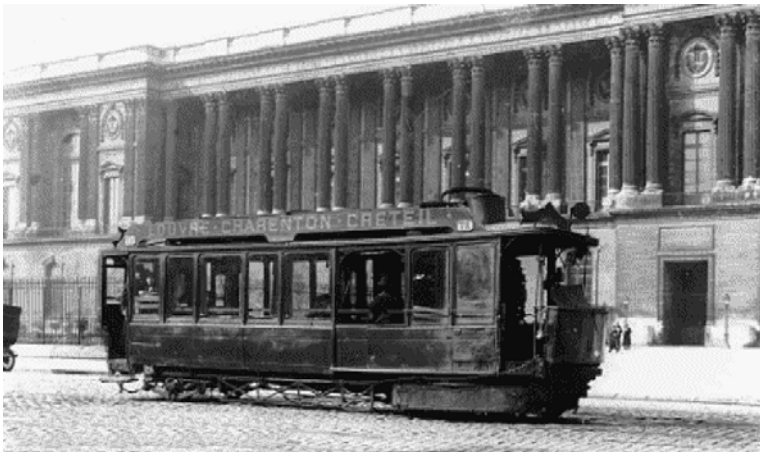


Figura 2.4. Tranvía de vapor sistema Rowan, en París, a principios del siglo XX.

sistema Francq, rodando por la línea de Rueil a Port-Marly. Ensayos similares se realizaron en otras empresas (figura 2.4). En cualquier caso, en esta época el vehículo motor es todavía independiente de los coches que transportan a los pasajeros, o dicho de otro modo, se utiliza una locomotora que tira de uno o dos remolques.

Estas primeras máquinas tienen un rendimiento mediocre debido al estado de la tecnología y a las restricciones que los poderes públicos establecen para poder utilizarlas: las locomotoras no deben expulsar ningún humo, sus mecanismos no deben ir descubiertos y, de modo general, éstos no se deben ver para no incomodar a los viajeros ni espantar a los caballos. Estas dificultades condujeron al retorno hacia la tracción animal como única solución eficaz. Así, en 1880, Lyon y Burdeos establecen dos vastas redes de tranvías a caballos, y Toulouse lo hará siete años más tarde.

La reducción del ancho de vía va a posibilitar una construcción más económica de nuevas líneas para el tranvía. En 1881, Saint-Etienne y Valencienes inician la explotación de las primeras líneas de ancho métrico tranviarias. La topografía de las redes con líneas suburbanas de fuerte tráfico impone el empleo de trenes de varios coches tirados por máquinas de vapor.

Si la tracción hipomóvil predomina sobre las líneas puramente urbanas, por el contrario la tracción a vapor va a conocer, con la vía métrica, una rápida expansión con los numerosos «ferrocarriles sobre carretera» que los gobiernos locales o regionales lanzan mediante campañas a partir de 1880. Estas líneas aseguran unos servicios suburbanos e incluso urbanos en su penetración a la ciudad. Se autorizó el uso de máquinas de vapor clásicas, quemando carbón, para este tipo de líneas, si bien siguió prohibido en el corazón de las grandes ciudades.

También se realizaron pruebas con tranvías impulsados mediante la energía almacenada en grandes resortes, que eran comprimidos mediante máquinas de vapor fijas (Londres, 1875; Filadelfia, 1876). Durante la década de 1890, se ensayaron tranvías que utilizaban motores de aceite y gas. Algunas de las realizaciones más avanzadas de estos vehículos, con un motor que quemaba gas ciudad del tipo Crossley-Holt se mantuvieron en algunas líneas inglesas hasta 1920.

Las investigaciones en busca de un mejor medio de tracción para los tranvías urbanos continuaron. La tracción por cable (*cable car*) fue el primer intento serio de conciliar la mecanización del transporte para conseguir mejores rendimientos económicos con el interés público (figura 2.5). Se basaba en el empleo de un sistema de cables, poleas y máquinas de vapor

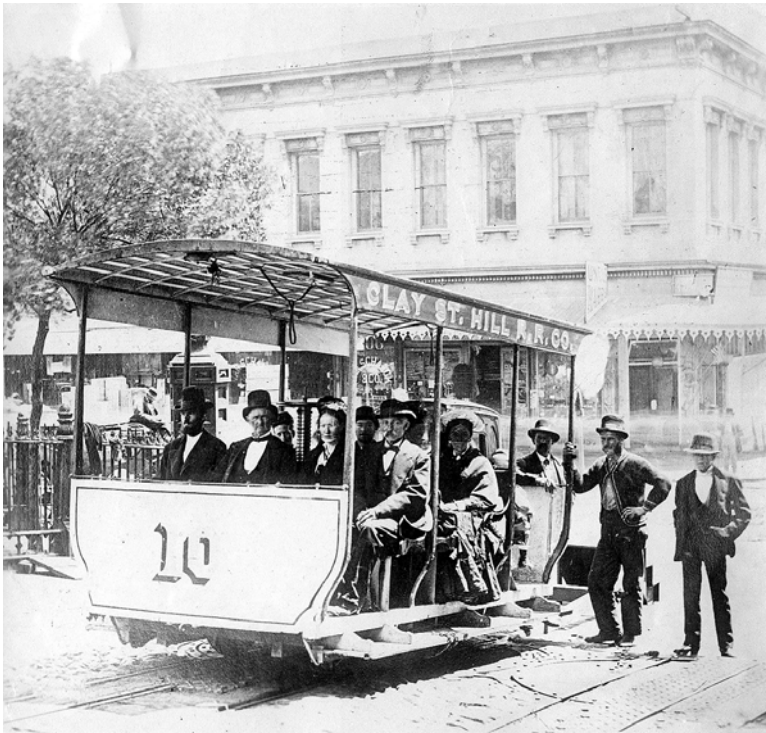


Figura 2.5. Inicio del sistema de *cable car* en San Francisco, hacia 1880.

estacionarias. Este tipo de sistemas había sido desarrollado durante el siglo XVIII para el remolque de vagonetas en rampas inclinadas en las minas británicas. La tracción por cable había sido usada en una línea del metro de Londres durante la década de 1840 y en el primer ferrocarril elevado de Nueva York, abierto en 1868. Pero en ambos casos los resultados del sistema de cables no fueron satisfactorios, siendo reemplazados por locomotoras de vapor. Los *cable-cars* se enganchan a voluntad por medio de una pinza o *grip* a un cable sin fin que corre bajo la calzada en un conducto central en la vía, guiado por poleas y rodamientos (figura 2.6). Para frenar, el conductor o *gripman* debe aflojar la pinza, desvinculando el vehículo del cable, y aplicar el freno a las ruedas.

El primer tranvía con tracción por cable se abrió en 1873 en San Francisco. Andrew Hallidie, un fabricante de cuerdas y cables para los campos de oro de California, fue el inventor e instigador del sistema, que será muy popular en Estados Unidos (en 1893 había unos 800 km de líneas con este sistema, estando la mayor red en Chicago, con 135 km de vía y 496 tranvías).

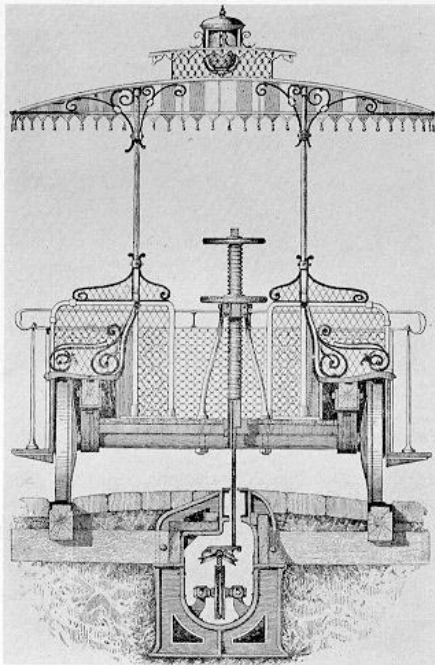


Figura 2.6. Esquema de funcionamiento del cable car.

Los sistemas de tranvías con tracción por cable también se aplicaron en Gran Bretaña, Francia, Portugal, Australia y Nueva Zelanda. El primer sistema europeo fue el de Highgate Hill en Londres, abierto en 1884. La mayor red del mundo fue la de Melbourne, en Australia, con 153 km de vía, construida entre 1884 y 1891.

Otro sistema que tuvo cierta notoriedad fue el de automotrices impulsadas mediante aire comprimido, siendo el sistema Mekarski el más popular. El principio era similar al de las locomotoras sin hogar, requiriendo la parada en ciertas estaciones para reabastecerse de aire comprimido. Los tranvías Mekarski estaban equipados con motores de pistón, que eran accionados a voluntad gracias al aire comprimido que se almacenaba a bordo del vehículo. Este aire comprimido



Figura 2.7. La calle California, de San Francisco, con los tranvías de tracción por cable, hacia 1900.



Figura 2.8. Cable car de San Francisco, en la actualidad.



Figura 2.9. Tranvías con tracción por aire comprimido, en la estación de tranvías de Passy (París), hacia 1900.

se reponía en centrales fijas. El tamaño del dispositivo motor era lo suficientemente reducido para permitir que se alojara en el vehículo hasta entonces reservado a los pasajeros. Había nacido la automotriz.

El primer tranvía Mekarski se ensayó en 1878 en Nantes, donde realizó servicios hasta 1913. Hasta 1910 hubo tranvías impulsados por aire comprimido en 6 líneas en París (figura 2.9). Sin embargo, el sistema era muy poco fiable (una de las líneas de París era conocida como "*Reste de Panne*", es decir, "permanece averiada"), y las estaciones generadoras del aire comprimido consumían desordenadamente grandes cantidades de combustible. Las pruebas que se realizaron en Inglaterra en 1880 pusieron de manifiesto que una locomotora impulsada mediante aire comprimido consumía 5 veces más carbón en la central de generación del aire comprimido que una locomotora equivalente de vapor.

2.3. LOS TRANVÍAS ELÉCTRICOS

La investigación acerca de la tracción eléctrica con vehículos ferroviarios comenzó durante la década de 1830, inmediatamente después de que Faraday inventara un rudimentario motor eléctrico (1831). Thomas Davenport, un herrero de Green Mountain (Massachusetts), exhibió un ferrocarril eléctrico en miniatura en 1837, y al año siguiente un ingeniero llamado Robert Davidson hizo correr una locomotora eléctrica con baterías, alcanzando la velocidad de 6 km/h. Varias experiencias de naturaleza similar se sucedieron durante las décadas de 1840 y 1850, aunque ninguna constituyó una alter-

nativa sería de tracción debido a la capacidad de almacenaje de las baterías, siendo además el coste de dicha energía 20 veces superior al obtenido mediante la tracción vapor.

El desarrollo de la dinamo y el motor eléctrico durante la década de 1870, gracias a las invenciones de Werner von Siemens, Z. T. Gramme, C. F. Brush, Pacinotti y otros, conformó la base de una nueva industria asociada a la generación y distribución de electricidad para alumbrado mediante arco eléctrico y, después de 1879, para alumbrado incandescente. Ya en 1855 varios inventores europeos habían concebido la idea de usar conductores para llevar la electricidad producida en una central a vehículos, prescindiendo del uso de baterías. El hecho de que ya existieran industrias dedicadas a la generación y distribución de electricidad favoreció la puesta en práctica de estas ideas.

En 1879, durante la Exposición Industrial de Berlín, la empresa de Siemens, Siemens & Halske, construyó una pequeña línea donde rodaba un convoy de tres coches descubiertos tirados por un tractor (figura 2.10) que tomaba la corriente eléctrica desde un conductor situado en medio de la vía. Esta demostración tuvo una gran resonancia y abrió un nuevo campo de experiencias para las administraciones de redes urbanas de tranvías.

En Mayo de 1881, Siemens & Halske pusieron en funcionamiento el primer tranvía eléctrico del mundo en Gross Lichterfelde, cerca de Berlín



Figura 2.10. Tren eléctrico *Siemens & Halske* circulando durante la Exposición de Berlín.

(figura 2.11). La línea, de 2,5 km de longitud, era recorrida por pequeñas motrices que se alimentaban de corriente a través de los propios carriles de rodadura, estando las ruedas aisladas con respecto a los ejes. La tensión es del orden de un centenar de voltios. Es de destacar que el tranvía eléctrico aparece 11 años después de la invención de la dinamo por Gramme, por lo que este tipo de vehículos suponía la aplicación de las tecnologías más avanzadas de la época. A finales de siglo, volverá el tranvía a ser objeto de innovación tecnológica, al ensayarse en él, por primera vez, la tracción mediante motor lineal experimental.



Figura 2.11. Tranvía de Lichterfelde.

También en 1881, Siemens & Halske instalan para la Exposición de la Electricidad de París una línea de 500 m de longitud entre la plaza de la Concordia y el Palacio de la Industria. La toma de corriente es aérea, estando constituida por dos tubos de latón abiertos en su parte inferior. A lo largo de estas aberturas se deslizan una especie de «lanzaderas», varillas sujetas al vehículo mediante unos cables conductores, que llevan la corriente al motor, desde donde volverá a la estación generadora a través de los carriles.

Siemens & Halske, que tuvo un papel protagonista en el desarrollo de los tranvías eléctricos, probó también la toma de corriente mediante carritos que rodaban sobre ruedas con garganta (similares a las utilizadas en poleas) sobre cables aéreos, en una línea experimental en Charlottenburg (1882). Tras esta experiencia, Siemens vuelve al sistema de lanzaderas en las líneas Mödling-Hinterbrühl, Viena (1883), Frankfurt-Offenbach (1884), Vevey-Montreux (1888), etc.

Como se puede ver, el problema de la alimentación eléctrica de los vehículos fue especialmente difícil de resolver, habiéndose ensayado los siguientes sistemas (alguno de los cuales ya se ha mencionado) en los albores de este tipo de tecnología:

- ❑ A través de los dos carriles de la vía, aislados entre ellos (Gross Lichterfelde, 1881).
- ❑ Por acumuladores (París, 1881).
- ❑ Mediante una línea aérea de cobre y lanzaderas (París, 1881).

- ❑ Mediante un tercer carril lateral (Portrush, 1883).
- ❑ Por toma de corriente desde una canaleta en el centro de la vía (Cleveland, 1884).

A pesar de que el tranvía eléctrico nace en Europa, Norteamérica va a tener un importante papel en el desarrollo de su tecnología. El mismo Thomas A. Edison construyó un tranvía eléctrico alimentado mediante tercer carril para su factoría de Menlo Park, en 1880. No obstante, el primer tranvía eléctrico público de los Estados Unidos será el de Cleveland, en 1884. Para esta primera línea, sus diseñadores, Bentley y Knight, usan un pequeño «arado» para captar la corriente desde dos cables de cobre, los cuales están situados en una canaleta bajo el firme, entre los carriles. Este sistema se mostró poco fiable, y no continuó en servicio en la línea a partir de 1885. Curiosamente, en la actualidad se ha vuelto a recuperar esta idea, mediante un conductor encastrado en el centro de la vía; sólo circula la corriente en el tramo de carril conductor que, en cada momento, está situado bajo el vehículo que avanza.

Mientras que Siemens con sus invenciones realizó el primer tranvía eléctrico en Alemania, otro genio de la tracción eléctrica en Estados Unidos eliminó los problemas que evitaban que el tranvía eléctrico fuera un vehículo útil y eficiente. Frank Sprague, primer oficial en la Armada americana, había trabajado con Edison en alguno de sus experimentos de ferrocarriles eléctricos. En 1884 funda la *Sprague Electric Railway and Motor Company*, quedando su nombre para siempre asociado al desarrollo de los sistemas ferroviarios urbanos. En Mayo de 1887 se le concedió el suministro del equipo

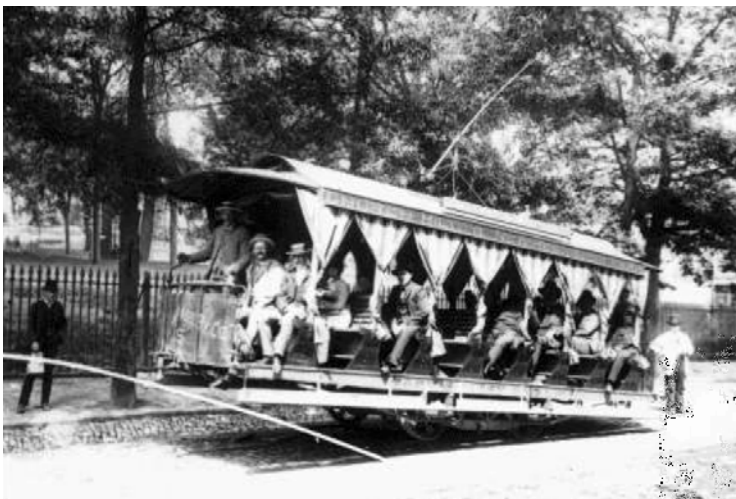


Figura 2.12. Uno de los tranvías de Richmond, en una prueba (1888).

eléctrico y vehículos para los 19 km de la línea de tranvías eléctricos a establecer en Richmond, en el estado de Virginia (figura 2.12). Esta línea era, en ese momento, la mayor del mundo y duplicaba la mayor existente en Estados Unidos. Las colinas empinadas (pendientes de 100 milésimas) y una vía tendida con poca precisión representaban todo un reto para el material que debía suministrar Sprague. Pero a través del proceso de «*experimentación paciente, trabajo duro y atención al detalle*», Sprague y sus colaboradores encontraron soluciones a la mayor parte de los problemas con los que se enfrentaron. Así, diseñaron y construyeron un sistema de generación y distribución de electricidad que permitía superar las condiciones de demanda punta de potencia. Perfeccionaron el sistema de captación de corriente mediante pértiga e hilo aéreo. Desarrollaron motores eléctricos para las duras condiciones de explotación, que eran capaces de resistir súbitas sobrecargas de intensidad de corriente. Para minimizar el desgaste del reductor de engranajes, los motores se colgaban entre el eje y el bogie (suspensión por la nariz). El control de la velocidad se realizaba mediante la conmutación en serie/paralelo y resistencias reforzadas. Todo este trabajo definió las líneas maestras de la industria tranviaria en Estados Unidos, y tuvo asimismo notable influencia en la industria eléctrica americana.

La red de Richmond se abrió en Febrero de 1888 e inmediatamente atrajo la atención de muchas compañías americanas de transporte urbano, ya que la explotación con tracción eléctrica resultaba mucho más barata que la basada en caballos. El dramático impacto de esta nueva tecnología puede constatarse si se tiene en cuenta que en 1880 Estados Unidos tenía unos 3 300 km de tranvías urbanos, todos ellos con tracción animal; en 1890, la longitud creció hasta 9 305 km, de los que aproximadamente 800 km estaban basados en la tracción por cable y 1 900 km con tracción eléctrica; en 1902, prácticamente la totalidad de los 26 782 km de líneas de tranvía estaban equipadas con tracción eléctrica, cifra que llegaría a 48 975 km en 1912.

En Europa, los gobiernos locales son en general hostiles a la instalación de líneas aéreas de contacto. Ciertas redes mantienen sistemas de toma de corriente mediante un conducto paralelo a la vía, ya sea en el centro (Blackpool, 1885) o lateral (Budapest, 1889). Pero los problemas que plantea este sistema, que lo hacen sumamente caro, dificultan su generalización.

Los últimos años del siglo van a ser testigos de cómo el tranvía eléctrico va a ir imponiéndose poco a poco en las diferentes redes de tranvías de sangre. En Francia, el primer tranvía eléctrico con toma de corriente aérea se instala en Clermont-Ferrand, en el año 1890. La toma de corriente se hace

mediante el sistema de lanzaderas de Siemens, pero reducido a un único tubo, consiguiéndose el circuito de retorno a través de los carriles. Dos años más tarde, Marsella adopta para la línea de Saint-Louis el tranvía con toma de corriente mediante percha sobre hilo aéreo. En el año 1893 el tranvía se instala en las pequeñas líneas suburbanas de Lyon - Sainte - Foy y Burdeos - Le Vigan.

Hasta el momento, la electrificación se aplicaba a líneas aisladas. Las grandes empresas de transporte, con una importante caballería, permanecían prudentes ante la posibilidad de transformación de sus redes. El caso de Lyon y de Burdeos son significativos en el sentido de que dos compañías establecen nuevas líneas suburbanas con tracción eléctrica, permaneciendo en la red urbana la tracción animal.

A partir de 1894, esta situación cambia. El tranvía eléctrico se presenta como el resultado inevitable de la evolución de los transportes urbanos. Redes enteras comenzarán un proceso de electrificación de un modo sistemático.

La superioridad del tranvía eléctrico es ahora manifiesta, tanto desde el punto de vista de la explotación como financieramente. Para llegar a este resultado, se admite con gusto la presencia del hilo aéreo, hasta entonces proscrito. Tener un tranvía eléctrico será para una ciudad un signo manifiesto de prosperidad. La firma Thomson-Houston, que electrificará la mayor parte de estas redes en Francia, se declarará incapaz de hacer frente a las demandas de las empresas de transporte.

Las motrices puestas en servicio en esta época son pequeños coches con plataformas extremas, de acceso lateral o en ángulo, que descansan sobre bogies Thomson, muy rudimentarios, de dos ejes. El popular bogie Brill (figura 2.13) será importado de América por Mónaco en 1898 y se generalizará sobre muchas redes europeas. Estos tranvías poseen uno o, más frecuentemente, dos motores de aproximadamente 18 ó 22 kW. En este último caso, la regulación se realiza mediante acoplamiento serie - paralelo. El único frenado con el que cuentan es el de mano.

2.4. EL TRANVÍA ENTRE LAS DOS GUERRAS

Desgraciadamente, la I Guerra Mundial afecta a la evolución del tranvía. Las redes padecen una conservación insuficiente, a pesar del uso intenso que de ellas se hace. Tras las hostilidades, las redes tienen un material envejecido y la crisis económica generalizada pone a las empresas de trans-

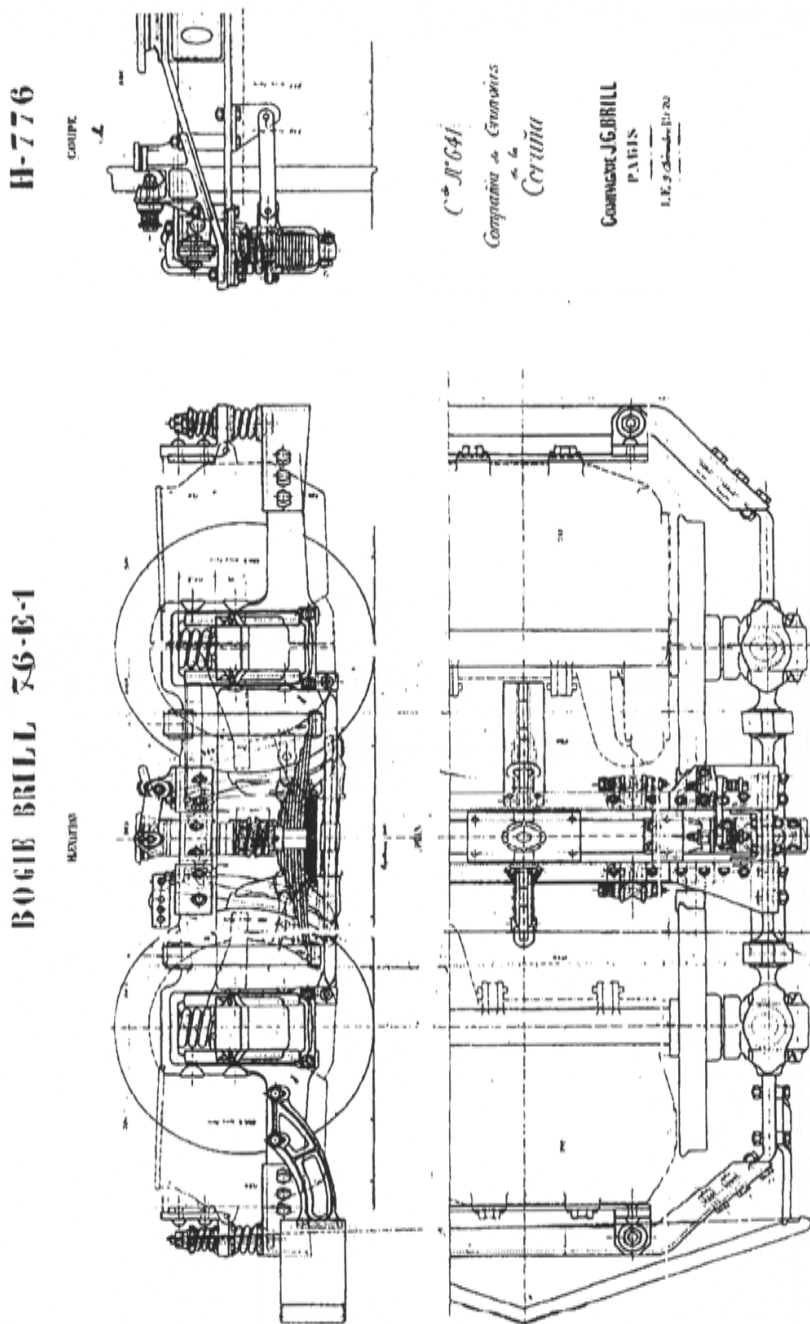


Figura 2.13. Bogie Brill, correspondiente a uno de los tranvías de A Coruña (1930).

portes en una situación financiera difícil. No era posible modernizar el material anticuado y las grandes ciudades deben mantener operativos unos servicios insuficientes mediante motrices técnicamente obsoletas rodando sobre vías generalmente al límite de su vía útil.

Es en este momento, durante los años veinte, en el que aparece un fenómeno social nuevo que va a degradar rápidamente la situación de los transportes públicos: la comercialización del automóvil.

Se van a producir así dos tipos de situaciones, representadas básicamente por Francia y Estados Unidos.

2.4.1. FRANCIA: HACIA LA SUPRESIÓN DEL TRANVÍA

El tranvía está mal preparado para afrontar la competencia del automóvil. La rápida evolución del transporte privado evidencia aún más las mediocres condiciones del tranvía. A todo ello es preciso añadir que el progresivo aumento de automóviles circulando deteriora las condiciones de circulación del tranvía, reduciendo su velocidad de explotación. A causa de su trazado, en muchas ocasiones muy deteriorado, se le hace responsable de los embotellamientos. Esta situación es bien comprobable en el corazón de París, donde el tranvía circula en 1930 sobre las mismas vías que en 1900, sin tener en cuenta las direcciones prohibidas o el sentido en las glorietas.

Violentas campañas de prensa demandan el cambio de los tranvías por autobuses, sistema que se considera más moderno y compatible con la circulación de automóviles. Las ventajas del tranvía son voluntariamente ignoradas y la noción de capacidad de transporte no preocupa. Es en estas condiciones en las que se decide la supresión de los tranvías en el centro de la ciudad, salvo en los barrios alejados y en la periferia. En éstos, se retocan las líneas perfectamente trazadas, disponiéndolas a igual cota que la carretera en buena parte de su recorrido, destruyendo una red que permitía acceder al centro de la ciudad creando otra que, no siendo nueva, ha tenido un coste muy alto. En efecto, con esta transformación, el transporte público pierde un corredor que le estaba reservado y que le permitía la libre circulación sobre las grandes radiales de la periferia.

En provincias, las ciudades se resisten a eliminar los tranvías, pero las compañías no son capaces de ir modernizando el material debido a los costes que ello supone. La mayor parte se limita a transformar indefinidamente su material ya anticuado.

2.4.2. ESTADOS UNIDOS: LA EVOLUCIÓN CONTINUÍA

El tranvía no cesa de evolucionar. Los directores de las grandes empresas norteamericanas de transporte urbano estudian en común el diseño de un tranvía de altas prestaciones y de gran confort que sea capaz de luchar contra la concurrencia del automóvil. De esta iniciativa surge el vehículo PCC (figura 2.14), que será puesto en servicio en 1936 en Brooklyn y que se extenderá por toda Norteamérica.



Figura 2.14. Tranvías tipo PCC (primer término) y Witt en Brooklyn.

2.5. LA SITUACIÓN DEL TRANVÍA TRAS LA II GUERRA MUNDIAL

La II Guerra Mundial dará un nuevo impulso al tranvía, que bruscamente se convirtió en el único modo de transporte en las ciudades, al ser abandonadas por el automóvil. No obstante, se trata de unas difíciles condiciones de explotación, debido a la penuria económica, y ello hace que la situación del tranvía se agrave. A la conclusión del conflicto, el tranvía pasa a ser un modo de transporte anticuado que no se puede integrar de nuevo en la circulación urbana que renace.

La mayor parte de los proyectos de modernización elaborados por las empresas chocan con los intereses de los poderes públicos, que tratan de favorecer la expansión de la industria del automóvil sin tener en cuenta las consecuencias que a largo plazo pueda tener esta política.

Las diferentes campañas de prensa en contra del tranvía son un hecho común en países como Inglaterra, Francia o España. En los años cincuenta, se potencia la idea del desplazamiento individual en vehículos automóviles, en contra indirectamente del transporte público colectivo. Hay un desinterés sistemático de la población y de las autoridades municipales por la renovación de las redes de transporte que, en todo caso, sólo parecen viables si se basan en el autobús.

En este ambiente hostil al tranvía, se busca atraer a los viajeros con la incorporación de nuevos vehículos. Los PCC americanos serán incorporados en algunas redes en Bélgica (figura 2.15), Holanda, Italia y España. Por el contrario, Suiza construye material estándar de concepción más simple, aunque de altas prestaciones (el famoso *brochet* que apareció en Zurich durante la II Guerra Mundial). Alemania produce vehículos motores y remolques (*Grossraumwagen*), y luego generaliza el empleo de material articulado con dos o tres cajas, que se adapta especialmente a las puntas de tráfico que sobrevienen en el transporte urbano.

Sin embargo, la modernización del material no constituye una medida eficaz para evitar el declive del tranvía, que debería consistir en actuaciones sobre la vía, o mejor dicho, sobre el uso de la plataforma. Ese es el principio del metro ligero.

2.6. NACIMIENTO DEL METRO LIGERO

El nacimiento del metro ligero, tal y como es conocido actualmente, tiene lugar en Alemania, hacia 1968. En esa época, las autoridades locales



Figura 2.15. Tranvía tipo PCC en el centro de Amberes.

de las grandes ciudades alemanas (Frankfurt am Main, Hannover, etc.), tenían muy claro que el sistema de tranvías había llegado al límite de sus posibilidades. Plantearse un sistema de transporte urbano de alta capacidad (un metro, por ejemplo), quedaba fuera de las posibilidades financieras de sus haciendas municipales. Además, este tipo de soluciones requieren una planificación y un tiempo razonable para ser llevadas a la práctica, de todo lo cual se carecía.

La idea que surgió en este contexto fue la de mejorar la red tranviaria existente, tratando de aumentar su capacidad de transporte. En dicha capacidad intervienen, entre otros, factores como el número de vehículos, capacidad de los mismos, velocidad de operación, número de paradas, tiempo de estancia en la parada, etc. A pesar de que la capacidad de transporte de los tranvías puede ser mayor que la de los autobuses, debido a la posibilidad de unir varias unidades en mando múltiple, sus velocidades comerciales son del mismo orden (8 - 10 km/h), debido a que comparten la plataforma, esto es, la calle. Por lo tanto, aumentar la capacidad del sistema pasaba por aumentar la velocidad comercial. Ello se consiguió organizando un sistema de pasos subterráneos que, combinados con la red tranviaria existente, permitían aumentar la velocidad comercial al disociar la circulación de los tranvías de la del resto de los tráficos, especialmente en los cruces. Tanto los tramos subterráneos como sus accesos tienen plataforma reservada, por lo



Figura 2.16. Vehículos serie 2 000/2 500 del Stadtbahn Hannover.

que estos vehículos pueden desarrollar velocidades más elevadas. Esta idea se conoció como pre-metro, entendiendo que esta situación podía suponer una etapa intermedia en la evolución de un sistema de tranvías hacia el metro (véase capítulo I). No obstante, en la actualidad estos sistemas se conocen como metros ligeros.

Así, en el caso del metro ligero de Hannover (figura 2.16), se conforma a partir de su sistema de tranvía, pero con importantes obras de infraestructura para la segregación en túnel en el centro de la ciudad. Tiene un 20 % de su trazado en plataforma totalmente reservada; un 50 % en plataforma parcialmente reservada (existen cruces a nivel con otros tráficos en zonas muy concretas) y el 30% restante en plataforma compartida con el resto del tráfico.

REFERENCIAS

- [1] BARRY, M., *Through the cities. The revolution in Light Rail*, Frankfort Press, 1991.
- [2] HONDIUS, H. "What is Light Rail? Its origins, Today's state of the art and its importance throughout the world". *Railway Technical Review*. Darmstad, nº 1 - 1998
- [3] ROBERT, J. "L'evolution du tramway". *Transports Urbains*. París, nº 31 - 1975
- [4] VAUDOIS, J. C. "Le renouveau du tramway aux U.S.A.: le LRV". *Transports Urbains*. París, nº 31 - 1975
- [5] VUCHIC, V. R., *Urban public transportation. Systems and technology*, Prentice Hall, New Jersey 1981.
- [6] ZALKIND, S. "Le tramway en Allemagne, en Autriche et en Suisse". *Transports Urbains*. París, nº 31 - 1975

Capítulo III

SISTEMAS DE TRANVITRÉN Y TREN-TRANVÍA



Capítulo III

SISTEMAS DE TRANVITRÉN Y TREN-TRANVÍA

3.1. INTRODUCCIÓN

En los capítulos anteriores se ha hablado de los sistemas ferroviarios ligeros, de tecnologías más o menos antiguas y ya conocidas, que están proliferando en diversas ciudades españolas. Sin embargo, durante los últimos años ha tenido lugar, en Europa, la aparición de unos nuevos sistemas, con tecnologías innovadoras, que están orientados a la prestación de un servicio que se puede calificar como «mixto» entre los ofrecidos por los sistemas tradicionales de ferrocarril de cercanías, y los sistemas de tranvía o metro ligero.

Estos sistemas son, principalmente, el tranvitrén y el tren-tranvía, que surgieron, ambos, en ciudades alemanas, como soluciones innovadoras para prestar un servicio de transporte público ferroviario, a caballo entre el ámbito urbano y metropolitano.

En el presente capítulo se tratarán ambos tipos de sistemas, cuya peculiaridad principal radica en el aprovechamiento, por parte del mismo vehículo, de infraestructuras ferroviarias y tranviarias convencionales, parte de las cuales serán ya existentes, con el consiguiente ahorro para la implan-

tación del sistema. Estos sistemas plantean el reto tecnológico de la integración, sobre la misma vía, de vehículos ferroviarios y tranviarios, con características muy distintas, que tradicionalmente siempre habían estado separados en vías absolutamente independientes.

3.2. ¿QUÉ ES EL TRANVITRÉN?

Los sistemas de tranvitrén son sistemas de metro ligero cuya circulación por la ciudad se realiza de manera habitual, por vías de tipo tranviario, pero en un momento dado entran a circular por vías ferroviarias existentes en la región, prolongando así sus servicios hacia la periferia sin necesidad de crear nuevas infraestructuras específicas para metro ligero.

De esta forma se consiguen servicios directos de tipo metro ligero desde las zonas periféricas hacia el centro urbano y viceversa, sin necesidad de realizar transbordos, de tal manera que aumenta sustancialmente el atractivo de este sistema para los usuarios del vehículo privado. Este hecho se debe a los siguientes motivos:

- ❑ Por una parte, dado que los sistemas de tipo tranvitrén evitan los transbordos, se elimina la valoración negativa que éstos conllevan por parte de los usuarios (debido a la incertidumbre y la espera que implican).
- ❑ Por otra parte, debido a que el servicio se realiza de forma directa, se disminuye el tiempo de recorrido puerta a puerta, que se hace comparable al del vehículo privado.

Esta disminución del tiempo de recorrido puerta a puerta se debe, por una parte, a que se evitan las esperas en los transbordos y, por otra, a que se disminuyen las distancias entre paradas en las zonas ferroviarias, creando nuevas paradas para el servicio de tranvitrén.

Podría pensarse que el hecho de aumentar el número de paradas en las zonas ferroviarias debe dar lugar a un aumento en el tiempo de recorrido con respecto a la situación de partida, pero este no es el caso debido a que, gracias a la explotación de las líneas con vehículos de tipo tranvitrén, con tecnología básicamente de metro ligero, se obtienen unas prestaciones de aceleración y frenado mucho mejores que las correspondientes a los vehículos ferroviarios convencionales, por lo que se puede aumentar el número de paradas en zona ferroviaria sin aumentar, e incluso disminuyendo, el tiempo de recorrido en estos tramos.

Por tanto, aumentando el número de paradas en zona ferroviaria se consigue un aumento del área de captación y una disminución del tiempo de recorrido desde el origen/destino del viaje hasta la parada de transporte público. [1]

La prolongación de servicios de tranvitrén por las líneas ferroviarias no implica el cese de los servicios ferroviarios existentes en las mismas, por lo que se produce una situación en la que los vehículos ferroviarios convencionales comparten la vía con vehículos de metro ligero, cuyas características son totalmente diferentes.

3.3. ¿QUÉ ES EL TREN-TRANVÍA?

El tren-tranvía es un concepto similar, pero a la inversa del tranvitrén, en el que se produce la entrada de los vehículos de ferrocarril convencional a la ciudad, por medio de las vías de una red tranviaria o de metro ligero.

Este sistema goza también de las ventajas del tranvitrén, aunque plantea a la red ferroviaria el reto de adaptar los vehículos al entorno urbano. Los principales aspectos a considerar pueden ser, por ejemplo:

- ❑ La necesidad de ocultar las zonas de bogies, para no presentar un aspecto tan agresivo hacia peatones y otros usuarios de las calles (ciclistas, motoristas, etc.) en el entorno urbano.
- ❑ La necesidad de darle una solución a los andenes altos, propios de los sistemas ferroviarios, dentro de la ciudad.
- ❑ El estudio del área de barrido de los vehículos ferroviarios, para garantizar que no se producen interferencias con los andenes y demás elementos de la red tranviaria.
- ❑ Dotación de los vehículos ferroviarios con las luces propias de los vehículos tranviarios (intermitentes, luces de freno, etc.).

3.4. EXPLOTACIONES DE TRANVITRÉN EXISTENTES EN LA ACTUALIDAD

3.4.1. EL INICIO EN KARLSRUHE

El primer paso hacia este nuevo concepto de transporte ferroviario se dio en Karlsruhe, Alemania, con la apertura, en 1992, de una línea de metro

ligero que circula por el centro urbano bajo el modo tranviario, pero que se introduce después en líneas ferroviarias convencionales de la DB (*Deutsche Bahn* – Ferrocarriles Alemanes) que son utilizadas también por trenes regionales de pasajeros. [2]

El factor determinante para entender la implantación del sistema de tranvitrén en Karlsruhe, y el gran éxito que tuvo, radica en el hecho de que la estación principal de Karlsruhe se encuentra situada en la periferia de la ciudad, a unos 2 km al sur del centro urbano. Esto hacía que los viajeros que usasen los servicios de transporte ferroviario para llegar al centro urbano debían hacer un transbordo en la estación de ferrocarril, con la incomodidad que esto supone, ya que tenían que hacer largos recorridos por la estación y subir escaleras para llegar a la parada del tranvía (situada a distinto nivel que los andenes ferroviarios), esperar más tiempo a la llegada del vehículo, y pagar un nuevo billete para el tranvía (debido a la falta de integración tarifaria entre los dos operadores). [3]

Todos estos inconvenientes se vieron eliminados con la implantación del tranvitrén, que ofrecía un servicio directo desde las zonas periféricas hasta el centro urbano. Por otra parte, con la aparición de este sistema, se pudieron establecer más paradas en los recorridos ferroviarios, sin que por ello aumentase el tiempo de recorrido. Este hecho dio lugar a un aumento de la permeabilidad del sistema, y, así, a un aumento del número de viajeros.

En efecto, la primera línea bimodal entre Karlsruhe y Bretten probó ser muy satisfactoria, produciéndose un aumento de pasajeros del 479%, destacando el hecho de que el 40% de los mismos eran antiguos usuarios de vehículo privado. También aumentó el número de pasajeros los fines de semana. Antes de la apertura del *Stadtbahn* (como se ha dado en llamar al tranvitrén de esta ciudad), el número total de usuarios era de 533 660 (488 400 por la semana, 39 000 los sábados y 6 200 los domingos), pero tras la misma se ha pasado a 2 554 976 (2 064 378 por la semana, 263 120 los sábados y 227 478 los domingos). [4]

Este éxito indiscutible dio lugar a un rápido crecimiento de la red, de tal manera que en la actualidad la red de transporte público de Karlsruhe tiene las siguientes características:

- ❑ 10 líneas de tranvitrén;
- ❑ 6 líneas de tranvía;

- ❑ 460 km de red ferroviaria tranviaria, de los cuales 60 km son de tranvía, 100 km de la AVG (Albtal-Verkehrs-Gesellschaft), 150 km de la DB, y 150 km de vías alquiladas;
- ❑ 250 unidades de tranvía, de los que 108 unidades son tipo tranvitren;
- ❑ 150 millones de pasajeros/año, de los cuales 55 millones son pasajeros de la red de tranvitren. [5]

En las figuras 3.1 y 3.2 se presenta el tranvitren de Karlsruhe circulando por zona urbana y detenido en una estación ferroviaria, respectivamente.



Figura 3.1: Tranvitren de Karlsruhe circulando por zona urbana

3.4.2. EL SISTEMA DE SAARBRÜCKEN

Tras el gran éxito de Karlsruhe, no tardó en plantearse este tipo de sistemas en otras ciudades, y la siguiente en implantarlo fue la ciudad alemana de Saarbrücken, cuyas particularidades principales con respecto a su predecesora fueron:

- ❑ Por una parte, el hecho de que Saarbrücken no tenía una red tranviaria en funcionamiento, ya que la que había existido antaño, había sido desmantelada en el año 1965.



Figura 3.2: Tranvitrén de Karlsruhe en estación ferroviaria

- ❑ Por otra parte, como innovación tecnológica se planteaba el establecimiento de un tranvitrén de piso bajo, al contrario de lo que se había hecho en Karlsruhe, en donde se mantuvo la altura de piso de los vehículos tranviarios existentes.

La red de Saarbrücken se planteó en varias fases y aún no ha sido terminada, si bien los tramos ya en funcionamiento han demostrado tener un gran éxito.



Figura 3.3: Tranvitrén de Saarbrücken circulando por zona urbana. Fuente: [6]



Figura 3.4: Tranvitrén de Saarbrücken circulando por zona ferroviaria. Fuente: [7]

En las figuras 3.3 y 3.4 se presenta el tranvitrén de Saarbrücken circulando por zona urbana y por zona ferroviaria.

3.4.3. OTRAS CIUDADES ALEMANAS

Además de Saarbrücken, en Alemania se encuentra también en desarrollo la red de Kassel, que es muy ambiciosa, ya que bajo el nombre de *Regiotram* plantea el establecimiento de ocho líneas de tranvitrén, además de la implantación de una línea tranviaria adicional por el centro de la ciudad.

Otra ciudad alemana que se plantea la implantación de un sistema de tranvitrén es Braunschweig, en la que han denominado al sistema como *RegioStadtBahn* (cuya traducción sería metro ligero regional), si bien esta red todavía no ha empezado a construirse, aunque está en un avanzado estado de planificación. [8, 9]

Finalmente, en la ciudad de Heilbronn se ha establecido ya una línea de tranvitrén, que se ampliará en el horizonte del 2004. Se plantea una red más amplia para el horizonte del 2010. [10]

3.4.4. EL TRANVITRÉN EN FRANCIA

En el caso francés, los sistemas de tranvitrén se han desarrollado de forma bastante lenta a partir de la apertura de la explotación alemana de Saarbrücken, que circulaba en un tramo de 1 km sobre líneas de la SNCF (*Société National des Chemins de Fer*, Empresa Nacional de los Ferrocarriles Franceses).

Sin embargo, esta lentitud, que al principio se debía a las reticencias de la SNCF para la implantación de este tipo de sistemas en sus líneas, se ha transformado en un gran interés hacia ellos, de tal manera que se están estudiando de forma conjunta para todo el país. Este hecho ha dado lugar al establecimiento de un pliego de condiciones para los vehículos, común para todas las explotaciones de tranvitrén, de forma que se pueden aprovechar las economías de escala de una oferta conjunta.

En Francia existen, según la ponencia de Jean-Claude Degand, Director de proyectos periurbanos de la SNCF, presentada en el congreso Tram-Train 2002, en Karlsruhe [11], una explotación de tranvitrén en funcionamiento en Genève, y estudios en fases bastante avanzadas en Ile de France, Grenoble, Mulhouse y Strasbourg. Éstas últimas tendrían como horizonte para su puesta en funcionamiento el entorno del año 2010.

3.4.5. EL TRANVITRÉN EN EL REINO UNIDO

En el caso del Reino Unido la única realización existente es el metro de Sunderland, inaugurado en mayo de 2002. Técnicamente se trata de un sistema de metro, pero más ligero que el convencional (los vehículos no están preparados para circular por la calle, aunque tienen algunas características de metro ligero). [12, 13]

El metro de Sunderland se une con el sistema existente en Pelaw, y circula sobre la infraestructura de la Railtrack hasta Sunderland, continuando después hasta la estación terminal de South Hylton en una línea propia de nueva construcción. La longitud total de este nuevo tramo es de 18,5 km, mientras que la línea existente tenía una longitud de 59 km. [12, 13]

Otras ciudades inglesas que se plantean el aprovechamiento de las líneas ferroviarias existentes mediante explotaciones de tipo tranvitrén son Nottingham, Manchester o Bristol, pero todas ellas se encuentran aún en fase de estudio previo. [13]

3.4.6. OTROS PROYECTOS

En las líneas anteriores se han comentado los proyectos más destacados o más avanzados de los existentes. Sin embargo existen muchas más ciudades que se han planteado, en mayor o menor detalle, el establecimiento de este tipo de sistemas.

SISTEMAS DE TRANVITRÉN EN EXPLOTACIÓN, EN CONSTRUCCIÓN, O EN AVANZADO ESTADO DE PLANIFICACIÓN												
Ciudad	Población	Ancho vía FFCC (mm)	Ancho vía TT (mm)	Ancho vía TT (mm)	Tracción FFCC	Tracción ML	Tracción TT	Líneas férreas a utilizar	Tipo de tráfico ferroviario	Operador FFCC	Operador ML/Tranvía	Operador TT
Karlsruhe	500000	1435	1435	1435	15 KV 16 2/3 Hz	750 V DC	750 V/15 KV 16 2/3 Hz	Karlsruhe-Bretten Karlsruhe-Würth Karlsruhe-Pforzheim-Rielgheim-Bissingen Karlsruhe-Rastatt-Baden-Baden Breiten-Epplingen-Heilbronn Bruchsal-Menzingen/Odenheim	Pasajeros y mercancías	DB-Regio	AVG, VBK	KVV
Saarbrücken	500000	1435	no	1435	15 KV 16 2/3 Hz	750 V DC	750 V/16 KV 16 2/3 Hz	Brebach-Sarrequeimmes Olt Kelleralbahn	-	DB-Regio, SNCF	-	Stadtbahn Saar GmbH
Kassel	200000	1435	1435	1435	-	600 V DC	-	Kassel-Baumatal Kassel-Heifa	Mercancías	RBK	KVG	-
Braunschweig	260000	1435	1100	1435	15 KV 16 2/3 Hz	-	-	Goslar/Bad Harzburg, Braunschweig Salzgitter-Leanstedt, Braunschweig Helmstedt, Wolfenbüttel, Braunschweig Uelzen, Wieren, Gifhorn, Braunschweig Wipshausen, Braunschweig	-	DB-Regio	Braunschweig er Verkehr, AG	-
Heilbronn	320000	1435	1435	1435	15 KV 16 2/3 Hz	no existía	750 V/15 KV 16 2/3 Hz	Eppingen - Öhringen Zäherfeld - Neckardt/Mosbach	-	DB-Regio	-	-
Aulnay - Bondy	-	1435	1435	1435	25 KV 50 Hz	no existía	750 V/25 KV	Aulnay-sous-Bois - Noisy-le-Sec	-	SNCF	-	-
Strasbourg	430000	1435	1435	-	25 KV y no electrificadas	-	750 V/25 KV (1)	Esplanade-Molsheim-Obermah-Barr Molsheim-Cresswiller	Pasajeros y mercancías	SNCF	CTS	SIBS
Geneva	400000	1435	1000	1435 (2)	25 KV SNCF, 15 KV CFF	-	750 V/25 KV/15 KV	Coppel-Cornavin-Airport (CFF) Evrial- Thonon-Annemasse-Eaux Vives (SNCF)	-	SNCF y CFF	TPG	SNCF y OFF
Sunderland	200000	1432	1435	1432 y 1435	no electrificadas	1500 V DC	1500 V	Pelawa-Sunderland	Pasajeros y mercancías	Northern Spirit	Nexus	Nexus

(1) Tercer carril, que se extiende hasta Keil

(2) Tercer carril en zona urbana o dispositivo de cambio de ancho

Tabla 3.1: Sistemas de tranvitrén existentes, en construcción o en avanzado estado de planificación.

Ciudad	Población	Ancho vía FFCC (mm)	Ancho vía ML (mm)	Ancho vía TT (mm)	Tracción FFCC	Tracción ML	Tracción TT	Líneas férreas a utilizar	Tipo de tráfico ferroviario	Operador FFCC	Operador ML/Tranvía	Operador TT
SISTEMAS DE TRANVITRÉN EN ESTADO DE PLANIFICACIÓN PREVIA												
Nantes	547000	1435	1435	1435	Ninguna (1)	750 V DC	750 V/25 kV	Halluichère - Surés sur Erdre	Mercancías	SNCF	SEMIFAN	-
Grenoble	375000	1435	1435	1435	25 kV	no existía	750 V/25 kV	Voiron - Grenoble Val de Drôme Grenoble - Brignoud Croixes	-	SNCF	SMTC	-
Mulhouse	300000	1435	1435	1435	-	no existía	-	Wittelsheim - Mulhouse Kruhl - Mulhouse	-	SNCF	-	-
Kiel	240000	1435	1000 - eliminadas	1435	15 kV y no electrificadas	-	750 V/15 kV 50 Hz o 750 V/diesel	Kiel-Neumünster (NOB & DB) Kiel-Flön (DB) Kiel-Eckernförde (DB) Kiel-Rendsburg (NOB)	Pasajeros y mercancías	NOB y DB	sistema tranviario eliminado en 1985	-
Bremen	540000	1435	1435	1435	15 kV AC	-	750 V/15 kV 50 Hz	Bremen-Dahlemerhorst/Nordenham Bremen-Rotenburg/Wümmde	-	DR-Regio	-	-
Aarhus	282137	1435	no	-	no electrificadas	-	diesel- eléctrico	Odder Line Grenaa Line	-	HJL en Udder y Danish National Railway Arrencvæn	-	-
Göteborg	600000	-	1435	-	15 kV 16 2/3 Hz	750 V DC	-	Alingsås-Göteborg Fröde-Göteborg	-	SJ	GS	-
Tallinn	411594	1520	1067	1520	3300 V DC	600 V (750 V nueva línea)	750/3300 V	-	Pasajeros y mercancías	Elektraudtee AS Eeldraudtee AS	TTA	-
Aachen	500000	1435	nuevo planeado 1435 mm	-	3300 V DC	750 o 1500 V DC	-	Aachen-Heelen	-	-	-	-
Brussels	964000	-	-	-	3300 V DC	700 V DC	700/3300 V	-	-	-	-	-
Anvers	590000	1435	1000	1435 (2)	3300 V DC	700 V DC	-	-	-	SNCF/NMBS SNCF/NMBS	STIB/MIBB DE LLIN	-
Katowice	4000000	1435 y 1524	-	-	3000 V DC	-	-	-	-	-	-	-
Patra	200000	1000	no	1000	no electrificadas	-	diesel- eléctrico	Paathopyghose-Patras-Achala	-	OSE	-	-
Valenciennes	332000	-	no - estudio para construirlo	-	-	750 V DC	-	Mons-Quévrain-Valenciennes Mons-Borinage-St. Ghislain-Quévrain- Valenciennes	Pasajeros y mercancías	SNCF y SNCB	-	-
Liverpool	450000	1435	no - propuesto	1435	750 V DC y 25 kV AC	-	750 V	Mons-Cuesmes-Quévy-Aulhoye-Maubeuge	-	-	-	-

(1) Deberá electrificarse

(2) Tres o cuatro carriles en zona urbana

Tabla 3.2: Sistemas de tranvitrén en estado de planificación previa.

Como compendio, y sin ánimo de exhaustividad, se presenta, en la tabla 3.1, un resumen de las explotaciones ya en funcionamiento, o con un plazo de implantación relativamente próximo, mientras que en la tabla 3.2 aparecen recogidas ciudades en las que se ha realizado algún estudio previo, pero en las que todavía no hay una decisión definitiva de implantación de un sistema de este tipo.

3.5. EXPLOTACIONES DE TREN-TRANVÍA EXISTENTES EN LA ACTUALIDAD

Este sistema no se ha extendido tanto como el tranvitrén, pero como ejemplo se puede citar la explotación de la ciudad alemana de Zwickaw, que tiene una red tranviaria formada por tres líneas, con una longitud total de 14,8 km.

Desde finales de 1999 circulan por las líneas tranviarias de Zwickau trenes diesel, de ancho 1.435 mm, pertenecientes a la compañía ferroviaria regional Vogtland Bahn. Para ello ha sido necesario disponer, en las líneas implicadas, vías de tres carriles, ya que el tranvía es de ancho métrico.

Por estas líneas se produce, durante todo el día, una sucesión de tranvías y trenes que comparten las mismas vías, paradas y señalización.

Esto se ha podido conseguir debido a que las cajas ferroviarias son, en este caso, tan sólo 11 cm más anchas que las tranviarias, por lo que los trenes pueden penetrar en el centro urbano, utilizando dos paradas tranviarias, con una altura de andén de 20 cm, sin que se produzcan graves inconvenientes. [14]

En el centro urbano, los trenes de la Vogtland Bahn se comportan prácticamente como tranvías, y están equipados con luces de freno similares a las del tranvía, intermitentes, y demás dispositivos necesarios.

La conexión desde la estación central al centro urbano, de 3,3 km, se realiza utilizando 1,3 km de vías tranviarias, y 1,5 km de un ramal ferroviario industrial en desuso. [14]

Los vehículos utilizados son de tipo RegioSprinter de Siemens, 18 en total, con una capacidad de 164 pasajeros, 86 de ellos sentados. La longitud del vehículo es de 25 metros, y pesa 32 toneladas. Se pueden acoplar dos unidades.



Figura 3.5: Tren-tranvía de Zwickaw detenido en una parada urbana. Fuente: [15]



Figura 3.5: Tren-tranvía de Zwickaw circulando por zona ferroviaria. Fuente: [16]

En las figuras 3.5 y 3.6 se presenta el tren-tranvía de Ziwickaw detenido en una parada urbana y circulando por zona ferroviaria.

3.6. VENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE TRANVITRÉN Y DE TREN-TRANVÍA

La implantación de sistemas de tranvitrén o de tren-tranvía da lugar a diversas ventajas, tanto para los viajeros como para la sociedad en su conjunto. En este apartado se realiza un compendio de las mismas, estructurándolas en tres grupos, el primero de ellos concerniente a temas relativos a la inversión pública, el segundo a los usuarios y el tercero a la comunidad. A continuación se presenta cada uno de ellos. [1]

3.6.1. VENTAJAS RELATIVAS A LA INVERSIÓN PÚBLICA

- ❑ Se mejora el aprovechamiento de las infraestructuras ferroviarias convencionales existentes, reduciéndose las necesidades de inversión en nuevas infraestructuras.
- ❑ Se puede evitar la construcción de largas secciones de vía en la creación de nuevas líneas, con lo que se consiguen ahorros considerables, ya que se obtiene un sistema con un coste por kilómetro mucho menor que el del metro ligero de nueva implantación.
- ❑ Se obtienen ingresos adicionales en la explotación respecto a la situación de partida, en la que la explotación se realizaba por medio de vehículos ferroviarios convencionales en la zona regional, con transbordo a los sistemas de transporte urbano en la estación de trenes.

Estos ingresos adicionales se deben al aumento del número de viajeros, por lo que se necesitarán menos subvenciones para cubrir los presupuestos anuales de explotación.

Este aumento del número de viajeros está producido, por una parte, por el aumento de estaciones, por el mejor intercambio con el sistema urbano y por las conexiones más directas con las zonas residenciales y de empleo. Por otra parte, dicho aumento también se produce por la mayor calidad y mejor imagen del sistema de metro ligero, que produce una predisposición de los usuarios del vehículo privado a cambiar a este modo sin tener una sensación de "pérdida".

- ❑ En el caso del tranvitrén, menores costes de operación de los vehículos del tipo metro ligero en comparación con el material móvil ferroviario clásico. [1]

3.6.2. VENTAJAS PARA LOS USUARIOS

- ❑ Ahorro de tiempo para los usuarios del transporte público, ya que el tranvitrén alcanza velocidades comerciales por encima del doble de las de los servicios de autobús paralelos. En el caso del tranvitrén, el tiempo de puerta a puerta del desplazamiento se hace comparable al del vehículo privado, dado que se reducen los tiempos de circulación entre estaciones, debido a los valores de aceleración y frenado de los vehículos ferroviarios ligeros en comparación con los convencionales. También influyen los tiempos de parada más cortos en las estaciones, debido a la facilidad para la entrada y salida rápidas de los viajeros, gracias al número y disposición de las puertas laterales de acceso al vehículo. Por último, también se evitan las esperas de los intercambios modales.
- ❑ Acceso directo desde las zonas periféricas de la región hasta los principales centros de empleo y comerciales en la ciudad, y viceversa, sin necesidad de realizar intercambios modales en la estación principal del ferrocarril, como ocurre antes de la introducción de estos servicios.
- ❑ Alta fiabilidad en el cumplimiento de los horarios, al tratarse de un modo que no se ve afectado por las incidencias del tráfico rodado, por su gran porcentaje de plataforma reservada.
- ❑ Mayor confort, debido, en general, al mayor número y amplitud de los asientos en cada vehículo y a las características dinámicas mejoradas, que hacen que la rodadura sea más suave.
- ❑ Facilidad de utilización, ya que la implantación de este tipo de explotación suele ir acompañada de una mejora de los sistemas de información al usuario, con la colocación de dispositivos electrónicos de información en las paradas. En estos dispositivos, operados desde el centro de control, se especifica la hora de llegada del siguiente vehículo, así como las paradas a las que sirve y el tiempo de espera.
- ❑ Integración tarifaria, ya que es habitual que se cree una entidad que se encarga de la planificación y coordinación de los horarios y

tarifas del transporte público urbano y regional, para facilitar su uso por los clientes.

- ❑ En general, para el caso del tranvitrén, mayor cercanía de las estaciones, ya que, por lo general, se aumenta el número de paradas de la zona anteriormente explotada únicamente por el ferrocarril, lo que hace que este sistema sea más permeable, aumentando por tanto la accesibilidad territorial de la zona por la que circula.
- ❑ En general, mayores frecuencias del servicio de tranvitrén en comparación con el servicio anterior de ferrocarril clásico, lo que reduce los tiempos de espera en las paradas. [1]

3.6.2. VENTAJAS PARA LA COMUNIDAD

- ❑ Menor congestión en la red viaria local.
- ❑ Disminución de las necesidades de inversión en construcción y mantenimiento de carreteras.
- ❑ Menor impacto ambiental
- ❑ Ahorros en el coste de aparcamiento.
- ❑ Ahorros en los costes debidos a la accidentabilidad. [1]

REFERENCIAS

- [1] NOVALES, M., ORRO, A., BUGARÍN, M.R., Memoria del *Estudio sobre la compatibilidad de un sistema de metro ligero con la red de metropolitano y cercanías de Madrid*, Financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, TRA99-0291, A Coruña, Diciembre 2001.
- [2] GRIFFIN, T., Inter-operable urban rail transport, *Institution of Mechanical Engineers*, paper C514/035, 1996, pp. 109-118.
- [3] AXHAUSEN, K.W., BRANDL, P.G., Dynamics of LRT growth: Karlsruhe since 1975, *Transport Reviews*, 1999, vol. 19, nº 3, pp. 221-240.
- [4] *Karlsruhe: The Karlsruhe model of a dual-mode railway*, 1996, <<http://www.eaue.de/winuwd/85.htm>>, Página web de la European Academy of the Urban Environment.
- [5] GLASER, O., La filosofía del TramTrain. El modelo de Karlsruhe, *El tranvía de Alicante: un nuevo concepto de transporte metropolitano*, Alicante, 14 de abril de 2003.
- [6] Documentación facilitada por Bombardier Transportation.
- [7] HAYDOCK, D., Saarbrücken's Light Rail System Opens, *Light Rail Review*, Sheffield, Mayo 1998, nº 8, pp. 26-33.
- [8] WOLFF, N., HASSELMANN, D., Planning the regional metro ("RSB") for Greater Braunschweig, *Railway Technical Review*, RTR, 2001, nº 1, pp. 16-23.
- [9] KLEEMEYER, M., Tramtrains in Braunschweig - finanzielle und planerische Gesichtspunkte, *TramTrain 2002 Congress*, Karlsruhe, 16-18 octubre 2002.
- [10] BERK, A., Planning and implementation of tram-train in Heilbronn, *TramTrain 2002 Congress*, Karlsruhe, 16-18 octubre 2002.
- [11] DEGAND, J.-C., L'introduction du Tram-Train en France, *TramTrain 2002 Congress*, Karlsruhe, 16-18 octubre 2002.
- [12] GRIFFIN, T., Tram Train United Kingdom, *TramTrain 2002 Congress*, Karlsruhe, 16-18 octubre 2002.
- [19] SULLY, J., Royal opening for Sunderland Direct, *Modern Railways*, abril 2002, vol. 59, nº 643, pp. 31-35.
- [13] WANSBEEK, C.J., Zwickau: A happy blend of tram and train, *Tramways and Urban Transit*, febrero de 2000, nº 746, pp. 52-55.
- [14] Der Zwickauer, <<http://www.derzwickauer.de/regiosprinter.html>>, Página web sobre Zwickau.
- [15] <<http://mercurio.iet.unipi.it/pix/de/private/passenger/Vogtlandbahn/pix.htm>>, Página web de la European Railway Picture Gallery con fotos de trenes de la Vogtland Bahn.

1

Cuadernos del Grupo de
Ferrocarriles y Transportes
*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de
Caminos, Canales y Puertos*
UNIVERSIDADE DA CORUÑA