

Tranvitrén y tren-tranvía

Hacia una mejora del aprovechamiento de las infraestructuras ferroviarias

Septiembre 2009

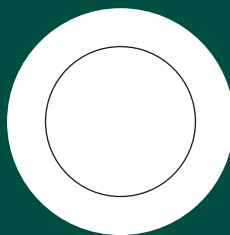


Tranvitrén y tren-tranvía

Hacia una mejora del aprovechamiento
de las infraestructuras ferroviarias

Septiembre 2009

6



Comisión de Transportes
COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

Fotos de portada, de izquierda a derecha y de arriba abajo:

- Vehículo diésel del tranvitrén de Kassel en Wolfhagen (Alemania). Autor: Axel Kühn
- Acceso de las vías del tranvitrén a la estación ferroviaria de Kassel (Alemania). Autor: Axel Kühn
- Tren-tranvía de Nueva Jersey (EEUU). Autor: Axel Kühn
- Vehículos del tren-tranvía de la Seetalbahn en la estación de Lenzburg (Suiza). Autor: Axel Kühn

Cuaderno nº 6 de la Comisión de Transportes

Tranvitrén y tren-tranvía
Hacia una mejora del aprovechamiento
de las infraestructuras ferroviarias

Septiembre 2009

Grupo de trabajo (por orden alfabético)

Joaquín Botella Malagón
José Dionisio González García
Jordi Juliá Sort
Andrés López Pita
David Moncholí i Badillo
Margarita Novales Ordax
José Ramón Pérez de Lama
José María Pérez Revenga
Miguel Rodríguez Bugarín
Emilio Sánchez Direitinho
Julián Sastre González
Clara Isabel Zamorano Martín

Coordinador: Miguel Rodríguez Bugarín

Redactora: Margarita Novales Ordax



Comisión de Transportes
COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

Homenaje a Lluís Moreno Barceló

Según acuerdo de la Comisión de Transportes, este Cuaderno se publica en homenaje a nuestro compañero recientemente fallecido, Lluís Moreno Barceló, impulsor de las publicaciones de la Comisión y, muy especialmente, de la Colección de Cuadernos, que se inició como idea y a propuesta suya, con espíritu didáctico y sobre temas de actualidad.

Lluís, siempre nos quedará tu buen recuerdo en nuestras reuniones.

COMISIÓN DE TRANSPORTES

Presidente

Vicente Cerdá García de Leonardo

Vicepresidente

Manuel Santos Sabrás

Secretario

Julián Sastre González

Enrique Belda Esplugues
Joan M. Bigas Serrallonga
Antonio Carbonell Romero
Miguel Ángel Dombriz Lozano
Jorge Fanlo Nicolás
Rafael Fernández de Alarcón Herrero
Ignacio García-Arango Cienfuegos-Jovellanos
Alfredo Irisarri Castro
Heriberto Linares Coronado
Andrés López Pita
José Luis Martínez Pombo
Jorge Mijangos Linaza
Antonio Moyano Romero
Luis M. de los Mozos Villar
Josep Oriol Carreras
José Ramón Pérez de Lama
José M. Pérez Revenga
Francesc Robusté Antón
Sandro Rocci Boccaleri
Miguel Domingo Rodríguez Bugarín
Emilio Sánchez Direitinho
Francisco Selma Mendoza
José Manuel Vasallo Magro
Torcuato Vega García
Clara Isabel Zamorano Martín
Aniceto Zaragoza Ramírez

© Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Almagro, 42, Madrid 28010

Reservados todos los derechos.

ISBN: 978-84-380-0419-7

Depósito Legal:

ÍNDICE

1. Introducción	7
2. Glosario	9
3. El tranvitrén	11
3.1. ¿Qué es el tranvitrén?	11
3.2. Orígenes de los sistemas de tranvitrén	12
3.3. El tranvitrén en España	13
4. El tren-tranvía	15
4.1. ¿Qué es el tren-tranvía?	15
4.2. Orígenes de los sistemas de tren-tranvía	16
5. Ventajas de los sistemas de tranvitrén y tren-tranvía	17
6. Aspectos técnicos a resolver para la implantación de sistemas de tranvitrén y tren-tranvía en España	19
6.1. Ancho de vía	20
6.2. Resistencia estructural de la caja	21
6.3. Tracción	22
6.4. Sistemas de seguridad y comunicaciones	24
6.5. Acceso de viajeros	25
6.6. Perfil de llanta	29
6.7. Gálibo	31
7. Oportunidad de utilización de los sistemas de tranvitrén y tren-tranvía en España	33
8. Explotación	37
9. Conclusiones	39
10. Bibliografía	40

CONTENIDO DEL CD-ROM

Cuaderno

Anejo 1. El tranvitrén

- A1.1. Motivación
- A1.2. Definición
- A1.3. Ventajas de los sistemas de tranvitrén
- A1.4. Experiencias
- A1.5. Aspectos técnicos
 - A1.5.1. Ancho de vía*
 - A1.5.2. Resistencia estructural de la caja*
 - A1.5.3. Tracción*
 - A1.5.4. Sistemas de seguridad y comunicaciones*
 - A1.5.5. Acceso de viajeros*
 - A1.5.6. Perfil de llanta*
 - A1.5.7. Gálibo*
- Referencias

Anejo 2. El tren-tranvía

- A2.1. Definición
- A2.2. Experiencias
- A2.3. Aspectos técnicos
- Referencias

1. Introducción

Este Cuaderno de la Comisión de Transportes del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos sobre sistemas de tranvitrén y tren-tranvía surge ligado al que con anterioridad se ha publicado sobre sistemas de transporte público en plataformas reservadas.

De hecho, a lo largo de este documento se van a presentar también sistemas de transporte metropolitano en plataforma reservada, pero con una novedad importante: la reserva de plataforma se consigue, en ciertas zonas, aprovechando las vías ferroviarias convencionales existentes en el entorno de las áreas metropolitanas.

A lo largo del Cuaderno se tratará de explicar qué son los sistemas de tranvitrén y tren-tranvía, ya bastante comunes en otros países europeos, pero aún relativamente desconocidos en España. Además, se tratará de establecer cuáles son sus principales ventajas, así como plantear, de forma sucinta, los retos tecnológicos y de explotación que implica su implantación en nuestro país.



Tren-tranvía de la Seetalbahn en la estación principal de Lucerna (Suiza). Autor: Axel Kühn.

El documento se ha planteado en dos partes claramente diferenciadas:

- La primera, el Cuaderno al que pertenecen estas líneas consiste en un breve documento explicativo sobre los sistemas que se han mencionado. El objetivo del mismo es definir claramente qué son y para qué sirven el tranvitrén y el tren-tranvía.
- La segunda, el CD-Rom adjunto al Cuaderno, en el que se realiza un análisis detallado tanto de los orígenes de este tipo de sistemas como de las soluciones que se pueden dar a los retos tecnológicos que plantea su implantación en España. Se ha considerado excesiva la edición de esta parte en papel, pero la información que contiene puede ser de gran valor para aquellos técnicos que necesiten un conocimiento más profundo de los sistemas de tranvitrén y tren-tranvía, por lo que se ha decidido ofrecer este análisis como documento adjunto en formato electrónico.

2. Glosario

Metro ligero

El metro ligero es un sistema de transporte metropolitano con las siguientes características:

- Tecnología ferroviaria: está guiado por medio de rueda de acero sobre carril de acero y tracción normalmente eléctrica.
- Discurre en superficie en la mayor parte de su trazado, aunque puede tener tramos soterrados o en estructura, sobre todo en la trama urbana.
- Plataforma reservada: la zona del espacio urbano que utiliza está separada del resto del tráfico por medio de bolardos, bordillos, setos u otros sistemas, pero se producen cruces con el resto de usuarios para dar permeabilidad a las calles que intersectan con su traza. Pueden existir tramos con plataforma compartida, siempre que sean cortos y no condicionen la explotación del sistema (en caso contrario se trataría de un sistema tranviario).
- Material móvil "ligero": el peso por eje es menor que el del metro convencional y las composiciones tienen la longitud limitada debido a la necesidad de integración en la calle. Ambos hechos dan lugar a una capacidad intermedia del sistema.



Tranvitrén de Kassel (Alemania) circulando por una zona peatonal. Autor: Axel Kühn.



Tranvitrén de Heilbronn (Alemania), en dirección a Karlsruhe. Autor: Axel Kühn.

Tranvitrén

El tranvitrén es un sistema de metro ligero que circula por la ciudad de la manera habitual (sobre las vías urbanas), pero que a partir de una sección determinada entra a circular sobre vías ferroviarias existentes en el entorno de la misma, prolongando así sus servicios hacia la periferia sin necesidad de crear nuevas infraestructuras específicas para metro ligero. Esta utilización se realiza sin necesidad de eliminar los servicios de ferrocarril convencional de las vías que se van a aprovechar.

Tren-tranvía

El tren-tranvía es un sistema en el que un vehículo ferroviario convencional, con un diseño relativamente pesado para un vehículo urbano (aunque ligero para un vehículo ferroviario convencional), penetra en la ciudad aprovechando vías urbanas existentes o de nueva creación, con operación de tipo metro ligero.

Nota: la diferencia entre tranvitrén y tren-tranvía, que es muy importante desde el punto de vista de la tecnología y de la explotación en zona urbana, resulta, sin embargo, irrelevante desde el punto de vista del operador ferroviario, ya que en cualquier caso el vehículo (de tranvitrén o de tren-tranvía) tendrá que conseguir la habilitación para circulación sobre las vías ferroviarias.

3. El tranvitrén

3.1. ¿Qué es el tranvitrén?

El tranvitrén es un sistema de metro ligero que circula por la ciudad de manera habitual (sobre las vías urbanas), pero que a partir de una sección determinada entra a circular sobre vías ferroviarias existentes en el entorno de la misma, prolongando así sus servicios hacia la periferia sin necesidad de crear nuevas infraestructuras específicas para metro ligero.

Esta utilización de la infraestructura ferroviaria se realiza sin necesidad de eliminar los servicios de ferrocarril convencional de las vías que se van a utilizar, de manera que los nuevos vehículos ligeros conviven con las circulaciones ferroviarias convencionales ya existentes en dichas vías, mejorando así el aprovechamiento de las mismas.

Con ello se consigue extender los servicios de metro ligero hacia zonas más alejadas del área metropolitana, sin necesidad de construir longitudes importantes de vía nueva para este sistema, con el gran ahorro de costes que ello implica. Además, estos servicios se realizan sobre una plataforma ferroviaria de gran calidad (totalmente independiente, sobre la que se pueden alcanzar velocidades importantes, de hasta 80-100 km/h), sin necesidad de ocupación de espacio adicional para infraestructuras en zonas en las que éste es escaso.

En la zona ferroviaria se podrá dar servicio, además, a mayor número de paradas que el ferrocarril convencional, debido a las mejores prestaciones de aceleración y frenado de los vehículos ligeros. Por otra parte, se podrán utilizar las estaciones ferroviarias, siempre que se realicen las adaptaciones oportunas, como pueden ser la disposición de andenes a doble altura en serie o en paralelo o la utilización de vehículos con escalones retráctiles (véase el apartado de acceso de viajeros en este documento y en el CD adjunto).

Los servicios del metro ligero serán así directos desde las zonas periféricas hacia el centro urbano y viceversa, sin necesidad de realizar transbordos (en contraste con una posible situación alternativa de ferrocarril de cercanías sobre las vías ferroviarias más el sistema de metro ligero en el centro urbano), aumentando así sustancialmente el atractivo para los usuarios del vehículo privado, ya que:

- Se elimina la contribución negativa del transbordo a la percepción de calidad del servicio de transporte público (debido a la incertidumbre y a la espera que implican). Hay que tener en cuenta que un minuto de tiempo de transbordo se suele percibir como el doble que si se estuviese viajando.

- Disminuye el tiempo de recorrido puerta a puerta, ya que se evitan las esperas en los transbordos y se crean nuevas paradas en las zonas ferroviarias, siendo menores las distancias a recorrer para llegar a ellas. De esta forma se consiguen tiempos de recorrido similares a los del vehículo privado.
- La creación de nuevas paradas en la zona ferroviaria no conlleva un aumento de tiempo de recorrido respecto a la situación de partida, ya que estas paradas son servidas por los vehículos ligeros, cuyas prestaciones de aceleración y frenado son mucho mejores que las de los vehículos ferroviarios convencionales. Este hecho se ilustra en la figura 1.

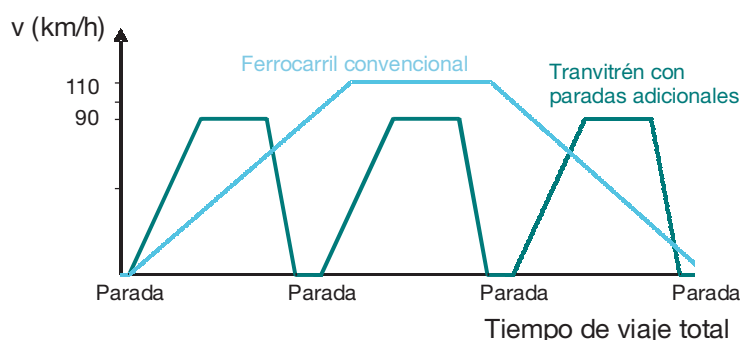


Figura 1. Disminución del tiempo de viaje aumentando el número de paradas.

3.2. Orígenes de los sistemas de tranvitrén

El primer sistema de tranvitrén se implantó en el año 1992 en la ciudad alemana de Karlsruhe, que tiene una población alrededor de los 550 000 habitantes (350 000 en el centro urbano y 275 000 en el resto del área metropolitana).

Antes de su implantación, la ciudad disponía de una red de metro ligero consolidada, así como de unos servicios ferroviarios regionales que comunicaban algunos de los núcleos del área metropolitana con la estación ferroviaria de Karlsruhe (situada a 2 km al sur del centro). Los usuarios de estos servicios regionales debían realizar un transbordo al metro ligero en la estación de ferrocarril para llegar a su destino final. Por ello, la demanda de estos servicios era bastante baja y se limitaba a los usuarios cautivos (es decir, aquellos que no tenían otra alternativa de transporte).

La apertura de la primera línea de tranvitrén supuso un éxito rotundo, con un aumento de pasajeros del 479%, lo que animó a la ciudad a ir ampliando el sistema. En la actualidad, la red de Karlsruhe está compuesta por diez líneas de tranvitrén, seis líneas de metro ligero, circulación sobre varios cientos de kilómetros de vías ferroviarias y 150 millones de pasajeros/año, de los cuales 55 millones se deben a la red de tranvitrén (Glaser, 2003).

El gran éxito de Karlsruhe ha incitado a otras áreas metropolitanas de tamaño intermedio a implantar o estudiar sistemas de este tipo. Entre las alemanas podemos destacar Saarbrücken, Heilbronn, Kassel y Nordhausen. En Francia, Mulhouse y Estrasburgo. Y en Reino Unido, Sunderland. Sin embargo, la lista es mucho más larga (véase Scanrail Consult, 2001).

Estos tres países han desarrollado ya unas recomendaciones para la implantación de sistemas de tranvitrén con circulación mixta sobre sus vías tranviarias y ferroviarias convencionales (véanse VDV, 1995; Safety and Standards Directorate, 1999; SNCF, 2001).

3.3. El tranvitrén en España

Tranvitrén de Alicante

El tranvitrén de Alicante (conocido como tren-tram) es el único sistema que está actualmente en explotación en España (abril de 2009), discutiendo sobre líneas urbanas de nueva creación y sobre las líneas ferroviarias convencionales de Ferrocarriles de la Generalitat Valenciana (FGV), desde Alicante hasta El Campello. El plano de la línea se puede ver en la figura 2.

Desde el día 31 de julio de 2007 se cubre el recorrido entre las estaciones de Mercado (Alicante) y Creueta (Villajoyosa), en la que se establece un transbordo con los trenes diésel de la línea 9.

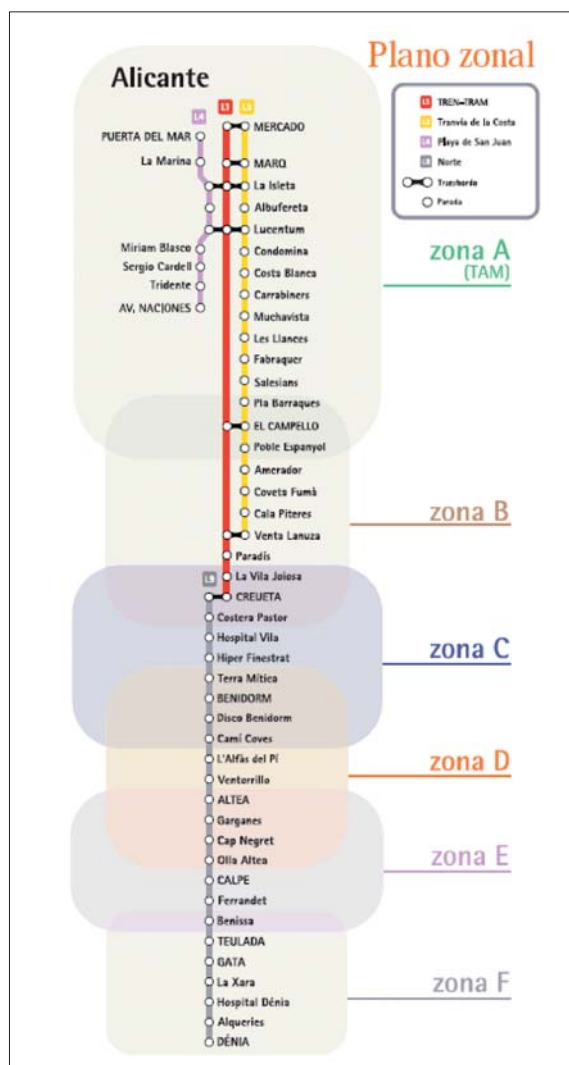


Figura 2. Líneas del tram de Alicante. Fuente: Ferrocarrils de la Generalitat de Valencia (FGV).

Tranvitrén de la Bahía de Cádiz

Conocido como tren-tranvía de la Bahía de Cádiz, y actualmente en construcción, realizará la conexión entre Chiclana y Cádiz pasando por San Fernando (véase la figura siguiente). Será el primer tranvitrén que se implante en España sobre vías de ADIF (en ancho 1 668 mm).

La fecha estimada de puesta en servicio es el año 2010.



Figura 3. Trazado del tranvitrén de la Bahía de Cádiz.

Otras actuaciones planteadas en España

Existen varias comunidades autónomas que se están planteando la implantación de servicios de tranvitrén. Entre ellas, se puede destacar, por ejemplo, el Principado de Asturias, que plantea el desarrollo de hasta tres líneas de tranvitrén en un futuro no lejano, utilizando vías urbanas de nueva creación y vías ferroviarias convencionales de Ferrocarriles de Vía Estrecha (FEVE).

Por su parte, la Generalitat de Cataluña anunciaba en el año 2007 sus planes de implantación de sistemas de tranvitrén en dicha comunidad. La línea que se pondría en marcha en primer lugar (a partir de 2011) conectaría Manresa con las localidades de Sallent y Súria. Se plantean también otras líneas como en el tramo entre Martorell e Igualada (Barcelona), en las líneas de Lleida a La Pobla y a Balaguer (Lleida) y en el tramo Reus-Salou-Cambrils (Tarragona).

4. El tren-tranvía

4.1. ¿Qué es el tren-tranvía?

El tren-tranvía es un sistema en el que un vehículo ferroviario convencional, con un diseño relativamente pesado para un vehículo urbano (aunque ligero para un vehículo ferroviario convencional), penetra en la ciudad aprovechando vías urbanas existentes o de nueva creación, con operación de tipo metro ligero.

Por tanto, se podría decir que es un sistema “inverso” al tranvitrén.

Los sistemas de tren-tranvía no suponen, en general, la utilización intensiva de una red de metro ligero existente, sino la creación de un nuevo tramo urbano o la utilización de pequeños tramos ya existentes especialmente diseñados o adaptados para ello (por ejemplo, en lo que se refiere al diseño de estaciones, alimentación eléctrica, etc.).



Tranvitrén de Karlsruhe (Alemania) en estación ferroviaria. Autor: Axel Kühn.

4.2. Orígenes de los sistemas de tren-tranvía

La primera población que implantó un sistema de tren-tranvía fue la ciudad alemana de Zwickau, de 125 000 habitantes, que ha mantenido hasta la actualidad su red de tranvías históricos.

Desde finales de 1999 circula un sistema de tren-tranvía, de manera que los usuarios del ferrocarril regional llegan directamente al centro urbano, en lugar de bajarse en la estación central, situada a 1 km al oeste del centro (Kühn, 2006).

La conexión desde la estación central de la ciudad al centro urbano tiene una longitud de 3,3 km, de los cuales 1,3 km corresponden a vías urbanas que ya existían en la ciudad y los restantes 2,0 km pertenecen a un ramal ferroviario que estaba en desuso (Wansbeek, 2000). Destaca la peculiaridad de que las vías urbanas son de ancho métrico (1 000 mm), mientras que las ferroviarias convencionales son de ancho internacional (1 435 mm), por lo que en el tramo compartido fue necesario disponer terceros carriles en las vías.

Tras la experiencia de Zwickau han surgido más sistemas de tren-tranvía en diferentes ciudades (véase el CD-Rom adjunto), como la Riverline de Nueva Jersey o la Seetalbahn de Suiza, pero su proliferación ha sido mucho más moderada que la de los sistemas de tranvitrén.



Tranvitrén de Saarbrücken (Alemania) en estación ferroviaria. Autor: Axel Kühn.

5. Ventajas de los sistemas de tranvitrén y tren-tranvía

Ventajas económicas

- Se mejora el aprovechamiento de las infraestructuras ferroviarias existentes, reduciéndose las necesidades de inversión en nuevos tramos de líneas férreas.
- Se puede evitar la construcción de largas secciones de vía en la creación de nuevas líneas, con lo que se consiguen ahorros considerables, obteniéndose un sistema con un coste por kilómetro menor que el del metro ligero de nueva implantación.
- Se obtienen ingresos adicionales en la explotación respecto a una hipotética situación de partida, en la que la explotación se realizase por medio de vehículos ferroviarios convencionales en la zona del área metropolitana, con transbordo a los sistemas de transporte urbano en la estación de tren. Estos ingresos adicionales se deben al aumento del número de viajeros.
- Menores costes de operación de los vehículos de tipo metro ligero/tranvitrén/tren-tranvía en comparación con el material móvil ferroviario clásico.

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. El tiempo de puerta a puerta del desplazamiento se hace comparable al del vehículo privado, porque:
 - 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.
 - Los tiempos de parada en estación son menores, 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.
 - 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.
- Alta fiabilidad en el cumplimiento de los horarios, al tratarse de un modo que no se ve afectado por las incidencias del tráfico rodado, debido a su gran porcentaje de plataforma reservada.
- Mayor confort, debido, en general, a un diseño del interior del vehículo mejor adaptado a la demanda a satisfacer 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.
- 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 o tren-tranvía en comparación con un hipotético servicio anterior de ferrocarril clásico, lo que reduce los tiempos de espera en las paradas.

Ventajas para la sociedad

- 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.



Tranvitrén de Saarbrücken en parada urbana. Autora: Margarita Novales

6. Aspectos técnicos a resolver para la implantación de sistemas de tranvitrén y tren-tranvía en España

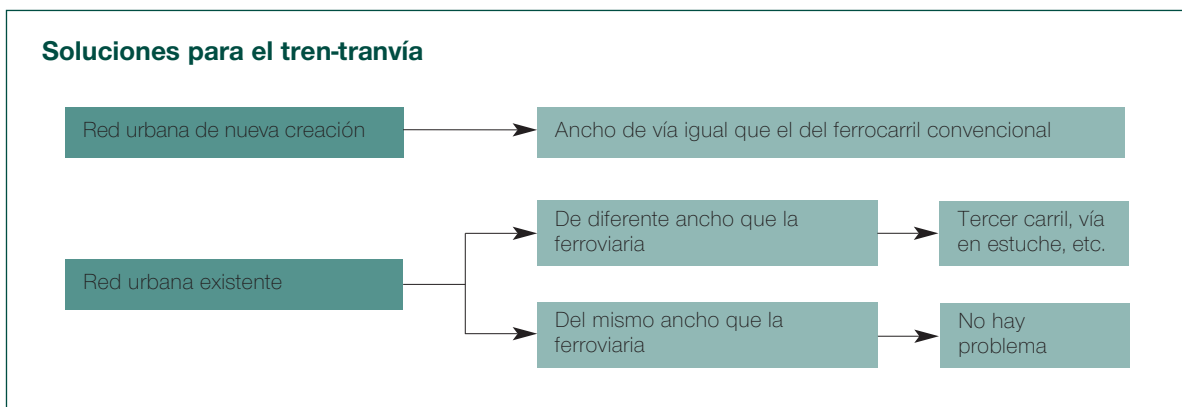
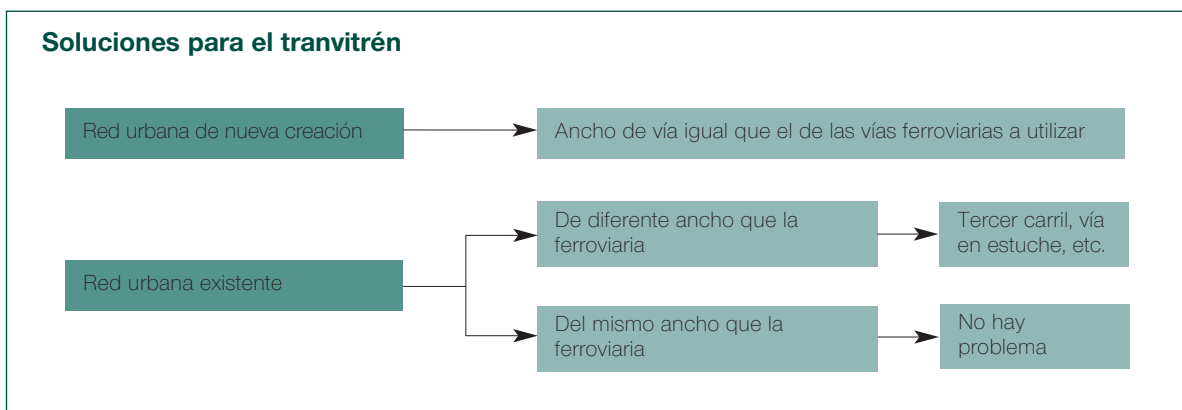
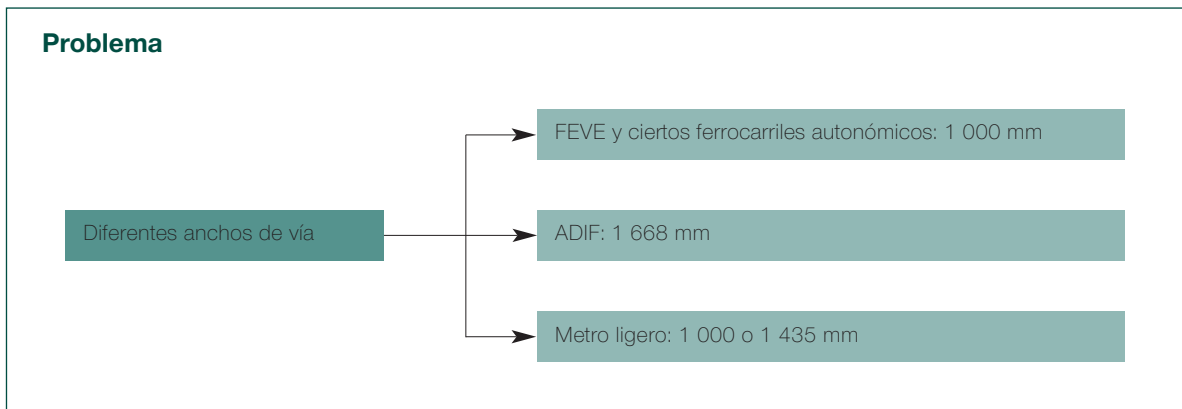
Con la implantación del tranvitrén y del tren-tranvía se producirá una situación en la que los vehículos ferroviarios convencionales comparten la vía con vehículos de tipo metro ligero (los tranvitrenes o los metros ligeros respectivamente), cuyas características son totalmente diferentes.

Para permitir que se produzca esta utilización mixta de las vías ferroviarias convencionales o de las vías urbanas es necesario resolver una serie de problemas técnicos, que se expondrán de forma esquemática a continuación, desarrollándose en profundidad en el CD-Rom adjunto.



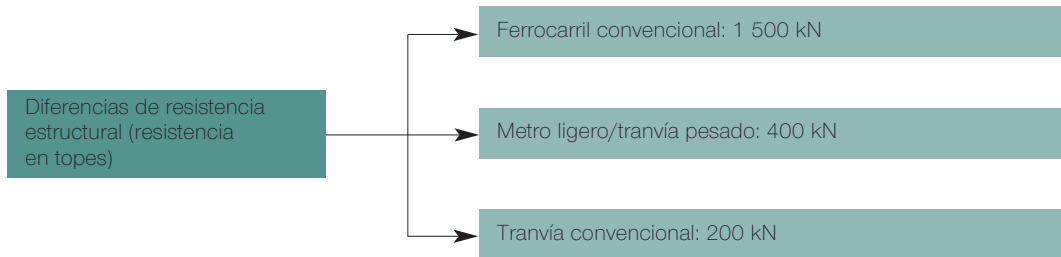
*Detalle de plataforma retráctil del tranvitrén de Saarbrücken para facilitar el acceso y salida del vehículo en las estaciones ferroviarias.
Autor: Axel Kühn.*

6.1. Ancho de vía



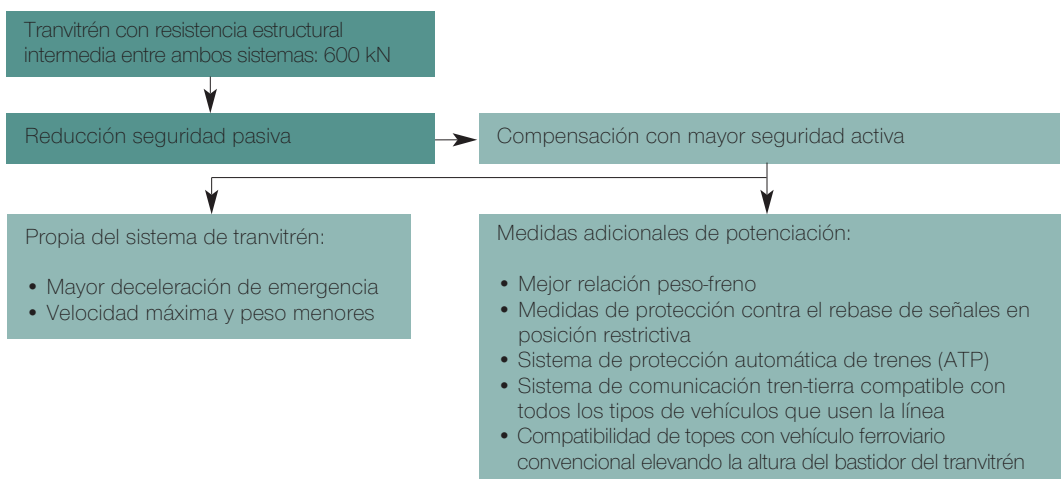
6.2. Resistencia estructural de la caja

Problema

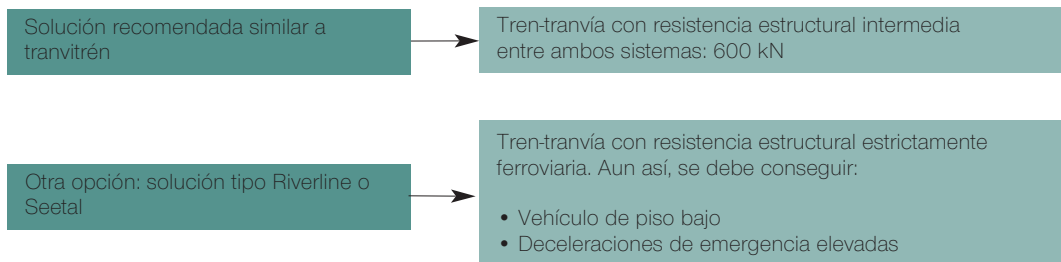


Tranvitrén no puede cumplir las exigencias del ferrocarril convencional, ya que dejaría de ser "ligero" → Aumento de costes de construcción y explotación más problemas de operación.
El tren-tranvía sí podría cumplir las exigencias.

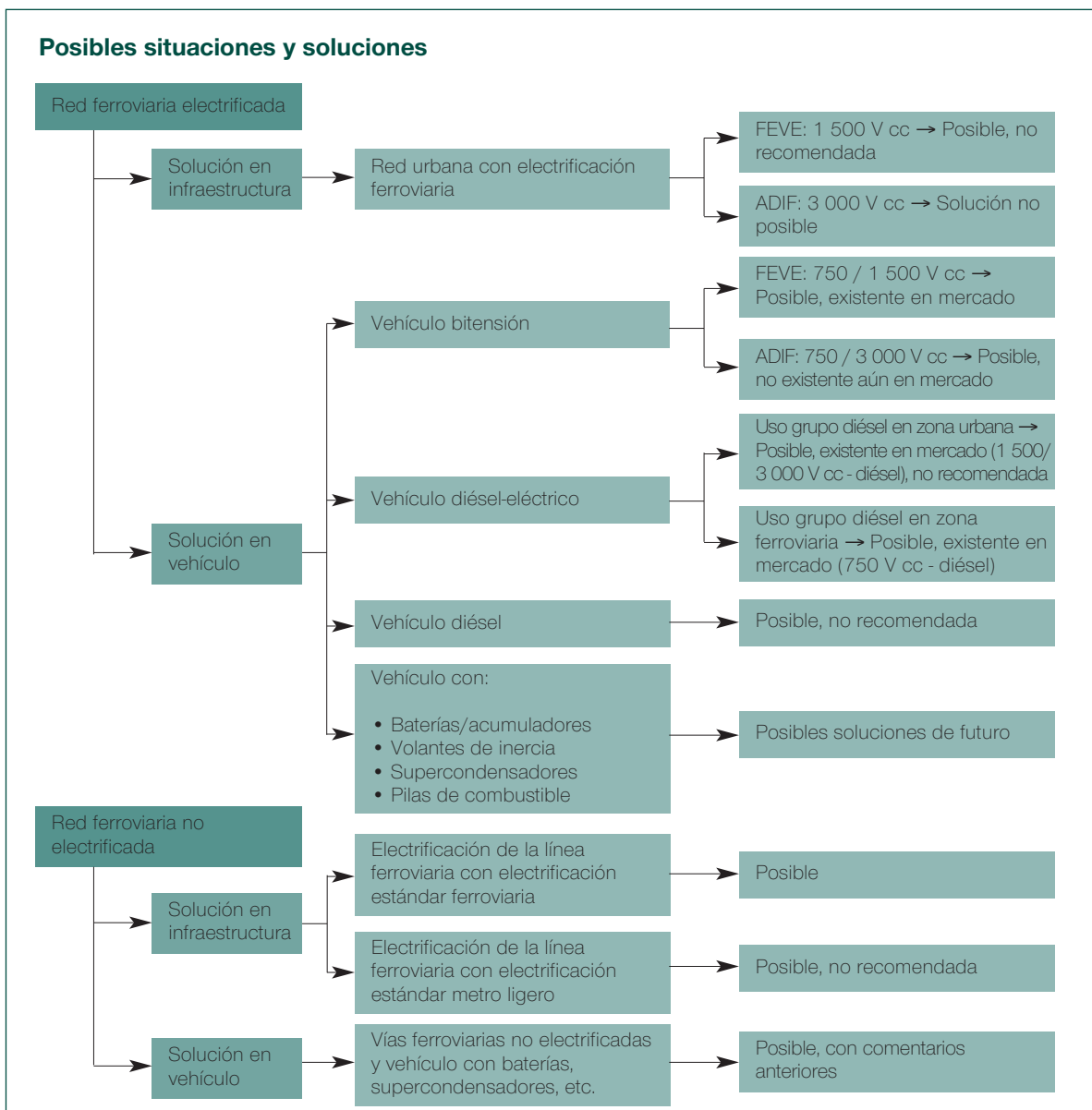
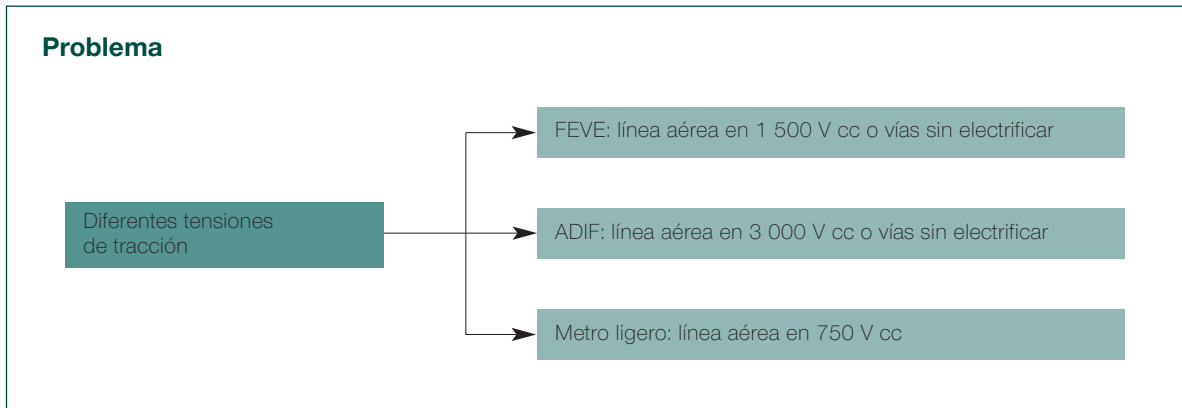
Recomendaciones para tranvitrén en el caso español



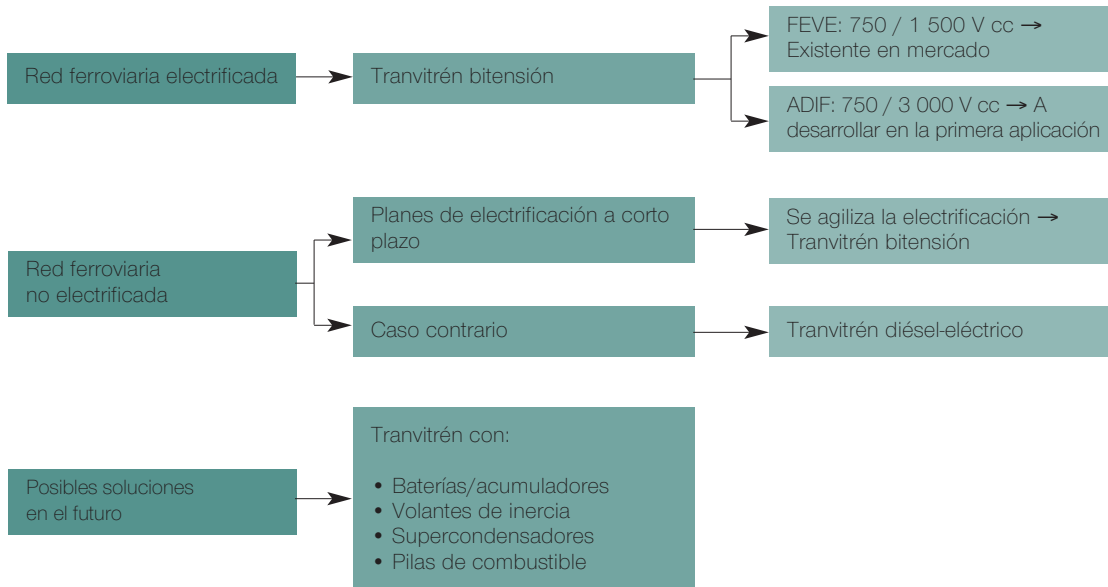
Recomendaciones para tren-tranvía en el caso español



6.3. Tracción



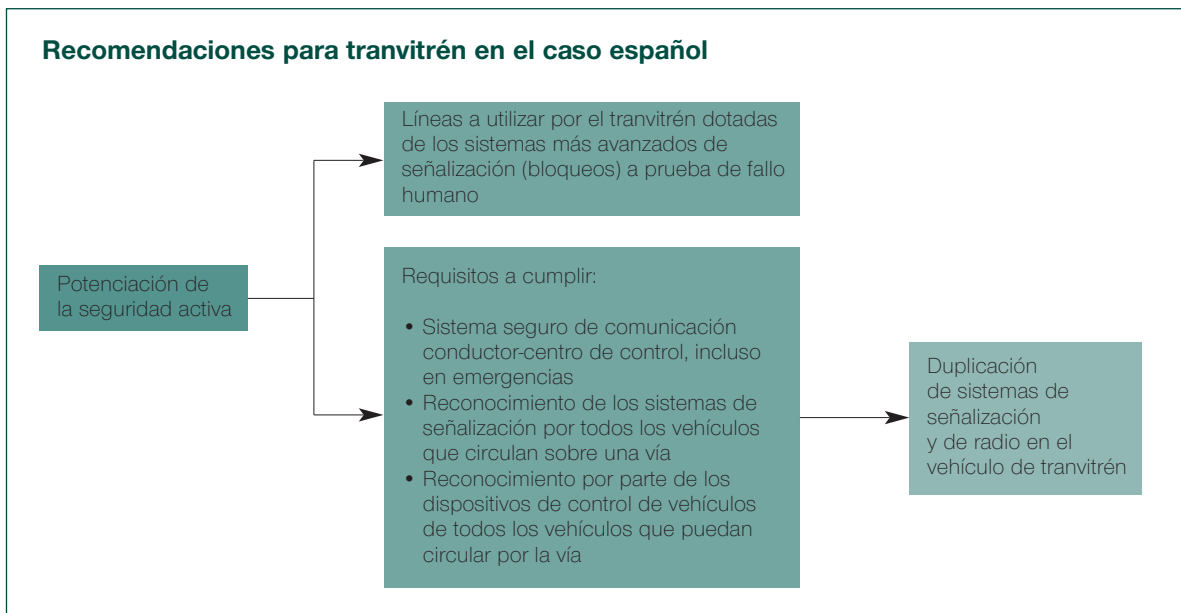
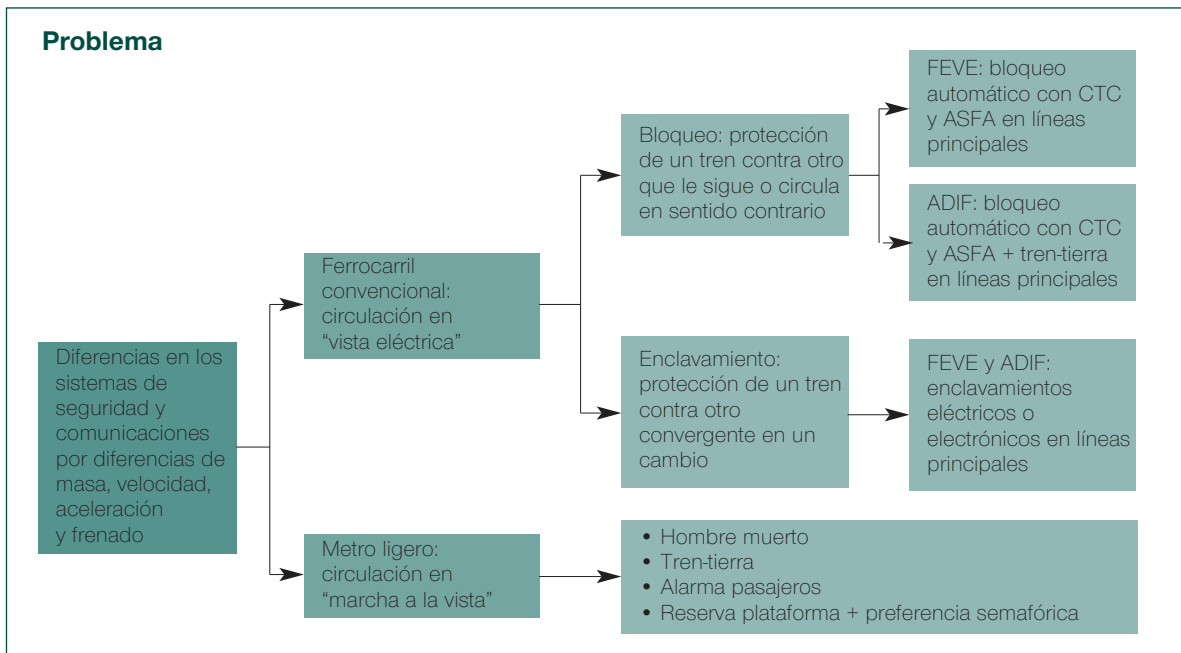
Recomendaciones para tranvitrén en el caso español



Recomendaciones para tren-tranvía en el caso español

Las soluciones recomendadas para el tren-tranvía son similares a las del tranvitrén. Sin embargo, en las explotaciones existentes en la actualidad la solución adoptada ha sido siempre la de utilización de un vehículo diésel. Esto sólo es recomendable en el caso de que la circulación por el entorno urbano se restrinja a corredores cortos y zonas no muy sensibles desde el punto de vista medioambiental.

6.4. Sistemas de seguridad y comunicaciones



Recomendaciones para tren-tranvía en el caso español

Las recomendaciones para el tren-tranvía son similares a las del tranvitrén.

Además, dado que el tren-tranvía es un vehículo ferroviario más "convencional" (menos ligero que el tranvitrén), se deberá prestar especial atención a los siguientes aspectos:

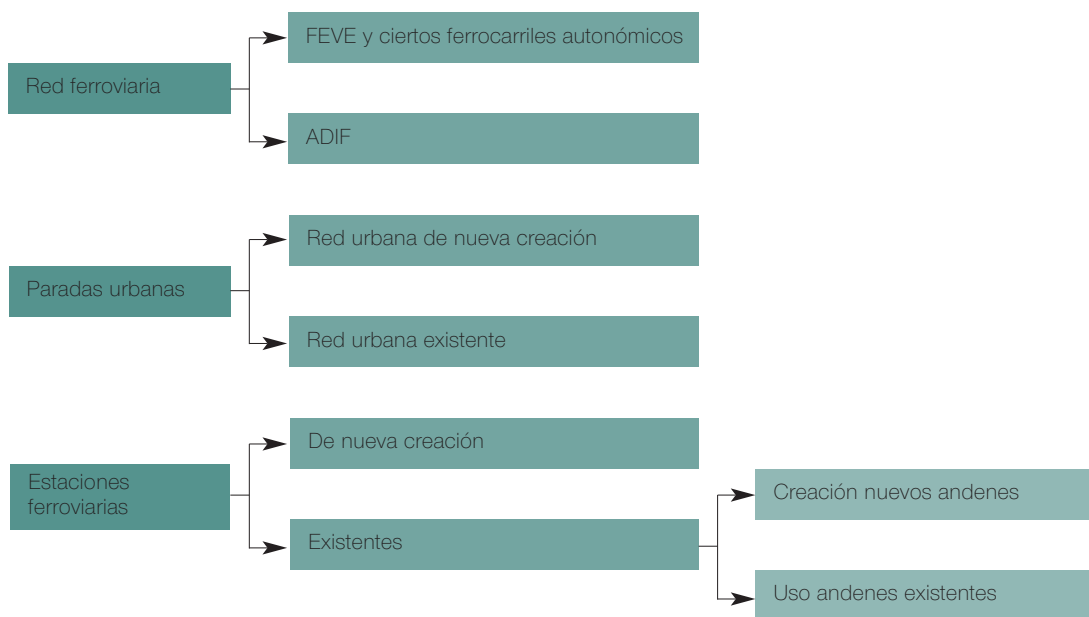
- Vehículos de tren-tranvía con capacidades de freno mejoradas respecto al ferrocarril convencional.
- Velocidades de circulación limitadas en zonas urbanas o pobladas, para evitar distancias de frenado excesivas.

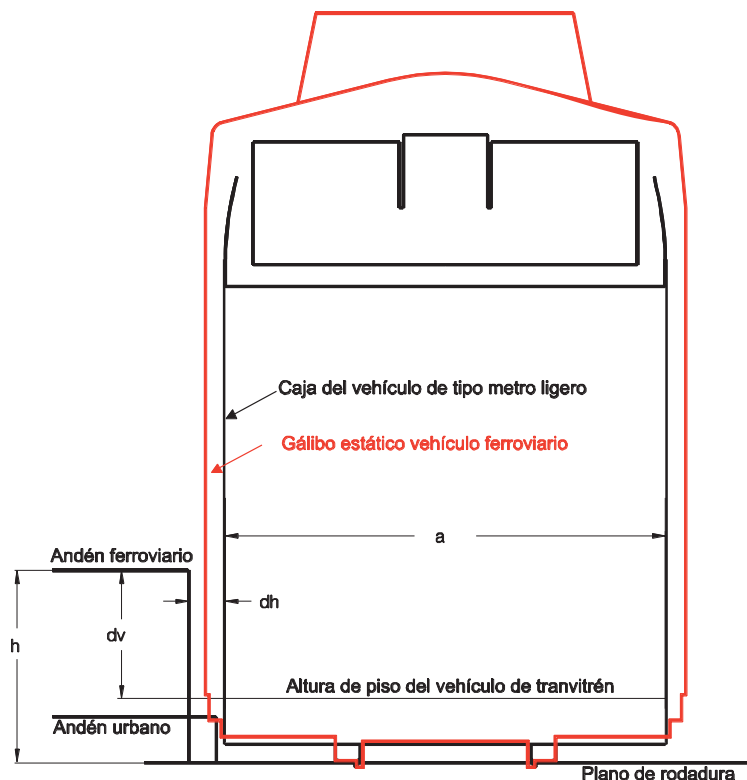
6.5. Acceso de viajeros

Necesidades

Acceso cómodo, rápido y seguro desde cualquiera de las estaciones/paradas que se utilicen al vehículo de tranvitrén o tren-tranvía.

Posibles situaciones





Características geométricas de los diferentes sistemas (valores habituales en vehículos o sistemas modernos)

Dimensión (mm)	Metro ligero		FEVE	Renfe-ADIF
	Ancho métrico	Ancho internacional		
Ancho de caja (a)	2 400	2 650	2 550	2 900
Altura de andén (h)	300	300	1 050	550
Distancia andén-eje de la vía ⁽¹⁾	1 250	1 365	1 400	1 675
Distancia andén-borde activo carril ⁽¹⁾	750	648	900	841

(1): Para vía recta.

Problemas geométricos

Dimensión (mm)	Valor máximo		FEVE ⁽²⁾	TT FEVE ⁽³⁾	Renfe- ADIF ⁽⁴⁾	TT ADIF ⁽⁵⁾
	Rec.	Abs.				
Diferencia de altura andén-piso vehículo (dv)	0	35	-	700	-	200
Distancia horizontal andén caja (dh)	40	75	-	-	-	-
Distancia horizontal andén caja cuando se utilizan andenes ferroviarios existentes	75 ⁽¹⁾	275 ⁽¹⁾	125	200	225	350

(1): Distancia máxima permitida 275 mm, siempre que exista algún punto especialmente designado para uso por personas de movilidad reducida, en el que sea como máximo de 75 mm.

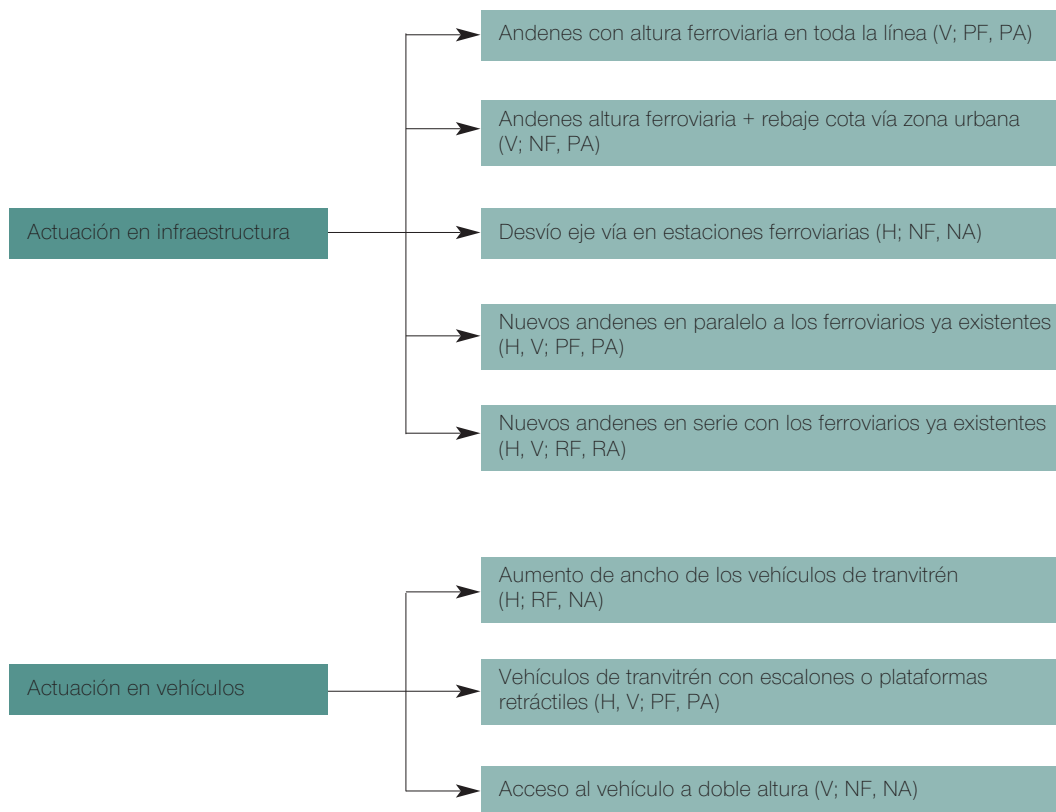
(2): Distancias cuando un vehículo de FEVE de los tomados como típicos se detiene en un andén de FEVE.

(3): Distancias cuando un vehículo de tranvén de ancho de vía métrico, con ancho de caja de 2 400 mm, se detiene en un andén de FEVE.

(4): Distancias cuando un vehículo de Renfe de los tomados como típicos se detiene en un andén de ADIF.

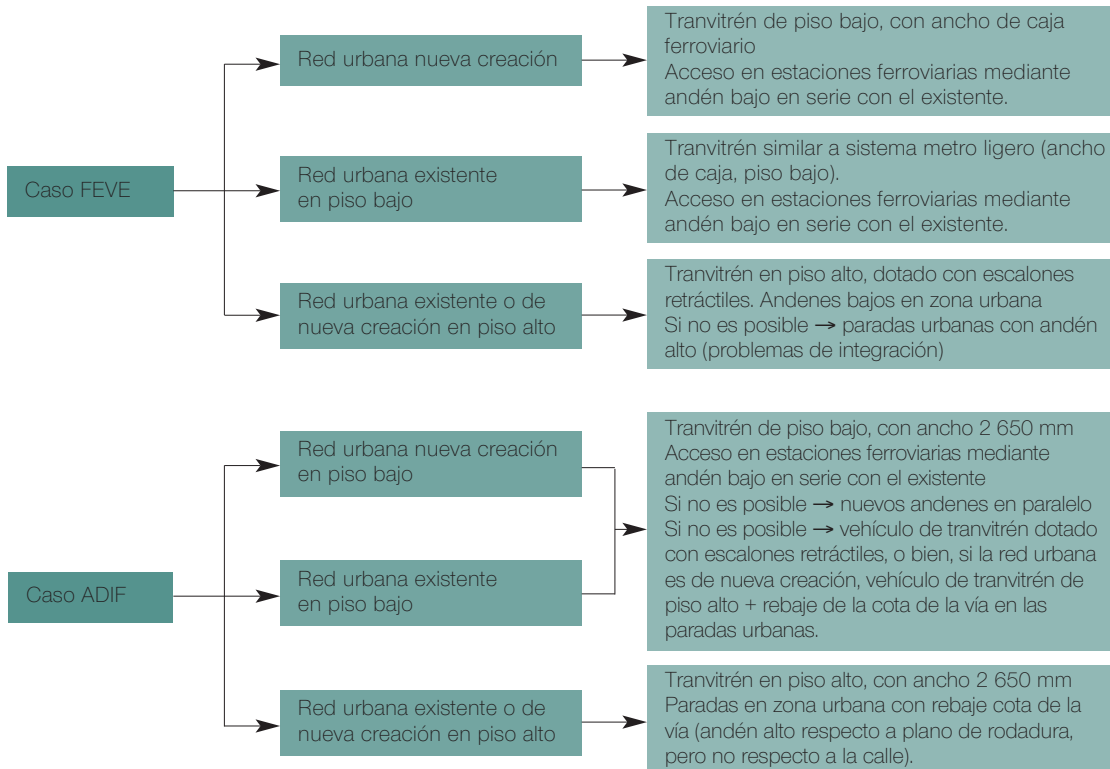
(5): Distancias cuando un vehículo con ancho de caja de 2 650 mm, se detiene en un andén de ADIF.

Posibles soluciones



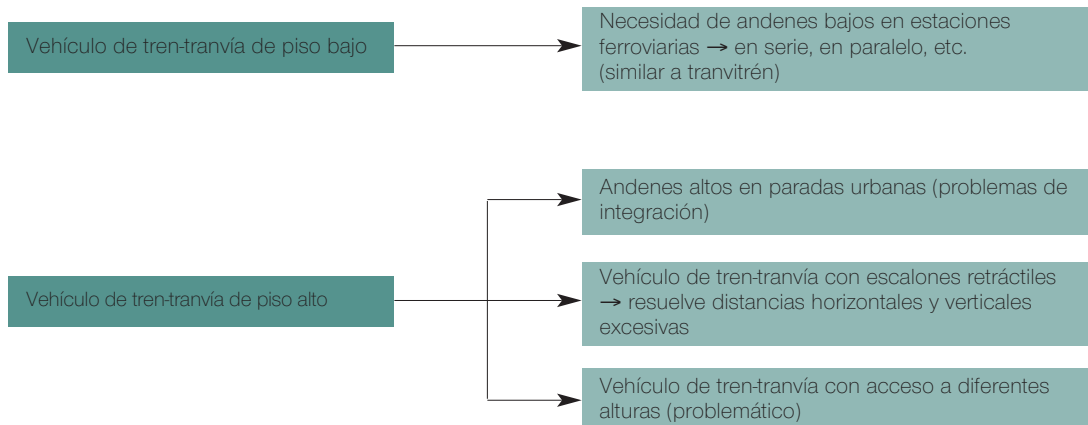
V: Resuelve el problema de distintas alturas de acceso.
H: Resuelve el problema de distancias horizontales excesivas.
NF: No recomendado para el caso FEVE.
NA: No recomendado para el caso ADIF.
PF: Posible, aunque no óptimo, para el caso FEVE.
PA: Posible, aunque no óptimo, para el caso ADIF.
RF: Recomendado para el caso FEVE.
RA: Recomendado para el caso ADIF.

Recomendaciones para tranvitrén en el caso español

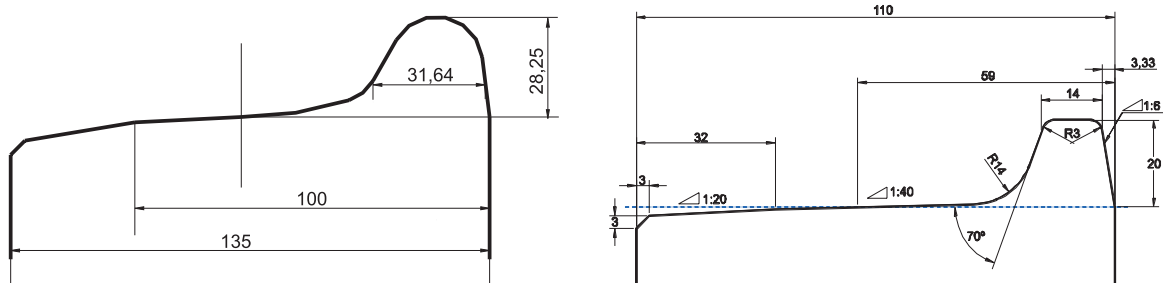
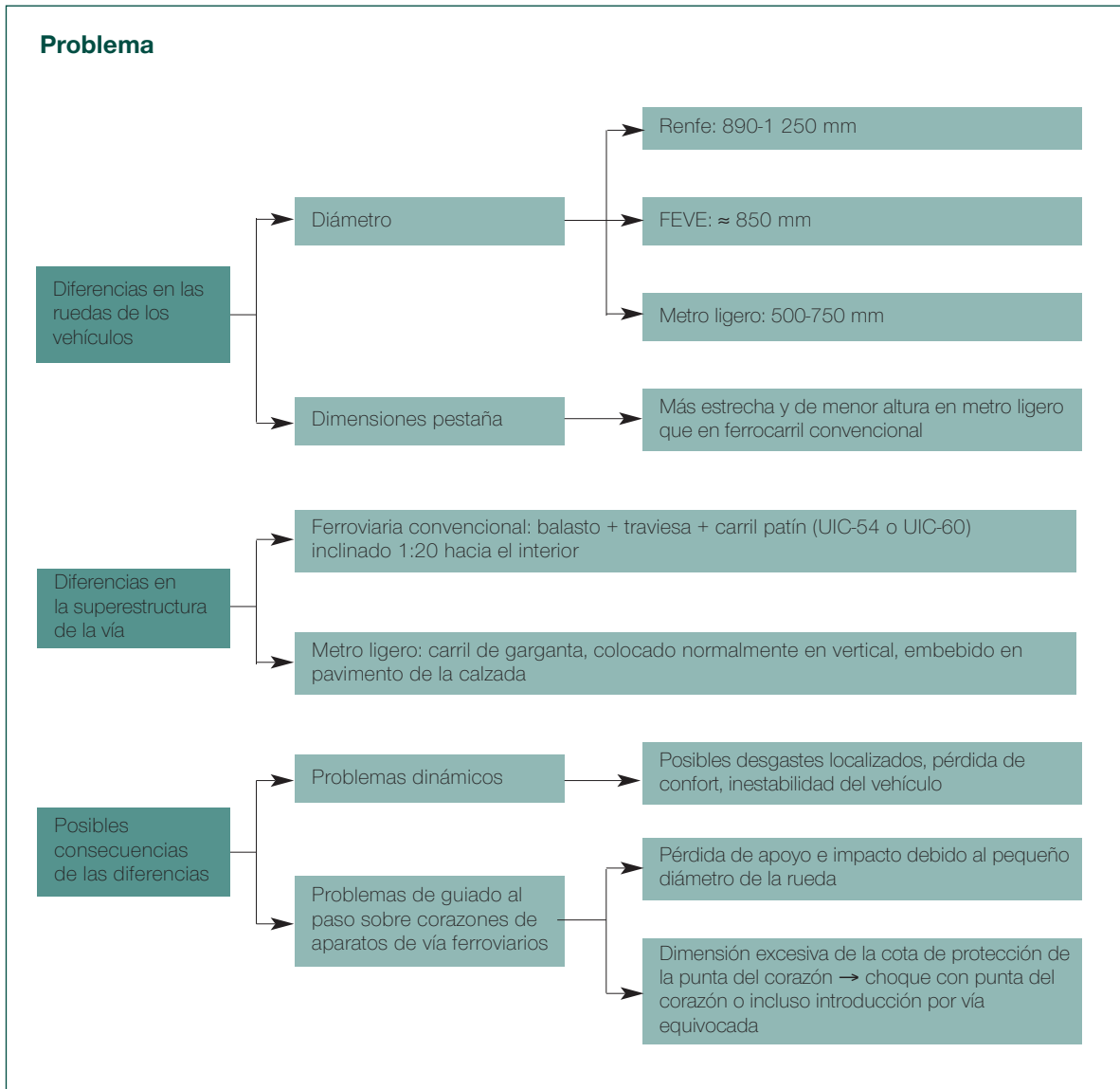


Recomendaciones para tren-tranvía en el caso español

La anchura del vehículo de tren-tranvía estará condicionada por el espacio existente en la infraestructura y, en general, deberá ser la menor de las anchuras de los dos tipos de sistemas sobre los que circula. Por tanto, en general, la anchura será la del sistema de metro ligero y las recomendaciones para resolver las distancias horizontales excesivas entre andén y vehículo son similares a las que se han dado para el caso del tranvitrén. El vehículo de tren-tranvía podrá ser de piso alto o bajo, recomendándose las siguientes soluciones para cada caso:

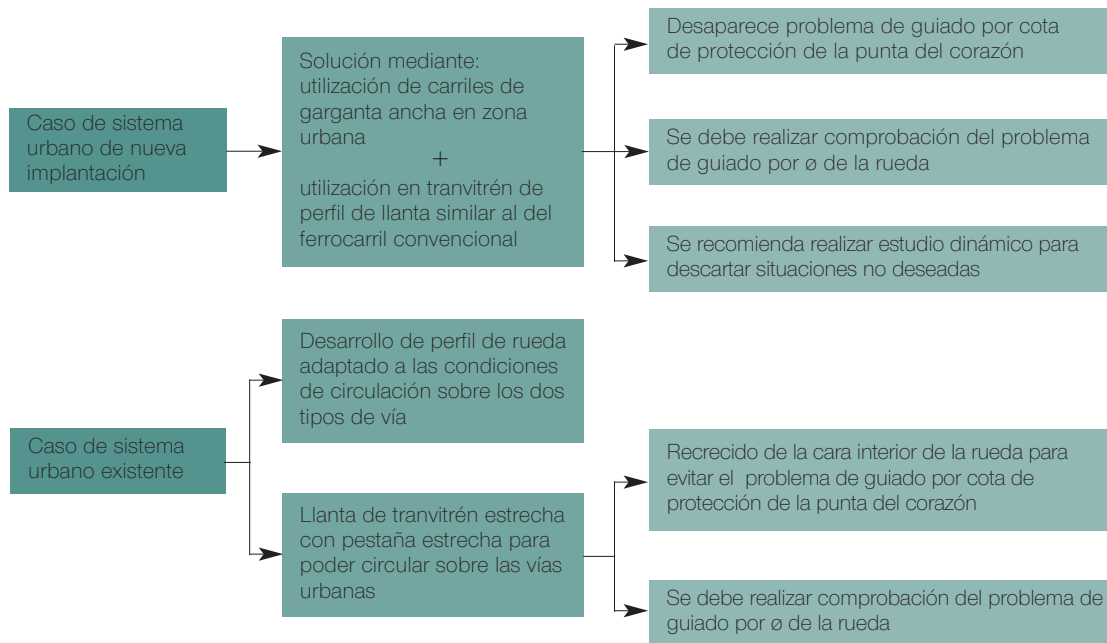


6.6. Perfil de llanta



Perfil de llanta DT-14 de cercanías de Renfe y perfil de rueda del tranvía de Bilbao.

Recomendaciones para tranvitrén en el caso español



Recomendaciones para tren-tranvía en el caso español

Las recomendaciones para el tren-tranvía son similares a las del tranvitrén.

6.7. Gálibo

Problema

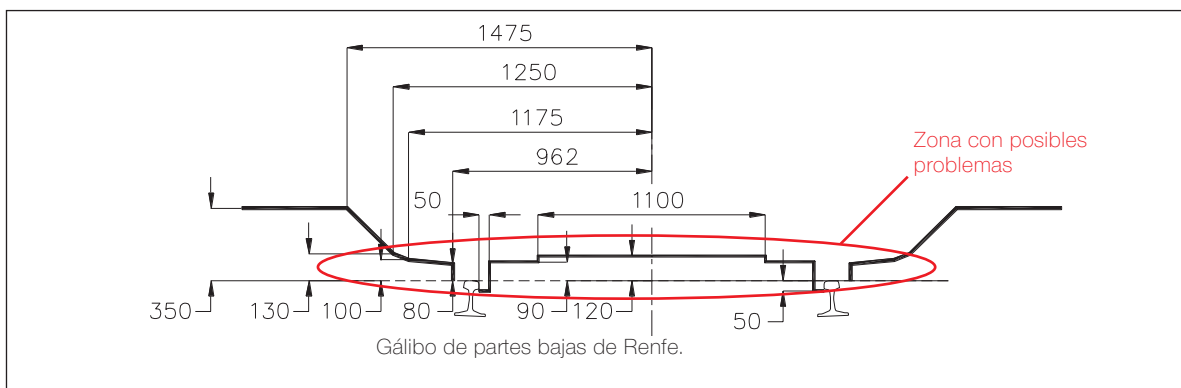
- Los vehículos de tranvitrén y tren-tranvía deben liberar el gálibo de las líneas sobre las que van a circular.
- No es suficiente realizar una comprobación de gálibo estático, debido a las diferencias mecánicas existentes entre los vehículos convencionales y los vehículos de tranvitrén y tren-tranvía, que hacen que el gálibo cinemático de liberación de obstáculos sea diferente.

Recomendaciones para tranvitrén en el caso español

- Comprobación de gálibo estático y de gálibo cinemático y dinámico para garantizar que el vehículo de tranvitrén no sobrepasa el gálibo de obra de la administración ferroviaria en cuestión.
- Medidas a adoptar en caso de no liberación del gálibo:
 - Limitación de la velocidad de circulación al paso por los puntos conflictivos. No recomendada debido a que cualquier avería en la suspensión del vehículo o una conducción poco cuidadosa, sobrepasando el límite de velocidad, podría dar lugar a que se sobrepasase el gálibo, chocando con la infraestructura y originando así un accidente.
 - Actuaciones en la superestructura en el punto en cuestión al objeto de ampliar la zona libre de obstáculos. Solución recomendada siempre que se consiga la autorización por parte del administrador de la infraestructura a modificar.

Recomendaciones para tren-tranvía en el caso español

Las recomendaciones para el tren-tranvía son similares a las del tranvitrén.





Vehículos Combino y Combino Duo (tranvitrén) en Nordhausen (Alemania). Autor: Axel Kühn.



Tranvitrén de Karlsruhe en la estación central. Autor: Axel Kühn.

7. Oportunidad de utilización de los sistemas de tranvitrén y tren-tranvía en España

Los sistemas de tranvitrén y tren-tranvía constituyen, en algunas situaciones, una mejora de las posibilidades de aplicación y explotación de los sistemas de metro ligero.

Son conocidas las adecuadas características de los sistemas de metro ligero para resolver los problemas de transporte en las ciudades de tamaño intermedio, basadas fundamentalmente en los beneficios que proporciona la plataforma reservada. Estas características son, por un lado, la elevada velocidad comercial que se puede alcanzar (20-25 km/h con prioridad semafórica frente a los 10-15 km/h de los sistemas de autobús) y, por otro, las elevadas frecuencias que se pueden admitir, al disponer el sistema de transporte público de una plataforma segregada del resto del tráfico urbano.

Sin embargo, los sistemas de metro ligero tienen un inconveniente importante que es el coste, especialmente si se compara con sistemas de baja capacidad como el autobús convencional, sobre todo cuando se pretende establecer una red amplia, que no sólo sirva al núcleo central de una aglomeración, sino que se extienda hacia las zonas más pobladas del área metropolitana, lo que supone longitudes de línea importantes. Este coste viene dado, fundamentalmente, por el coste del material móvil y el de las instalaciones fijas.

El coste del material móvil se puede establecer en torno a los 2,5-3 millones de euros por vehículo, siendo una partida poco flexible, aunque se pueden adoptar ciertas medidas para la reducción de su importe, como son:

- Evitar diseños y especificaciones técnicas exigentes que pueden elevar los costes innecesariamente.
- Unificar pedidos de material móvil para varias ciudades, de manera que se consigue una economía de escala.

El coste de las instalaciones fijas constituye la partida más importante en la implantación de un sistema de metro ligero. Este coste presenta un amplio rango de variación en función de las condiciones locales y, en concreto, se suele ver agravado por las intensas operaciones de regeneración urbana que se suelen llevar a cabo en las inmediaciones de la línea (ya que se suele aprovechar la obra de implantación del metro ligero para potenciar las zonas de la ciudad por las que circula).

Como orden de magnitud se puede considerar el abanico de 10 a 25 millones de euros por kilómetro de línea de metro ligero con vía doble (incluyendo el coste del material móvil), siempre que no existan longitudes importantes de vía soterrada, en cuyo caso los costes aumentan de forma importante.

Un ejemplo del valor máximo lo constituye la línea 1 del metro ligero de Tenerife, en el que se construyeron 12,6 km de vía completamente nuevos, con 21 paradas y 20 vehículos, con un coste total del sistema de 339,5 millones de euros. Esto supone un coste por kilómetro de casi 27 millones de euros (año 2007), motivado por la intensa regeneración urbana realizada con la actuación.

En el otro extremo se puede presentar el metro ligero de Parla, de unos 8,34 km de longitud y 17 paradas, con un coste de ejecución por contrata (sin IVA) de infraestructura y superestructura, material móvil y varios que asciende a 109,7 millones de euros (lo que da lugar a un coste por kilómetro de vía de 13,15 millones de euros, año 2007); si se consideran los conceptos de adecuación urbana (17 millones de euros) y otros (8 millones de euros) se obtiene un coste en ejecución por contrata (sin IVA) total final de 16,18 millones de euros por kilómetro.

En cualquier caso, el coste del metro ligero es uno de los mayores inconvenientes del sistema y puede ser una de las limitaciones principales para su implantación en el caso de ciudades de tamaño intermedio, que no tienen presupuesto suficiente para abordar el establecimiento de este sistema de transporte, pero que sufren graves problemas de congestión, sobre todo en las principales vías de entrada y salida del centro urbano, en horas punta, debido a los movimientos hacia y desde el trabajo o los centros de estudio por parte de la población asentada en el área metropolitana. Este problema se agrava cuando el área metropolitana es extensa en superficie, con importantes asentamientos de población fuera del núcleo urbano, ya que este hecho da lugar a longitudes de línea importantes y, por tanto, a mayores costes totales del sistema.

Por otra parte, es importante destacar la dificultad existente en algunas áreas metropolitanas de tamaño intermedio para conseguir espacio suficiente para dotar al metro ligero de la plataforma que necesita para su adecuado funcionamiento.

Pues bien, una forma de conseguir llevar el metro ligero hacia las zonas más alejadas del centro urbano, con plataforma reservada, y sin aumentar en exceso los costes de implantación, consistiría en la utilización de sistemas de tranvitrén, en el caso de que existan líneas ferroviarias convencionales que conecten el núcleo urbano con los principales asentamientos del área metropolitana.

Igualmente, el sistema de tren-tranvía sería una forma de conseguir un transporte de “cercanías ligero” de alta calidad, que llega hasta el centro urbano, evitando así que los usuarios tengan que realizar un transbordo en la estación de ferrocarril hacia otro modo de transporte público para llegar a su destino final.

El hecho de que en numerosas ciudades españolas las redes de metro ligero estén aún en fase de planificación, lejos de suponer un problema, puede suponer una ventaja competitiva, dado que la red urbana se puede adaptar a las necesidades impuestas por la compatibilización con la red ferroviaria (como se ha hecho en la ciudad alemana de Saarbrücken).

Aun así, los proyectos de sistemas de tranvitrén son complicados y necesitan un alto nivel de regulación. Es necesaria una cooperación entre todas las administraciones implicadas (local, autonómica), los organismos administradores de las líneas ferroviarias, los operadores y cualquier otro organismo interesado que deben determinar cuáles son las condiciones que se deben cumplir para poder establecer un sistema de este tipo, participando en el proceso de concepción del tranvitrén desde el origen.

En este sentido, la futura liberalización de las líneas ferroviarias para el tráfico de viajeros puede suponer un impulso a medio plazo para estas iniciativas, que además pueden generar una nueva fuente de ingresos para las empresas propietarias de las líneas, a través de los cánones de utilización de las mismas. Aun así, un aspecto que queda pendiente es la homologación del material móvil, con las condiciones específicas que se han presentado acerca de aspectos tan importantes como la resistencia estructural de la caja. Esta homologación no será posible sin la voluntad de los administradores ferroviarios de propiciar la implantación de estos sistemas.

La estrategia más apropiada sería establecer normativas específicas para la implantación en los distintos tipos de redes existentes en España (ADIF, FEVE, etc.). Asimismo, se debería establecer un pliego de condiciones, con una base homogénea, para los vehículos de tranvitrén que pretendan utilizar cada tipo de red. De esta forma, se puede hacer uso de la economía de escala que supone hacer pedidos de material móvil para diferentes ciudades en común, no teniendo que desarrollar un nuevo prototipo para cada caso particular (lo que resultaría muy costoso).

Un ejemplo de esta forma de actuación es Francia, cuya empresa ferroviaria (SNCF), tras las reticencias iniciales, participó de forma activa en el establecimiento de las condiciones de implantación de este tipo de sistemas sobre sus vías.



Vehículo Regiotram del tranvitrén de Kassel (Alemania). Autor: Axel Kühn.

Por otra parte, se recomienda una implantación por fases, dando servicio a las zonas que lo necesiten, en función de la demanda de transporte existente en cada corredor. Es importante destacar que el sistema de tranvitrén no se plantea como una opción para llegar a todos los puntos de la ciudad, sino que tiene que complementarse con líneas de autobús que actúen como alimentadores del sistema, favoreciendo la intermodalidad con las mismas.

Se debe destacar, además, que este tipo de sistemas sólo se pueden plantear cuando las líneas ferroviarias convencionales no están saturadas, por lo que existen surcos adecuados para introducir los nuevos servicios. Por tanto, no sería adecuado tratar de introducirlos en grandes ciudades en las que ya existen sistemas de cercanías con frecuencias importantes.

Asimismo, estos sistemas no se pueden introducir en líneas de alta velocidad, ya que la diferencia de velocidades entre los vehículos de tren-tranvía o tranvitrén y los de alta velocidad daría lugar a problemas de explotación de difícil solución.

8. Explotación

Uno de los aspectos fundamentales de la explotación de los sistemas de tranvitrén y tren-tranvía radica en el hecho de que debido a la gran cantidad de organismos implicados en el proceso (ayuntamientos, empresa ferroviaria, empresa de transporte metropolitano, comunidad autónoma, etc.), se recomienda el establecimiento de una Autoridad de Transporte Metropolitano que sea capaz de arbitrar entre los intereses contrapuestos y que tenga competencias para organizar el transporte público metropolitano, traspasando las fronteras municipales y racionalizando la oferta de transporte para conseguir un mejor servicio al usuario que potencie el cambio de modo por parte del mismo (del vehículo privado al transporte público). Este organismo debería encargarse de regular la formación a exigir a los conductores, así como sus licencias. Además, podría asumir la gestión de los fondos necesarios para la implantación del sistema, que provendrán, en principio, de los ayuntamientos implicados, de la comunidad autónoma y del Estado, pudiendo también plantearse la participación privada en caso de que resulte conveniente.



Estación central de Karlsruhe con vehículo ICE y tranvitrén al fondo. Autor: Axel Kühn.



Tranvitrén de la línea Rijn Gouwelijn (RGL) en Gouda (Holanda). Autor: Axel Kühn.

En lo que se refiere al uso de las líneas ferroviarias, la empresa que explote el sistema de tranvitrén o tren-tranvía se comportará como otro operador cualquiera, abonando unas tasas a la administración que gestione la infraestructura ferroviaria en función del uso que de ella haga: número de circulaciones, utilización de estaciones, etc.

Evidentemente, para poder utilizar las líneas del ferrocarril convencional, el metro ligero deberá adaptarse a los horarios de dichas líneas, lo que no permite una total flexibilidad de horarios para el nuevo sistema.

Por lo demás, la explotación de estos sistemas (frecuencias, horarios, tarifas, etc.) no difiere en gran medida de la explotación de un metro ligero (salvo, evidentemente, en lo que se refiere a la utilización de las vías ferroviarias convencionales).

Así, como en cualquier metro ligero convencional, será fundamental la potenciación de la intermodalidad entre el sistema ferroviario y el resto de sistemas de transporte del área metropolitana (autobús, metro, cercanías, etc.).

9. Conclusiones

A lo largo de este documento se ha mostrado de forma somera en qué consisten los sistemas de tranvitrén y tren-tranvía, explicando sus características, las oportunidades de su aplicación, la eficiencia de la solución y beneficios que puede producir para la sociedad, así como los posibles problemas que puede acarrear su implantación.

En lo que se refiere a los problemas técnicos, salvo el relacionado con el ancho de vía, todos los demás, aunque no iguales, son similares a los que han tenido que afrontar países como Alemania o Francia para sus explotaciones. Por tanto, aunque algunos son más complicados (y otros menos), todos ellos tienen una solución tecnológica apropiada que está contrastada por la experiencia. Se puede realizar una consulta más detallada de estas soluciones en el CD-Rom adjunto a este cuaderno.

Por ello, y dadas las oportunidades que plantean estos sistemas, parece interesante complementar los estudios de implantación de metro ligero que se están realizando en numerosas áreas metropolitanas españolas con estudios de compatibilización con las redes ferroviarias convencionales del entorno de dichas áreas.

En ciertas ocasiones, como ha ocurrido en otros países, se llegará a desestimar dicha compatibilización por las características concretas del problema que se esté afrontando, pero en otras, dicha compatibilización puede dar lugar a ahorros importantes en el coste de las infraestructuras, así como a un funcionamiento mejor de los sistemas de transporte público de las áreas metropolitanas implicadas. Y este mejor funcionamiento constituye la base para revertir la tendencia de la sociedad española a basar su movilidad en el vehículo privado, con los efectos positivos que ello conlleva.

10. Bibliografía

- BROWN, V.; GOODYEAR, T.; GRIFFIN, T. y ROBEY, C., *Report Shared Track Standards*, Londres, junio 1993, Regional Railways, Network Southeast, British Rail Research.
- BROWN, V.; GOODYEAR, T.; GRIFFIN, T. y ROBEY, C., *Technical Report Shared Track Standards*, Londres, junio 1993, Regional Railways, Network Southeast, British Rail Research.
- GLASER, O., "La filosofía del tram-train. El modelo de Karlsruhe", *El tranvía de Alicante: un nuevo concepto de transporte metropolitano*, Alicante, 2003.
- KÜHN, A.; ZWICKAU, "Riverline, Seetalbahn: Three countries, three approaches, but so much in common", *Tramways and Urban Transit*, junio 2006, nº 822, pp. 224-227.
- NOVALES, M., tesis doctoral: *Análisis y desarrollo de las adaptaciones tecnológicas en infraestructura y vehículos para la implantación de un sistema de tranvitrén sobre líneas de Ferrocarriles de Vía Estrecha (FEVE)*, A Coruña, Universidade Da Coruña, 2005.
- PETZ, M., Tram-train vs. train-tram, *TramTrain 2002 Congress*, Karlsruhe, 2002.
- SAFETY AND STANDARDS DIRECTORATE, *Railway Group Standard GM/RT-2452, Acceptance of Trams and Light Rail or Metro Vehicles for Shared Running on Railtrack Controlled Infrastructure*, Londres, febrero 1999, Railtrack.
- SAFETY AND STANDARDS DIRECTORATE, *Guidance Note GE/GN-8502, Operation of Trams and Light Rail or Metro Vehicles Over Railtrack Controlled Infrastructure*, Londres, 1999, Railtrack.
- SCANRAIL CONSULT, DK, *Integrating local and regional rail, including cross-border aspects, Growth Project GRD1-1999-10843 de FP5*, 2001.
- SNCF, *Étude sur l'analyse des contraintes d'infrastructure ferroviaire à prendre en compte dans le système tram-train*, París, SNCF (Direction de l'Ingénierie), 2001.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, TCRP Report 52: *Joint Operation of Light Rail Transit or Diesel Multiple Unit Vehicles with Railroads*, Washington, Transit Cooperative Research Program, Federal Transit Administration, 1999.
- VDV (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen), *Ausschuss für Bahnbau, Schienenfahrzeug-Ausschuss, Einsatz von Stadtbahn-Fahrzeugen im Mischbetrieb nach BOStrab und EBO*, Colonia, VDV (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen), 1995.
- WANSBEEK, C.J., "Zwickau: A happy blend of tram and train", *Tramways and Urban Transit*, febrero 2000, nº 746, pp. 52-55.

Publicaciones de esta colección

Comisión de Transportes

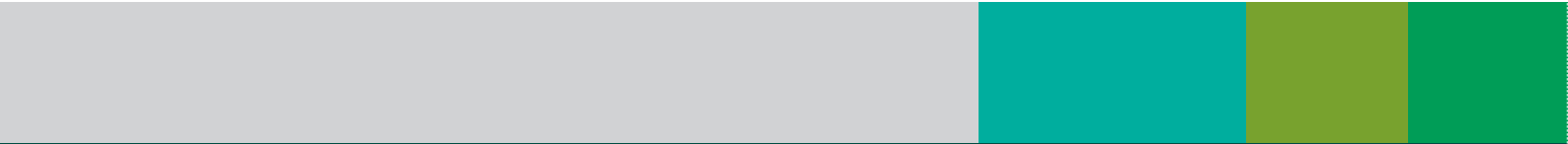
- EDE 3 Libro Verde del transporte en España. 2003.
- EDE 8 Libro Verde de los sistemas inteligentes de transportes. 2003.
- EDE 10 Libro Verde de indicadores de calidad de servicio en carreteras. 2005.
- EDE 22 Libro Verde de los sistemas inteligentes de transporte de mercancías. 2007.
- 1 Pirineos, la frontera europea. Enero 2005.
- 2 Informe sobre la liberalización del ferrocarril. Marzo 2006.
- 3 El Peaje Urbano: un posible instrumento para la movilidad sostenible en nuestras ciudades. Septiembre 2006.
- 4 Sistemas de transporte en plataformas reservadas. Diciembre 2008.
- 5 Consideraciones sobre el Plan Sectorial del Transporte por carretera, 2007-2012. Diciembre 2008.
- 6 Tranvitrén y tren-tranvía. Hacia una mejora del aprovechamiento de las infraestructuras ferroviarias. Septiembre 2009.

Cuadernos para la ordenación del ejercicio profesional

- 1 El Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- 2 Relación de Normativa Técnica aplicable a la Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. 2006.
- 3 La participación de los ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en las asistencias técnicas de proyectos y direcciones de obra de las Administraciones Públicas. 2007.
- 4 Empleo Público a nivel nacional para ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 2007.
- 5 Los ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en el mundo de la edificación. 2007.
- 6 Los costes en el ejercicio de la consultoría e ingeniería de proyecto. 2007.
- 7 La Responsabilidad Profesional de los ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 2007.
- 8 Los Seguros de Responsabilidad Profesional para los ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 2007.
- 9 Descriptores geotécnicos del terreno. 2007.
- 10 Contenido formal del Informe Geotécnico. 2007.
- 11 Aspectos geotécnicos más relevantes del Código Técnico de la Edificación. 2007.
- 12 Cuatro años de Ingeniería Civil (2003-2006).

Comisión de Construcción y Financiación de Infraestructuras

- 1 Recomendaciones referentes a los Pliegos del Régimen de Concesión de Obra Pública. 2006.
- 2 Tarifación de Infraestructuras de Transporte en la UE: adecuación del sistema español y su aplicación en la red viaria. 2006.



9 788438 004197

ISBN: 978-84-380-0419-7