

# Tranvías, metros ligeros y sistemas en plataforma reservada. Puntos clave para su proyecto e implantación

## Tramways, light rail and rapid transit systems. Key points for design and introduction

**Clara Zamorano Martín.** Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Investigadora.

Centro de Investigación del Transporte TRANSyT. Universidad Politécnica de Madrid. ETSI Caminos, Canales y Puertos.

Vocal de la Comisión de Transportes del Colegio de Ingenieros de C.C.yP. clzamorano@caminos.upm.es

**Joan M. Bigas Serrallonga.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Responsable de Planificación y Estudios. Entidad Metropolitana del Transporte de Barcelona.

Vocal de la Comisión de Transportes del Colegio de Ingenieros de C.C.yP. bigas@amb.cat

**Julián Sastre González.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Consultor Internacional en Transportes. Secretario de la Comisión de Transportes del Colegio de Ingenieros de C.C.yP.

jsasgon@jsasgon.com

**Resumen:** Los tranvías, metros ligeros y autobuses de altas prestaciones en plataforma reservada se perfilan como una alternativa óptima a los sistemas de metro clásico. La versatilidad de estos modos de transporte hace que puedan adoptarse soluciones innovadoras para cada tipo de ciudad y cada tipología de vial, dando lugar a una verdadera revolución urbanística en las ciudades en las que se implantan.

El éxito de estos sistemas reside, básicamente, en una planificación que contemple el sistema de transporte en su conjunto y la ordenación urbana a lo largo de su recorrido. A este aspecto básico deben añadirse una serie de requisitos técnicos que permitan una óptima explotación y mantenimiento del sistema, así como la mayor comodidad para los usuarios del mismo. Entre ellos destacan los parámetros adecuados de inserción en planta y en alzado y el diseño de paradas y estaciones, tanto en cuanto a sus dimensiones y funcionalidad como en cuanto a su equipamiento.

**Palabras Clave:** Transporte urbano; Transporte público; Tranvías; Metros ligeros; Autobuses en plataforma reservada; Planificación urbana; planificación transporte urbano

**Abstract:** Tramways, light rail and bus rapid transit with dedicated right of way are fast becoming an optimum alternative to traditional metro systems. The versatility of these forms of transport makes it possible to adopt innovative solutions for each type of city and each type of track or way, giving rise to an authentic urban revolution in the cities where these are introduced.

The success of these systems basically lies in correct planning which considers the transport system in its entirety and the urban fabric throughout the route. In addition to these basic aspects it is also necessary to add a series of technical requirements to ensure optimum system operation and maintenance and greater comfort for users. These requirements include parameters for the design and installation of platforms, boarding points and stations, in terms of dimensions, functionality and fittings.

**Keywords:** Urban transport; Public transport; Trams; LRT; BRT; Town planning; Urban transport planning

### 1. Introducción

El desarrollo tecnológico de los últimos años ha permitido que los sistemas de transporte público hayan evolucionado para adaptarse a las distintas tipologías de demanda provocadas por los cambios en los usos del suelo y la movilidad en las áreas urbanas.

Para altos niveles de demanda, el metro y el ferrocarril de cercanías siguen siendo las soluciones más adecuadas. Sin embargo, su alto volumen de inversión, sus costes de explotación y mantenimiento y su mayor plazo de construcción, provocan que los sistemas de capacidad intermedia: tranvías, metros ligeros y, en general, sistemas en plataforma reservada, se

estén convirtiendo en protagonistas de la movilidad urbana. Aunque su implantación suele responder a motivaciones distintas, según se trate de grandes ciudades o ciudades medianas y pequeñas.

- En el caso de las grandes ciudades, un sistema en plataforma reservada suele ser un sustituto de redes existentes de autobús, cuando en ellas se plantean dificultades de congestión, problemas de regularidad derivados de la densidad de circulación, u otros motivos. En particular, como sucede en Barcelona (Trambaix / Trambesòs), en Madrid (Boadilla o Pozuelo), o en otras ciudades europeas como París (St. Denis – Bobigny, Trans Val-de-Marne) y Londres (tranvía de Croydon) se implantan este tipo de sistemas en zonas con densidades de población moderadas, de forma que actúen como sistemas de aportación al metro.
- En el caso de ciudades medianas y pequeñas de países occidentales la implantación de sistemas en plataforma reservada suele ser una alternativa al metro. En general, para ciudades entre 100.000 y 500.000 habitantes, donde las distancias no suelen ser un problema para desplazarse a pie, una fuerte inversión en metro convencional no resulta socialmente rentable y, en cambio, un sistema de tranvía o metro ligero puede ser adecuado para ofrecer un servicio de mayor entidad que la red de autobuses, con el añadido de que su accesibilidad será mejor que la del metro convencional, y de que su implantación favorecerá la regeneración urbanística del entorno. Conviene destacar que en el caso de ciudades de países en desarrollo la sustitución suele responder a requerimientos de menor inversión y, por tanto, independientes de la demanda.

El tranvía o metro ligero aparece como una solución óptima en muchos corredores, pero no hay que olvidar el interés de dotar a las redes de autobuses de las condiciones de explotación que les permitan obtener un buen nivel de servicio. Sin embargo, aunque las medidas de mejora de la red de autobús representan una inversión relativamente pequeña, comparada con la implantación de nuevos modos, y suponen un aumento importante de la calidad de servicio, su oportunidad política es reducida, en cuanto suponen una limitación al uso del vehículo privado con un modo de transporte ya existente, sin aportar el efecto mediático de la inauguración de una línea de tranvía o metro ligero.



Madrid está realizando una apuesta importante por los metros ligeros.

## 2. Elementos a definir en el proyecto para una correcta implantación

Una vez realizadas las tareas de planificación del sistema de transporte público y seleccionada una alternativa en plataforma reservada, teniendo en cuenta la financiación del sistema, debe elaborarse un proyecto, fase decisiva que concreta todas las actividades llevadas a cabo anteriormente, y que condicionarán el éxito del nuevo sistema. Son muchos los requerimientos que deben estar definidos en el proyecto de un sistema en plataforma reservada, y para su correcta definición es necesario tener en cuenta los inconvenientes o condicionantes habitualmente asociados a un sistema de transporte de este tipo:

- El incremento del tráfico del espacio restante, que suele ser menor que el espacio inicial, antes de la introducción del nuevo sistema.
- La dificultad de los giros del resto de vehículos.

En el caso concreto de plataformas junto a las aceras, como son los carriles bus habituales, los inconvenientes o condicionantes suelen ser:

- La limitación o supresión de aparcamiento y el estacionamiento.
- La limitación o dificultad del acceso a vados y edificios.
- La dificultad de las operaciones de carga y descarga.
- La coexistencia con los carriles bici (en algunas ciudades como París ambos carriles, bus y bici, se han fusionado en uno solo de mayor anchura).

### Algunos aspectos básicos que deben definir el proyecto de un sistema en plataforma reservada

#### Sobre la infraestructura y superestructura:

- ◆ Itinerario a seguir, con una completa definición de su inserción en la vía pública: en planta, en alzado. Tramos en superficie, soterrados y elevados.
- ◆ Grado de separación de la plataforma: tramos totalmente segregados, parcialmente segregados o compartidos con otros modos. Situación de la plataforma: central o lateral.
- ◆ Acabados de la plataforma: césped, adoquines, hormigón...
- ◆ Forma de salvar los cruces: como el resto del tráfico, rotundas o pasos subterráneos.
- ◆ Grado de preferencia en los cruces: prioridad semafórica.
- ◆ Señalización vertical, horizontal y semafórica.
- ◆ Vía: tipología y características.
- ◆ Tramos en vía doble y vía única. Apartaderos y ubicación de apartaos de vía.
- ◆ Radio mínimo en operación y en maniobra.
- ◆ Rampas máximas y acuerdos verticales.
- ◆ Catenaria: tipología y características. Forma de sustentación: postes, farolas, en fachadas...
- ◆ Frecuencias de paso iniciales y previsión de mayores frecuencias de paso en el futuro, para dimensionar adecuadamente el suministro de energía de tracción.
- ◆ Urbanización del entorno. Definición del límite entre plataforma y entorno urbano. El mobiliario urbano. La imagen del sistema tranviario.

#### Sobre las paradas y estaciones:

- ◆ Ubicación y las características de los elementos que las conforman: plataformas (y su nivelación con el suelo de los vehículos), postes y marquesinas, paneles electrónicos, información sobre el servicio, señalización y accesibilidad, soportes publicitarios.
- ◆ Facilidades para estaciones de intercambio con otros modos de transporte. Previsión de vehículos de mayor longitud en el futuro (reservar espacio en las estaciones)

#### Sobre los vehículos:

- ◆ Características del material móvil, prestaciones de potencia y autonomía, tipo de tracción y energía, accesibilidad, equipamiento, espacio publicitario, información al usuario.
- ◆ Longitud, altura y anchura de los vehículos, así como la distancia al suelo, lo que condiciona los gálibos y el diseño de las estaciones.
- ◆ Si se trata de ramas unidireccionales o reversibles, lo que condiciona la existencia o no de puertas y plataformas a ambos lados.

#### Sobre la explotación del sistema:

- ◆ Plan de operación, mantenimiento y conservación de la infraestructura, superestructura y el material móvil.
- ◆ Programa de información y señalización. Modificaciones del servicio
- ◆ Horarios del servicio, a lo largo del día, semana y año.
- ◆ Sistemas de validación y venta de títulos de transporte.
- ◆ Cochertas e instalaciones de mantenimiento, situación y disponibilidad.
- ◆ Sistema de Ayuda a la Explotación e Información, su arquitectura y componentes, centro de control, equipos embarcados, red de comunicaciones y puntos de información al público.
- ◆ Manual de calidad del servicio. Programa de gestión de la calidad. Incentivos y penalizaciones.

### 3. Proyecto e implantación de la plataforma

#### 3.1. Vía pública y plataformas reservadas

A diferencia del metro o de los sistemas elevados, que en buena parte independizan su función de las vías urbanas, el transporte público urbano de superficie, sea autobús, tranvía, o cualquier sistema en plataforma reservada, se caracteriza por usar la propia vía pública de las ciudades como soporte para efectuar su cometido: el transporte de viajeros.

En la vía pública de una ciudad se produce un uso intensivo y complejo del espacio por parte de actividades y agentes muy variados: existencia de mobiliario urbano de todo tipo, circulación y concentración de peatones, circulación y aparcamiento de vehículos privados, circulación o carga y descarga de vehículos pesados, usos comerciales y de restauración, ocio y espectáculos, recogida de basuras, y un largo etcétera. La vía pública es, desde el ágora ateniense hasta los modernos centros peatonales, lugar por excelencia para la actividad humana de relación y de contacto, y por ello se trata de un lugar extremadamente sensible. En las últimas décadas existe una tendencia generalizada en todas las áreas urbanas occidentales a que el vehículo privado ceda progresivamente parte de su espacio a otras actividades más directamente relacionadas con el peatón, pero el espacio reservado al transporte público de superficie es un aspecto todavía en discusión.

Esta cuestión no se planteaba hace unas décadas, solamente algunos personajes visionarios consideraron en el siglo XIX cuestiones del reparto equilibrado de la vía pública teniendo en cuenta los distintos agentes y su potencial futuro: Ildefons Cerdà previó para el Ensanche de Barcelona una división a partes iguales del espacio viario entre el peatón y los vehículos (10 metros para cada uno en calles de 20 metros de anchura). Por su parte, Arturo Soria, en Madrid, planteó su Ciudad Lineal como una ciudad-jardín alrededor de un eje de transporte que debía articularla. Frente a estos planteamientos avanzados a su tiempo en España, lo cierto es que el desarrollo de la automoción especialmente a partir de los años sesenta otorgó al vehículo privado un predominio absoluto en las vías urbanas, muy por delante del transporte público e, incluso, del peatón. Es evidente que en las ciudades de principios del siglo XXI



el modelo viario debería ser reformulado con criterios de una mayor igualdad entre el peatón, el vehículo privado y el transporte público.

De este modo, la presión existente sobre el uso del espacio hace necesario que las autoridades lleven a cabo acciones decididas para dar prioridad al peatón, pero también al transporte público sobre el transporte privado, ya que de lo contrario el primero no será capaz de competir con el segundo para asimilar la intensa movilidad urbana. Muchas ciudades europeas donde modernos tranvías o microbuses eléctricos conviven perfectamente con los peatones son un buen ejemplo para acercar el transporte público al ciudadano y permitir la existencia de grandes áreas y centros históricos restringidos al automóvil (Florencia, Bolonia, Granada) sin por ello perder eficacia como ciudades productivas, más bien al contrario: permiten una mayor calidad de vida y la realización de actividades ciudadanas de forma sostenible; el peatón, la bicicleta y el tranvía son los actores de esta transformación y coexisten en un mismo espacio del centro de la ciudad. Actuaciones como el carril bus – VAO de la carretera de La Coruña en Madrid son otros ejemplos de cómo puede concederse prioridad al transporte público sin comprometer la movilidad general, en este caso en los accesos a las grandes ciudades.

En términos generales y sin negar las particularidades de cada vía urbana, que deben ser analiza-

El sistema de guiado óptico de Rouen supone una alternativa a la implantación de vías, ya que es una solución económica y reversible, capaz de evitar obstáculos, manteniendo a la vez las características de sistema guiado que ofrecen los tranvías.

das minuciosamente, una idea de reparto equitativo entre medios de transporte podría consistir en asignar un tercio del espacio a cada uno de ellos: al vehículo privado (incluido el aparcamiento), al transporte público y al peatón (que puede incluir la circulación de bicicletas, normalmente junto a las aceras). Con este reparto, el transporte público se vería claramente favorecido respecto a la situación actual en nuestras ciudades, y sería posible la implantación de plataformas reservadas sin excesivas protestas. De hecho, este planteamiento refuerza la idea de que la implantación de un tranvía viene a ser la expresión de un pacto ciudadano sobre la movilidad urbana.

### 3.2. **Implantación en planta**

Los modernos tranvías y algunos sistemas en plataforma reservada se proyectan actualmente en planta con las características propias de un metro ligero. Esto es, para que dispongan de la mayor parte de recorrido posible circulando por vías segregadas del resto del tráfico, dadas las ventajas que ello supone en cuanto a la mejora de la velocidad comercial y a la protección frente a accidentes. Es decir, los automóviles normalmente no están autorizados a penetrar en la plataforma reservada salvo para atravesarla en determinadas intersecciones reguladas. Para ello, muchas redes de tranvías modernos disponen incluso de tramos subterráneos o de pasos inferiores en lugares de tráfico denso o inserción urbana difícil.

En este marco, suelen distinguirse tres tipos de circulación de los tranvías y sistemas en plataforma reservada dentro de la vía urbana, como se muestra en la Figura 1.

- Junto a las aceras, en las cuales se disponen las paradas oportunas, de forma similar a como suelen disponerse para los autobuses. Puede ser una buena solución cuando se trata de itinerarios en un solo sentido y, por tanto, de vía única. Sin embargo, también presenta problemas de acceso a los edificios y de giros a la derecha del resto de vehículos. Requiere una plataforma de circulación de tan solo 3,5 metros de anchura.
- En una plataforma central con andén central. Es una solución en doble vía que presenta ventajas en cuanto a compartir los servicios de una para-

da en un único andén central. Sin embargo, para acceder al andén central es necesario en todo caso cruzar las vías, y suele ser necesario disponer de refugios para peatones entre vías y calzada, con lo cual la anchura total de la plataforma no es mucho menor que en la opción con andenes laterales. La anchura de la plataforma con parada incluida se sitúa entre 11 y 12 metros. En los tramos de plataforma donde no existen paradas puede conservarse esta anchura (mediante un pavimento duro o blando como el césped), o bien reducir la anchura de plataforma juntando las vías a partir del punto en que desaparece el andén central; en este último caso pueden conseguirse anchuras de plataforma de 8 a 9 metros, que pueden ser convenientes en vías urbanas de menos de 30 metros de anchura total.

- En una plataforma central con andenes laterales. La anchura de plataforma total requerida es algo superior a la anterior, llegando hasta los 12,5 metros. En los tramos en que no se dispone de paradas, la anchura de la plataforma eventualmente podría reducirse también hasta los 8 a 9 metros (la anchura estricta de las vías más separadores). La solución con andenes laterales puede ser una buena alternativa, ya que presenta la ventaja de mantener las vías junto al eje central y sin curvas innecesarias. Sólo debe tenerse en cuenta una anchura mínima de 2,5 metros para los andenes de dichas paradas laterales.

#### Plataformas tranviarias

El esquema anterior adquiere su mayor interés cuando se traslada a casos concretos de vías urbanas con anchuras determinadas, que plantean una problemática específica. En la Tabla 1 se puede observar, para cada tipología de vía urbana, distintos tipos de soluciones para la implantación de tranvías. Por supuesto, la aplicación de cada solución debe comportar un estudio previo de inserción para cada caso particular de zona urbana.

En el caso de avenidas con más de 40 metros de anchura entre fachadas se puede disponer con comodidad de una plataforma central del tranvía con paradas de andenes centrales o laterales. La ventaja de la plataforma central es que permite con comodidad los giros a la derecha de los automóviles

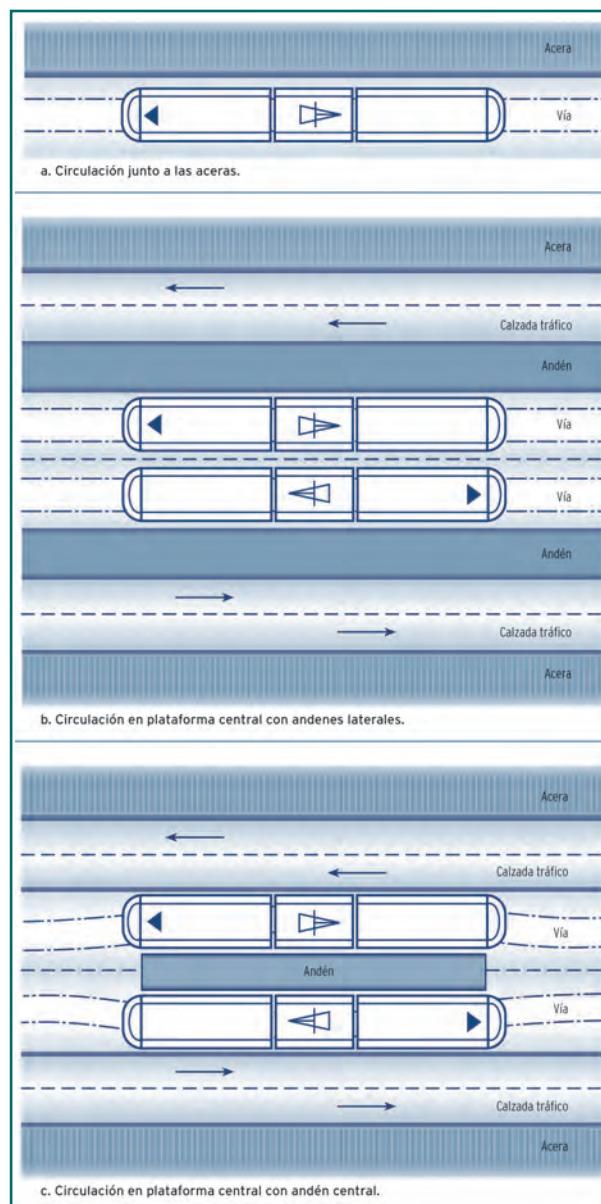
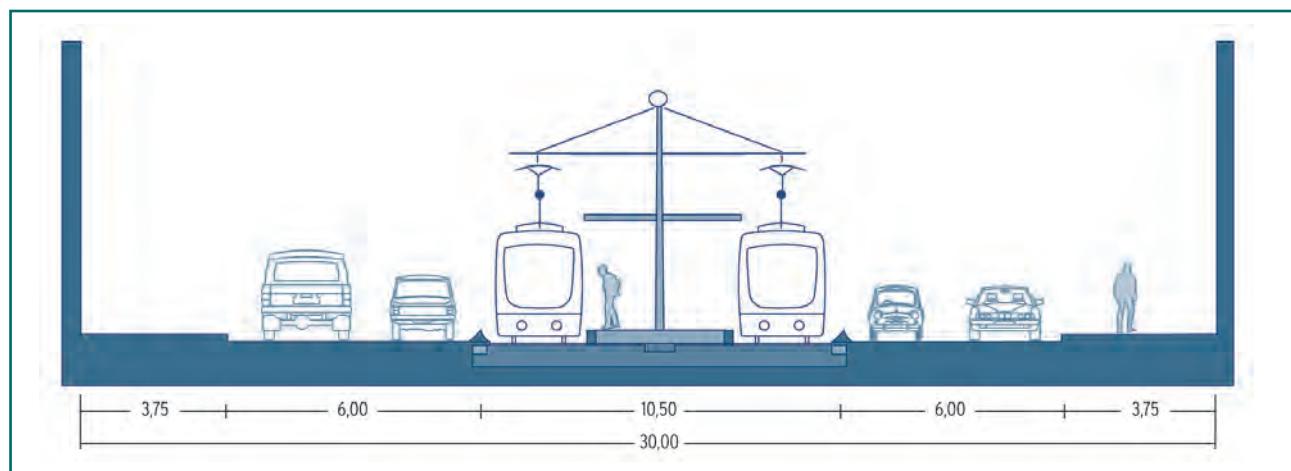


Fig. 1. Formas de inserción de plataformas reservadas en la vía pública.

La plataforma central con doble sentido de circulación, como ésta del Busway de Nantes, permite la disposición de arbolado y zonas verdes a lo largo del recorrido.



Fig. 2. Inserción de la plataforma en calles de 30 metros.



(eventualmente también los giros a la izquierda mediante rotundas), y el acceso de dichos automóviles a los aparcamientos bajo edificios; sin embargo, también es cierto que los pasajeros deben cruzar siempre la mitad de la calle para acceder al servicio de transporte público. Para la circulación de vehículos se dispone en cualquier caso de dos carriles por sentido, y según se pretenda o no ofrecer cordones de aparcamiento a ambos lados las aceras se dispondrán para el tráfico de 6 a 7,75 metros (incluidos posibles carriles bici). Tanto las aceras como los aparcamientos pueden aumentar su anchura en caso de que la plataforma del tranvía se reduzca de 8 a 9 metros en los tramos donde no existen paradas, aunque con el inconveniente de establecer una sección transversal variable y unos itinerarios más sinuosos para los tranvías y el resto del tráfico.

Para calles de unos 30 metros de anchura entre fachadas una solución es disponer con comodidad de una plataforma central del tranvía con andenes centrales, como puede verse en la Figura 2, así la anchura de plataforma con paradas es de 11 a 12 metros, dependiendo de que se dispongan o no refugios para peatones entre vías y calzada. En este caso también se mantiene la ventaja de permitir con comodidad los giros a la derecha de los automóviles (eventualmente también los giros a la izquierda mediante rotundas), y el acceso de dichos automóviles a los aparcamientos bajo edificios. Para la circulación de vehículos se dispondría de dos carriles por sentido y una acera de 3 a 3,5 metros, o bien de un carril por sentido más aparcamiento y aceras de 4 a 4,5 metros de anchura. Nuevamente

las aceras como los aparcamientos pueden aumentar su anchura en caso de que la plataforma del tranvía se reduzca de 8 a 9 metros en los tramos donde no existen paradas. En este tipo de vía urbana, como en el caso de vías más anchas, siempre es posible también disponer la plataforma tranviaria en un lateral, junto a las aceras o eventuales zonas no urbanizadas, lo que supone una variante del caso anterior y reconduce el resto del tráfico a la calzada restante.

En el caso de calles con sólo 20 metros de anchura entre fachadas es conveniente insertar solamente la plataforma del tranvía junto a la acera, aprovechando una de las paradas laterales en la propia acera, quedando todavía un único carril para la circulación de vehículos de servicio más las dos aceras de 3,25 metros. Una variante puede ser disponer de una plataforma en vía única junto a la acera, de forma similar a un carril bus. En todos los casos existe una mayor problemática para el acceso de los automóviles a los edificios y para los giros. Una alternativa de la anterior es una solución completamente peatonal, en la que los espacios a lado y lado del tranvía tienen una anchura de 4 a 4,5 metros cuando existen paradas (o 6,5 metros cuando no existen). Otra solución sería permitir la coexistencia de los vehículos en la misma plataforma que el tranvía, con las limitaciones de explotación que ello supone. Es evidente que una calle de sólo 20 metros de anchura admite un trazado de tranvía con mucha dificultad.

En este último tipo de vías, o incluso en vías de menor anchura (los 12 a 14 m de los centros urbanos de algunas ciudades francesas como Burdeos), se

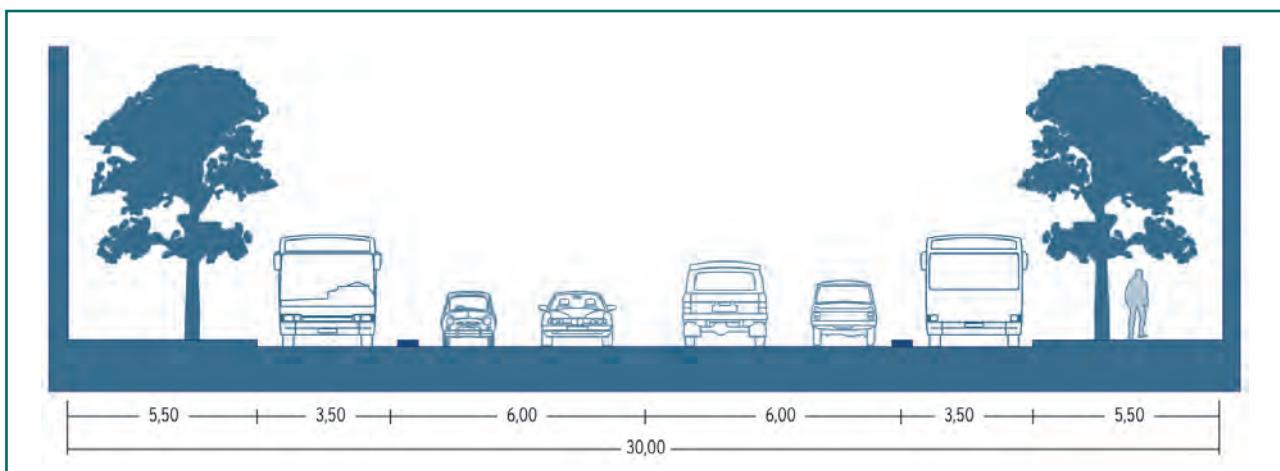


Fig. 3. Inserción de BRT en calles de 30 metros.

impone a menudo el criterio de crear espacios exclusivos para el peatón, la bicicleta y el tranvía, como un modo sostenible de diseñar el centro urbano, garantizando a un tiempo su accesibilidad. En estos tramos con menor espacio útil, la plataforma del tranvía puede reducir su anchura hasta 6,5 metros; incluso, con la adopción de pilares centrales de catenaria esbeltas, se pueden lograr plataformas de 5,8 m de anchura (si el material móvil es de 2,2 o 2,4 m de anchura), que se reducen a 5,5 m si se sostiene la catenaria en las fachadas.

#### Plataformas no tranviarias

En términos generales, los anteriores esquemas de reparto de espacio viario entre la plataforma reservada y el resto de usos urbanos, son también válidos para sistemas guiados no ferroviarios, pero algunos de estos sistemas presentan una mayor flexibilidad en cuanto a trazado (radios menores y pendientes mayores) y además el trazado puede ser modificado con mucha mayor facilidad tras la implantación, especialmente en los sistemas con guiado sin contacto o en los autobuses rápidos. Para estos sistemas no tranviarios suelen pues distinguirse otros tipos de circulación más flexibles dentro de la vía urbana. A continuación podemos observar, para cada tipología de vía urbana, distintos tipos de soluciones para la implantación de sistemas en plataforma reservada no tranviarias, tomando como ejemplo los Sistemas de Autobuses Rápidos (BRT, TRA). En la Tabla 1 se puede observar, para cada tipología de vía urbana, distintos tipos de soluciones para el proyecto de plataformas de BRT.

En el caso de avenidas con más de 40 metros de anchura entre fachadas es el único caso en que es posible disponer con comodidad de una plataforma central del autobús con andenes laterales. En este caso se garantiza una mayor independencia de la circulación del autobús respecto al resto del tráfico (y de la carga y descarga) y se pueden alcanzar velocidades comerciales similares al tranvía, favoreciendo el acceso de los coches a los edificios y aparcamientos y permitiendo con comodidad los giros a la derecha (eventualmente también los giros a la izquierda mediante rotundas o apartaderos en la propia plataforma exclusiva de autobús). Esta es claramente una muy buena solución para la ubicación de una plataforma reservada, aplicada en numerosas redes de metro ligero y en distintos sistemas rápidos de autobús (Estocolmo, Transmilenio en Bogotá, Curitiba, TVM en París...).

La plataforma central, en el caso de que se trate de autobuses rápidos, debe ofrecer como mínimo una anchura de 6,40 metros en una vía urbana, que permite la circulación segura a 50 km/h, aunque es recomendable disponer 7 m, si es posible: este es el ancho del sistema Trans Val-de-Marne, por ejemplo. En caso de circular a más de 60 km/h será imprescindible esta última anchura. La instalación de elementos separadores centrales (bolardos, medianas) puede ayudar a conseguir una buena protección ante colisiones frontales, aunque exigirá una cierta anchura adicional. Para sistemas en plataforma reservada que no se basan en el autobús, como los sistemas guiados, pueden conseguirse anchuras de plataforma incluso menores, ya que no existen movimientos laterales imprevistos: por ejem-

ple, los sistemas de Nancy (carril central) o Rouen (guiado óptico) requieren 6,40 m de anchura efectiva de plataforma, y otros sistemas incluso pueden adaptarse a anchuras menores de 6 m, como el autobús guiado por bordillo de Leeds. Con el esquema anterior de plataforma central, para la circulación de automóviles se dispone en cualquier caso de dos carriles por sentido, que pueden ser hasta tres en caso de que los carriles bus sean laterales. Las aceras alcanzan entre 7,5 y 8 metros de anchura, lo que puede incluir perfectamente un carril bici.

Para calles de unos 30 metros de anchura entre fachadas puede ser más conveniente disponer de plataformas en un solo sentido a ambos lados, pero ya no de una plataforma central con sus andenes para paradas. La anchura de plataforma simple en este caso debe ser del orden de los 3,5 m para autobuses (algo menores para otros sistemas guiados), especialmente si existen elementos separadores. Con los carriles bus laterales, para la circulación de vehículos se dispondría de dos carriles por sentido y una acera de 5,5 metros. Es una solución clásica para la mayoría de ciudades españolas, pero que adquiere su mayor potencia cuando la plataforma se encuentra protegida y se opera mediante un sistema de Autobús Rápido (BRT) o un sistema guiado.

En el caso de calles con sólo 20 metros de anchura entre fachadas es conveniente insertar solamente un carril bus junto a la acera, aprovechando la parada en la propia acera (figura 5.2.7.), quedando todavía dos cómodos carriles para la circulación en un sentido de vehículos más las dos aceras de 5,5 metros.

#### *Plataformas reservadas en los accesos a las ciudades*

Un caso particular de plataformas no tranviarias es el de las plataformas reservadas en los accesos a las grandes ciudades (en algunos casos denominados carriles bus-VAO). El caso más conocido en nuestro país es el de la N-VI en la entrada a Madrid, donde se dispone de una plataforma central destinada a autobuses y vehículos de alta ocupación. La plataforma actual tiene anchura variable entre uno y dos carriles, según la disponibilidad de espacio que se obtuvo en su momento.

Actualmente, el Ministerio de Fomento tiene en proyecto o estudio distintas plataformas reservadas

en los accesos a grandes ciudades, principalmente Madrid y Barcelona. Dichas plataformas, inicialmente destinadas a autobuses, se caracterizan por poseer un acceso directo a intercambiadores mediante los cuales es posible transbordar a otros medios de transporte colectivo. De este modo, se pretende que el autobús sea un medio de transporte competitivo para resolver la creciente movilidad entre coronas metropolitanas cada vez más lejanas y el centro de las ciudades.

Las principales soluciones planteadas para este tipo de plataformas en los accesos son las que se exponen en la Tabla 1. Según se comprueba a partir de la tabla, para los accesos a las grandes ciudades se plantean soluciones distintas a las que se han expuesto anteriormente para medio urbano. Cada una de ellas depende de las características del acceso en cuestión: espacio disponible en el tronco central, existencia de vías de servicio, espacio disponible entre la calzada central y las vías de servicio (tercianas), etc. También depende la solución del tipo de servicio de transporte público que se debe ofrecer: necesidad de paradas frecuentes, velocidad comercial requerida, servicio a las poblaciones de los márgenes, etc.

#### *Giros y cruces*

Por lo que respecta a los giros, el parámetro principal es el radio, aunque existen otros parámetros importantes, como los que definen las curvas de transición. En zona urbana suelen existir limitaciones del radio de giro en los cruces donde hay un cambio de dirección. Cuanto mayor sea el radio, mayor será la velocidad de circulación posible y el confort de la marcha.

Para establecer una magnitud de referencia, puede indicarse que en el caso de los tranvías los radios menores de 30 metros no suelen ser recomendables en condiciones operativas. Es cierto que la mayoría del material móvil que actualmente se comercializa está preparado para circular por curvas con radios mínimos de 20 a 25 metros; sin embargo, los inconvenientes que estos trazados presentan en cuanto a limitación de la velocidad, desgaste rueda-carril y emisión de ruidos y vibraciones, obligan a considerarlos como casos excepcionales dentro de la normalidad del trazado, que debería diseñarse con radios de al menos 30 o 40 metros.

Tabla 1. Inserción de la plataforma según la tipología del sistema y la anchura de las calles

Casos de inserción de plataformas según la anchura de las vías urbanas				
Anchura de calle entre fachadas	Plataforma de tranvía	Vehículos y Aparcamiento	Aceras y Bicicletas	Tipo de solución
≥ 40 m	1 x 12,5 m 1 x 11/12 m	2 x 6 m 2 x 8 m	2 x 7,75 m 2 x 6/6,5 m	Plataforma central con andenes laterales. Sin aparcamiento. Plataforma central con andenes centrales. Con aparcamiento.
30 m ≥ ≥≥≥≥≥≥≤≤≤≤≥	1 x 11/12 m 1 x 11/12 m	2 x 5 m 2 x 6 m	2 x 4/4,5 m 2 x 3/3,5 m	Plataforma central con andenes centrales. Con aparcamiento. ≥≥ Plataforma central con andenes centrales. 2 carriles de circulación por sentido.
20 m	1 x 9,5 m 1 x 11/12 m 1 x 3,5 m	1 x 3 m 1 x 6 m	2 x 3,25 m 2 x 4/4,5 m 2 x 5,25 m	Plataforma junto a acera. 1 único carril de circulación. Plataforma sin circulación de tráfico. Plataforma junto a acera. Vía única.

Casos de inserción de autobuses en plataforma reservada (BRT) según la anchura de las vías urbanas

Anchura de calle entre fachadas	Plataforma de tranvía	Vehículos y Aparcamiento	Aceras y Bicicletas	Tipo de solución
≥ 40 m	1 x 12 m 2 x 3,5 m	2 x 6 m 2 x 9 m	2 x 8 m 2 x 7,5 m	Plataforma central con andenes laterales. 2 carriles de circulación por sentido. Carriles bus laterales. 3 carriles de circulación por sentido.
30 m ≥	2 x 3,5 m	2 x 6 m	2 x 5,5 m	Carriles bus laterales. 2 carriles de circulación por sentido. ≥≥
20 m	1 x 3,0 m	1 x 6 m	2 x 5,5 m	Carril bus lateral. 2 únicos carriles de circulación.

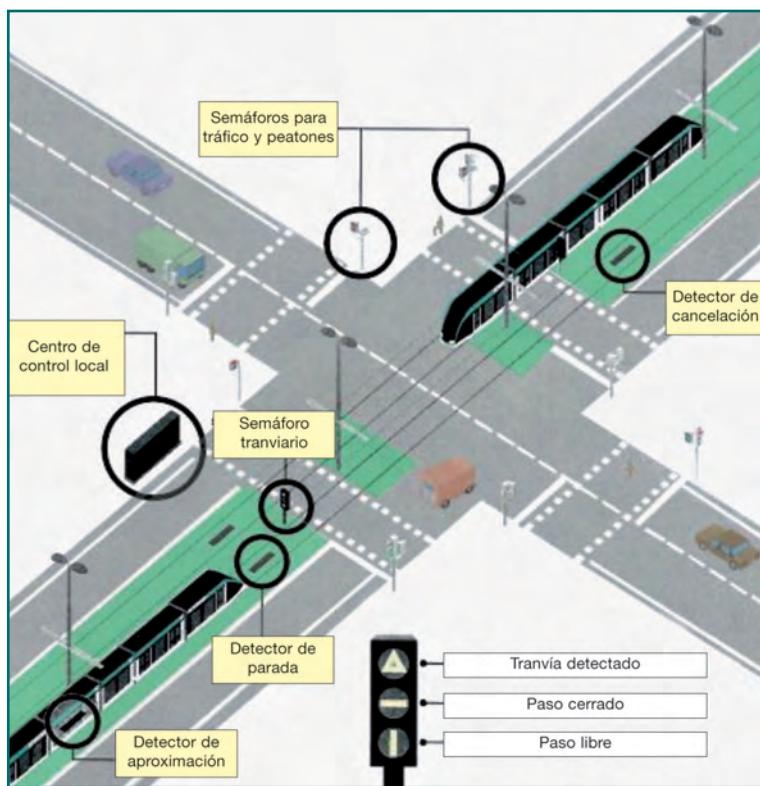
Tipos de plataformas en los accesos a las grandes ciudades

	Anchura útil	Indicaciones
Plataforma independiente	10 -12 m	-Existencia de espacio suficiente alrededor del acceso.
Plataforma central	9 -10 m	-Ausencia de paradas. -Entradas y salidas limitadas.
Plataforma en doble sentido por una terciana	9 -10 m	-Concentración de población y actividades a un solo lado del acceso. -Vía de servicio única.
Plataforma de sentido único por cada terciana	4 - 6,5 m	-Necesidad de paradas ocasionales. -Necesidad de entradas y salidas avías de servicio.
Carril bus para cada vía de servicio	4 - 5 m	-Necesidad de paradas frecuentes. -Escasas entradas y salidas.

Existen, eso sí, giros tranviarios con radios de giro de por ejemplo sólo 20 metros, incluso de 18 m, pero suelen deberse a requerimientos excepcionales, y en cualquier caso no son recomendables en condiciones normales de explotación: estos radios se permiten por ejemplo en los accesos a talleres y cocheras. En el trazado general se desaconsejan completamente, debido a la falta de confort por la drástica disminución de la velocidad máxima a sólo 25 km/h, también por el elevado desgaste de la vía y el vehículo, y por la contaminación acústica en el entorno debido al rozamiento rueda-carril. Los estudios comparativos realizados indican que, para conseguir velocidades de circulación máximas habituales en una plataforma reservada de tipo urbano, esto es, alrede-

dor de los 60 km/h, cuando no existe peralte es necesario disponer de radios de giro entre 200 y 400 m. La variación entre los distintos radios mínimos permisibles depende siempre de las condiciones de confort que se desee aceptar (ya que en los tranvías urbanos las condiciones de seguridad son menos limitativas), es decir, si se adoptan aceleraciones laterales sin compensar de 1 m/s<sup>2</sup>, o las más habituales de 0,65 – 070 m/s<sup>2</sup>.

La limitación de radio de giro es menos estricta en el caso de los nuevos sistemas guiados no ferroviarios (tipo Civis, Stream, GLT, Translohr, Spurbus...), o los sistemas guiados sin contacto (por ejemplo el guiado óptico), ya que el radio mínimo de estos sistemas se sitúa entre el de un tranvía y un autobús: unos 12 metros.



La optimización de los cruces es un elemento básico para conseguir un buen nivel de servicio en un sistema con plataforma reservada. En la figura puede apreciarse el esquema tipo de un cruce semaforizado (Fuente: Asociación para la promoción del transporte público de Barcelona).

Debe indicarse aquí que como regla de buena práctica es necesario limitar al máximo los giros a la izquierda del tráfico que circula en paralelo al tranvía: estos giros son una fuente de problemas, debido a que introducen una fase semáfora adicional y sobre todo por el peligro de colisiones entre los automóviles y el tranvía o vehículo de plataforma reservada. Si no puede evitarse su implantación, en los casos que existan, deben encontrarse perfectamente señalizados. Una solución a los giros a la izquierda son las rotundas, en las que los cruzamientos son perpendiculares a las vías, y los automovilistas tienen una mejor visión de la situación del tranvía. Sin embargo, las rotundas exigen un cierto espacio que no siempre es posible habilitar en los cruces, ya que el radio mínimo para que puedan girar los autobuses debe ser de 8 metros. En caso de ser necesario estacionar en su interior un vehículo tranviario sin afectar a la circulación, la rotonda deberá tener un diámetro mínimo superior a la longitud de dicho vehículo.

Para una eficiente circulación, y con el fin de ser competitivo, el transporte público urbano de superfi-

cie debe disponer de prioridad sobre el tráfico privado: éste es un requisito que cumplen los sistemas en plataforma reservada. En el caso del tranvía, ello es posible mediante la segregación de la plataforma tranviaria respecto al resto del tráfico, que suele ser el caso habitual de los modernos tranvías. Sin embargo, existen movimientos transversales del tráfico en la ciudad que exigen cruces a nivel, en los cuales la plataforma reservada interrumpe su carácter segregado. En estos puntos, al igual que en los tramos de plataforma que sean compartidos con el tráfico, entre ambos carriles y a ambos lados de los mismos se dispone un revestimiento superficial similar al del resto de la calzada: desde el simple asfaltado hasta adoquines, pavimento de color, hormigón... Para facilitar el cruceamiento de cualquier tipo de vehículos, es importante que estos tramos cuenten con una colocación cuidadosa de los raíles, para evitar que sobresalgan o queden hundidos respecto al pavimento, así como impedir movimientos posteriores, garantizando al mismo tiempo que sean resistentes al paso del tráfico pesado. Tampoco deberán existir huecos entre los carriles y el pavimento, y se deberá garantizar más estrictamente la ausencia de pérdidas de corriente de retorno que en los tramos en plataforma reservada.

En el caso de disponer de una plataforma reservada para un Sistema Rápido de Autobús (BRT), la única diferencia de tratamiento es la referente a la ausencia de raíles, pero el resto de especificaciones debe cuidarse igualmente. Además, los BRT pueden incorporar, como elemento diferencial, algunas zonas de adelantamiento destinadas a la coexistencia de servicios directos y no directos con diferentes velocidades comerciales: en el caso de Transmilenio, en Bogotá, el carril de adelantamiento se sitúa junto a las estaciones.

### 3.3. **Implantación en alzado**

Los condicionantes que inciden en el diseño del perfil longitudinal de una plataforma reservada, especialmente si está dotada de vías, son fundamentalmente la adherencia rueda-carril, las condiciones de explotación, la potencia de los vehículos, el arranque en caso de parada o avería, el frenado y las condiciones de seguridad y las limitaciones estáticas y dinámicas.

Por lo que a las rampas se refiere (tramos en subida), aunque existen trazados de metro ligero en los cuales se dan pendientes de hasta el 10% (caso de Sheffield) o



superiores al 6% (caso del tranvía de Tenerife, con tramos del 8,5%), no es aconsejable plantearse desde un principio proyectos de tranvía con rampas superiores al 6-7%, y en tramos largos es conveniente limitarse al 4%, por los problemas de adherencia vía - vehículo. Rampas más pronunciadas se traducen en la necesidad de vehículos de mayor potencia y en general costes de operación más elevados derivados de un mayor consumo de energía; además, la mayor potencia de los motores comporta un mayor peso por eje y, en consecuencia, la necesidad de carriles más robustos, plataformas y obras de fábrica más resistentes, pero también puede aumentar los problemas de ruidos y vibraciones. En distintas ciudades se han adoptado además limitaciones más severas para las rampas en zonas de giros y de cruces, debido a la reducción de velocidad que suele requerirse en estas zonas. También existe una limitación de pendiente (normalmente del 2%) en los tramos con paradas.

En el caso de sistemas guiados no ferroviarios (tipo Civis, Stream, GLT, Translohr, Spurbus...), es posible superar rampas más pronunciadas, ya que la adherencia mediante neumáticos es similar a la de los autobuses, y por ello pueden superarse pendientes de hasta el 13%.

También suele ser necesario establecer una rampa mínima transversal o longitudinal asociada a un buen drenaje superficial. Según datos de la UITP, distintas ciudades han definido valores en torno a 10 o 15 milésimas, o incluso un mínimo de 5 milésimas. Son valores por tanto similares a las secciones transversales de las calzadas o plataformas, que en este caso

En los sistemas con contacto rueda-carril no es aconsejable plantearse rampas superiores al 6-7%, y en tramos largos es conveniente limitarlas al 4%, por los problemas de adherencia vía - vehículo.

se aplican al trazado longitudinal de la vía. En el caso de secciones en túnel, se consideran suficientes 2,5 milésimas a ambos lados del punto de recogida o divisoria de aguas.

En el caso de los giros, en tramos interurbanos resulta una buena práctica la disposición de peralte, mediante la sobreelevación del carril externo al giro. En tramos urbanos los giros suelen coincidir con los cruces, con lo cual no es recomendable disponer peralte, puesto que entorpecerían la circulación de vehículos y peatones. En cualquier caso, la sobreelevación está relacionada con la velocidad de circulación y la aceleración lateral permitida. Es decir, a mayor velocidad de circulación y menor peralte, mayor es la aceleración lateral que se obtiene. Según la UITP, es recomendable que la aceleración lateral, por motivos de confort de la marcha, no exceda de 1,0 m/s<sup>2</sup>. En este caso, mantener velocidades normales de circulación con radios de giro estándar puede requerir sobreelevaciones del orden de 150 mm. Normalmente, se establece que el valor del peralte no debiera exceder los 165 mm, y valores de 150 y 120 mm son usuales para reducir el impacto en el entorno. Para efectuar la transición entre la alineación horizontal y la sobreelevación máxima, suele adoptarse el parámetro de 4 mm de cota por metro de vía, aunque la disposición de curvas muy cercanas puede obligar a aumentar este valor.

En la implantación en alzado, también existen limitaciones operativas por lo que respecta a los acuerdos verticales del trazado. Por razones básicamente asociadas al confort de la marcha, no deben superarse unas curvaturas mínimas en los cambios de rasante y los puntos valle del perfil longitudinal. En general se recomienda que la curvatura mínima sea de 1.000 m.; ahora bien, como este parámetro está lógicamente relacionado con la velocidad de circulación, según la UITP se ha establecido una fórmula empírica que determina que el radio del acuedo vertical debe ser:  $K_v > 0,4 V^2$ , lo que, por ejemplo, para una velocidad de circulación máxima de 70 km/h requiere una curvatura no menor de 1.960 m. Curvaturas menores de 1.000 m requieren velocidades más moderadas, pero son las habituales en los proyectos de tranvía urbanos. La fórmula empírica anterior se basa en una aceleración vertical máxima (condiciones de confort) de 0,2-0,3 m/s<sup>2</sup>. Las longitudes de transición verticales suelen situarse entre 10 y 20 m.

Ciertamente, la inserción de la plataforma reservada en el viario y el entorno urbano puede llevar a acuerdos verticales de menores dimensiones. En Alemania se recomienda por ejemplo que los acuerdos en los cambios de rasante no sean menores de 625 m, mientras que en los puntos valle no deben diseñarse acuerdos menores de 350 m. Acuerdos más forzados requieren de una adaptación especial del material móvil, principalmente por lo que se refiere a las articulaciones.

Un aspecto a tener en cuenta son las limitaciones de gálibo vertical que puedan existir a lo largo del trazado, ya que pueden entrar en contradicción con la altura mínima de la catenaria, y exigir soluciones particulares u obras de fábrica. Sin embargo, por regla general el gálibo vertical para permitir el paso de un tranvía suele ser menor que el del tráfico rodado.

#### **4. Paradas y estaciones**

Las paradas son el punto de contacto habitual entre el servicio y el cliente del transporte y, por tanto, tienen una gran importancia para la percepción que el usuario tiene del transporte público urbano, en términos de comodidad, accesibilidad, limpieza, información, protección climatológica y diseño adecuado. En el caso de los sistemas de transporte en plataforma reservada, las paradas y estaciones adquieren especial significado, ya que por una parte son elementos fundamentales para la imagen "potente" que se desea para dichos sistemas y, por otra parte, se caracterizan normalmente por garantizar una accesibilidad a los vehículos sin desniveles; esto es, las paradas disponen casi siempre de andenes sobreelevados hasta la misma cota que la plataforma de los vehículos.

Su ubicación suele comportar unas interdistancias superiores a las paradas del autobús convencional, siendo habitual los 400 – 500 m entre las mismas (no sólo en los sistemas tranviarios: en el TVM de París mediante autobuses la media es de 540 m), con lo cual se puede aumentar la velocidad comercial del sistema; sin embargo, este parámetro puede variar según el tipo de tramo proyectado: centro, periferia, tramos interurbanos... Las paradas suelen localizarse cerca de los cruces, sobre todo en aquellos sistemas donde la plataforma reservada no debe ser cruzada con facilidad por los peatones. Es importante que,

en caso de disponer de plataformas de sentido único junto a las aceras, las paradas se sitúen inmediatamente después de los cruces, para orientar a los viajeros a realizar el cruce hacia la parte posterior de los vehículos (evitando así accidentes), y para no entorpecer los eventuales giros a la derecha de otros vehículos.

#### **4.1. Tipología**

Las paradas de los sistemas en plataforma reservada cuentan también con gran variedad de posibilidades, pero en el contexto de una inserción del trazado de la línea ciertamente más rígida que la de los autobuses. En general se suele tener que decidir entre paradas con andenes laterales y paradas con andenes centrales.

Como hemos visto en el capítulo anterior, la elección de andén central o lateral tiene un impacto limitado sobre la anchura total de plataforma tranviaria en la zona de parada (entre 11 m con andén central y 12,5 m. con andenes laterales). Además de las facilidades de inserción, el andén central también influye en el coste de obra civil y servicios afectados, que disminuye de forma apreciable.

La existencia en un mismo trazado de ambos tipos de paradas a la vez, exige que los vehículos tengan puertas en ambos lados, y por lo tanto los tranvías deberán ser reversibles o bidireccionales. Dado que por parte de los fabricantes es posible disponer tanto de modelos no reversibles (puertas a un solo lado y necesidad de giro en las terminales) como reversibles (puertas a los dos lados sin necesidad de girar en las terminales), ésta es una decisión fundamental desde el punto de vista de implantación urbana. En el capítulo sobre material móvil se tratará esta cuestión más a fondo.

Normalmente, en los sistemas en plataforma reservada asociados a vehículos autobuses, las paradas deben poseer andenes laterales, ya que las puertas de los autobuses se sitúan a la derecha. Sin embargo, algunos Sistemas Rápidos de Autobuses (BRT) como el Transmilenio de Bogotá, poseen paradas con andenes centrales, lo que exige autobuses con puertas a la izquierda.

En general, las paradas se diseñan para sistemas abiertos o semi-abiertos, donde es posible acceder a los vehículos sin barreras. En estos casos, se dispone de espacios abiertos y continuos entre la calle, el an-

dén y la plataforma del vehículo. Sin embargo, en algunas ciudades, como es el caso de Quito (Ecovía) o Curitiba se dispone de sistemas cerrados que requieren el diseño de las paradas con distintos espacios: el de recaudación y billeteaje, el hall de espera, y el de los tornos de salida.

#### 4.2. Dimensiones

La longitud de las paradas de los sistemas de plataforma reservada es muy variable dependiendo del tipo de redes y de sistemas. Incluso cuando se trata de sistemas tranviarios o metros ligeros, se mantiene la dispersión de medidas. En general, se suele considerar que la longitud óptima es unos 5 o 10 metros mayor que la máxima longitud de los vehículos. Dada la variedad de material móvil existente, se comprende que también existe una gran variedad de longitudes de estaciones: desde andenes de sólo 10 metros para tranvías antiguos o simples, a estaciones de más de 60 metros, aptas para acoger composiciones más largas. Una longitud de 30 a 40 m es la usual en muchas ciudades, porque permite acomodar vehículos en el entorno de los 30-32 metros de longitud, que es muy común en los nuevos sistemas tranviarios. Pero también existen muchas redes de tranvías o metros ligeros con estaciones de más de 60 m de longitud, lo que garantiza una elevada capacidad de transporte.

La longitud de las estaciones se encuentra normalmente condicionada por la inserción de las mismas en el entorno urbano. Es aconsejable disponer de estaciones de dimensiones constantes a lo largo del recorrido, aunque en tramos centrales donde coincidan varias líneas puede requerirse la disposición de estaciones con el doble de longitud que el resto. En cualquier caso es necesario un estudio en detalle de la inserción de las paradas o estaciones en el entorno urbano, con el fin de decidir las dimensiones óptimas de estas importantes instalaciones del sistema en plataforma reservada. Y también es recomendable diseñar las paradas y estaciones de forma que en el futuro su longitud pueda ser ampliada para acoger unidades acopladas o que dispongan de módulos adicionales, en caso de que el incremento de la demanda lo hiciera exigible. Una zona de reserva en las paradas hasta los 60 metros de longitud total sería altamente recomendable en cualquier nuevo sistema, independientemente de la longitud escogida para una primera fase de implantación.

En cuanto a la anchura de una parada de tranvía se recomiendan 2,5 metros útiles como mínimo. Las plataformas centrales serán como mínimo de 3 metros de anchura (4 m. recomendables). Estas dimensiones pueden incrementarse en las estaciones centrales del recorrido, o en aquellas donde el flujo esperado de viajeros lo justifique. La altura de plataforma sobre el carril se suele establecer en 25-35 cm, para permitir el acceso al vehículo al mismo nivel, ya que los vehículos de plataforma baja suelen tener una altura sobre carril a nivel de puertas de 300 mm. Esta cota es tan reducida que en la práctica, si el diseño del conjunto es adecuado, no presenta ningún problema de inserción de los andenes en la vía pública. En cambio, alturas superiores pueden comportar problemas importantes de inserción, y en general no se recomiendan andenes sobrelevados en medio urbano; por ello, en el caso del tren-tram, que a menudo tiene que adaptarse a andenes elevados en los recorridos ferroviarios, deberá estudiarse cuidadosamente cual es la mejor solución de proyecto para el conjunto de las estaciones urbanas y suburbanas.

Entre el nivel de la calle y el nivel de la plataforma de la parada (en caso de que esta no coincida con la propia acera) se disponen rampas de transición con parámetros de pendiente adaptados a personas de movilidad reducida, evitando los escalones. En cuanto a la disposición, a menudo se recomienda situar las paradas de los tranvías junto a los cruces, ya que de este modo los usuarios pueden acceder a los andenes desde los pasos de peatones.

La interdistancia entre paradas es superior a la de los autobuses: entre 400 y 500 m entre paradas de tranvías, frente a los 300 m de interdistancia media entre paradas de autobuses.

La localización de las estaciones también debe tener en cuenta la pendiente del trazado, ya que no es conveniente disponer andenes en rampas superiores al 2%, debido a las dificultades de acceso que presentan para los pasajeros y debido a factores de seguridad del frenado del vehículo. En caso de ser obligatoria su implantación, deberán preverse pavimentos antideslizantes y otras medidas en las plataformas de los andenes para favorecer la accesibilidad.

Con motivo de favorecer al máximo la accesibilidad, es necesario limitar los desniveles entre las estaciones y los vehículos; esta exigencia suele ser ya obligada en cualquier tipo de sistema de transporte en plataforma reservada de calidad. Por ejemplo, es deseable





El diseño innovador de las estaciones del autobús en plataforma reservada (en la foto Curitiba, en Brasil) han marcado un hito en cuanto a las posibilidades de mejora de la funcionalidad en este modo de transporte.

que la altura de la plataforma del vehículo se encuentre al mismo nivel que los andenes de las estaciones.

#### 4.3. Equipamiento

Las paradas de los metros ligeros cuentan hoy en día con todo tipo de equipos para la asistencia e información al usuario: marquesinas, máquinas expendedoras de billetes, planos y carteles informativos, televíndicadores para la comunicación de incidencias y tiempos de espera, información en tiempo real, interfonía con el centro de control, etc. Las paradas de otros sistemas en plataforma reservada, guiados o no, deben contar con equipamientos parecidos, y por tanto, deben poseer una imagen y prestaciones superiores a las paradas de autobús. Así sucede con distintos sistemas rápidos de autobuses: el TVM en París, el Transmilenio en Bogotá, Curitiba y Porto Alegre, etc.

Las máquinas de autoventa de títulos de transporte constan de una pantalla (a menudo táctil) donde es posible visualizar distintos menús de ayuda al usuario. Entre las informaciones que se ofrecen hay paneles interactivos con el tipo de título, el número de unidades a adquirir, el número de zonas o características tarifarias, etc.

Las pantallas informativas suelen contener la información típica asociada a los Sistemas de Ayuda a la Explotación e Información, de gran utilidad para el usuario: hora de llegada del próximo vehículo, próximas paradas, incidencias, hora y temperatura... Los paneles informativos estáticos contienen mapas con la posición de la parada actual y las paradas de toda

la línea, la conexión con otros sistemas de transporte, los títulos de viaje disponibles y sus precios, el reglamento de viajeros, y otras informaciones útiles. Existe eventualmente en las paradas un dispositivo de emergencia (normalmente un interfono) mediante el cual el usuario puede comunicarse con el centro de control e intercambiar información.

#### 5. Conclusión. Inserción en el entorno urbano, una oportunidad para la regeneración urbanística

La implantación de un sistema de tranvía o metro ligero acompañada de una operación en paralelo de regeneración urbanística del entorno es un concepto relativamente moderno. Si bien durante el siglo XIX los trazados del ferrocarril y del tranvía venían acompañados de una urbanización a lo largo de los ejes del tendido ferroviario, se trataba en dicho caso de una urbanización ex novo, una ampliación de la ciudad existente impulsada por la mejora de la accesibilidad de los terrenos por donde pasaba el nuevo sistema de transporte.

El concepto que se plantea en las últimas décadas tiene que ver con la inserción del trazado tranviario o del sistema en plataforma reservada en tramas urbanas degradadas o desestructuradas, donde el nuevo sistema de transporte provoca un vuelco en la situación existente del entorno y moviliza una operación de regeneración urbana donde el tranvía es sólo una parte de un programa de actuación más amplio.

El primer ejemplo de una actuación en este sentido fue el de la ciudad francesa de Grenoble, una típica ciudad de provincias que introdujo una línea de tranvía a través de su centro histórico, dotado de calles estrechas y una estructura poco adaptada al tráfico. Para implantar el nuevo sistema de transporte público, el automóvil fue vedado y el centro de la ciudad fue tomado por peatones y ciclistas y, claro está, el nuevo tranvía. Este concepto de centro peatonalizado y con transporte público era novedoso en la década de los ochenta del pasado siglo, pero el éxito de Grenoble motivó a muchas otras ciudades francesas, como Estrasburgo, y de otros países (como el ejemplo de Valencia en España), a reintroducir el tranvía como elemento básico de la movilidad urbana y de la mejora urbanística de sectores urbanos en regresión.

En otras ocasiones los tranvías han servido de elemento sustitutivo a líneas de ferrocarril obsoletas situa-

La implantación de un sistema en plataforma reservada es una oportunidad única para realizar en paralelo la regeneración urbanística del entorno.



das en el núcleo de las ciudades, como es el caso de Manchester, o la misma Valencia. El ferrocarril en cierto momento ha llegado en estas ciudades a ser más un problema que una solución a las necesidades de movilidad, ya que puede llegar a ejercer un fuerte efecto barrera (debido a la necesaria protección de un trazado ferroviario convencional), puede comprometer gravemente la seguridad del entorno, genera problemas de tráfico, ruidos y vibraciones, y en definitiva, contribuye a la degradación urbanística típica de algunas zonas urbanas situadas en los bordes del ferrocarril. El tranvía que lo sustituye por el mismo trazado, es capaz de ofrecer mucha mayor accesibilidad (más estaciones, plataforma baja), una rapidez razonable (derivada de la prioridad semafórica), me-

nor siniestralidad, una buena integración urbana y con el tráfico transversal, mayor seguridad y permeabilidad total a ambos lados de la vía.

En cualquier caso, las mejoras urbanísticas de las zonas situadas alrededor de una línea de tranvía siempre han sido evidentes. Por una parte, debido a la propia inversión asociada a la construcción de la plataforma reservada y la urbanización de su entorno, que comporta la renovación total de aceras, alcantarillado, iluminación y mobiliario urbano. Por otra parte, por la inversión privada que se moviliza ante una mejora de la imagen y de accesibilidad de las avenidas por donde pasa el nuevo sistema. En el caso de Londres, con el tranvía de Croydon se estima que el valor del suelo alrededor de la línea se ha revalorizado entre un 5 y un 25% más por efecto del sistema en plataforma reservada. El atractivo para la inversión se traduce en un incremento de la oferta residencial y terciaria: en Barcelona se ha asociado al tranvía el desarrollo de unos 116.000 m<sup>2</sup> de suelo residencial y 57.000 m<sup>2</sup> de terciario.

El grado de incidencia del nuevo sistema de transporte sobre el entorno urbano se traduce directamente en inversión. Normalmente, cuanto mayor es la mejora y transformación del entorno, mayor es la inversión que es necesario efectuar. Aunque, incluso en el caso de transformaciones potentes, las inversiones pueden variar enormemente: por ejemplo, la Ecovía de Quito requirió menos de 1 millón de € por kilómetro, mientras que el Transmilenio de Bogotá supuso más de 4 M€/km, y distintos metros ligeros de ciudades europeas requieren de 5 a 15 M€/km.

## 6. Agradecimientos

Los autores agradecen al Consorcio Regional de Transportes de Madrid el material gráfico y la información para la redacción del artículo. ♦

### Referencias:

- CEMT (2002). Implementing sustainable Transport Policies: Key messages to governments. European Conference of Ministers of Transport.
- Hass-Klau, C. Crampton, G and Benjari, R. (2004). Economic Impact Of Light Rail. Environmental and Transport Planning.
- "Manual sobre Toma de Decisiones y participación pública. Proyecto Europeo Guidemaps. 2004". [www.guidemaps.info](http://www.guidemaps.info)
- PTP (Asociación para la promoción del transporte público). Jornadas internacionales Tranvía y Ciudad. Barcelona, 2004.
- UITP (2003). Guidelines for selecting and planning a new light rail system.
- Vuchic, Vukan R. (2005). Urban Transit: Planning, Operations and Economics. Wiley Press.
- Zamorano, C. Bigas, J.M. Sastre, J. (2004). Manual para la planificación, financiación e implantación de sistemas de transporte urbano. Consorcio de Transportes de Madrid. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Zamorano, C. Bigas, J.M. Sastre, J. (2006). Manual de tranvías, metros ligeros y sistemas en plataforma reservada. Diseño, proyecto, financiación e implantación. Consorcio de Transportes de Madrid. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.