



FICHAS TÉCNICAS

PAVIMENTOS DE HORMIGÓN PARA PLATAFORMAS RESERVADAS DE AUTOBUSES

1. INTRODUCCIÓN

El gran desarrollo experimentado en la segunda mitad del siglo XX, lo que se ha dado en llamar segunda revolución industrial, fundamentalmente liderado por las comunicaciones y la informática, supondrá, en los próximos años, un gran reto para todos los países del mundo, a fin de garantizar el suministro energético necesario para mantener los niveles alcanzados y futuros y de resolver los problemas de movilidad que se presentan en muchas de las ciudades y vías de comunicación.

En cuanto a la movilidad, el crecimiento masivo, durante esos años, del número de vehículos privados y el desarrollo del transporte público de autobuses, llevaron a eliminar, en muchas ciudades, los sistemas de transporte público que compartían el viario con los coches y presentaban cierta rigidez, como eran el tranvía y el trolebús.

Como consecuencia de esto, las opciones de transporte público, tanto urbano como interurbano, se redujeron considerablemente, quedando, para el primero de los casos, el metro y el autobús urbano y para el segundo, el ferrocarril suburbano y el autobús interurbano, de manera que los sistemas ferroviarios iban sobre infraestructura propia e independiente y los autobuses sobre infraestructura compartida con el automóvil, lo que les permitía obtener a los primeros una mayor velocidad y capacidad de transporte de viajeros.

Este esquema empezó a romperse en las ciudades en las que, durante esos años, se había mantenido el tranvía, como es el caso de muchas en Alemania, en las que se decidió apostar firmemente por este medio de transporte público, pero proporcionándole una plataforma reservada para circular, separada del vehículo privado, a fin de mejorar su capacidad, velocidad y su calidad de transporte, naciendo así lo que conocemos hoy en día como metro ligero o tranvía moderno.

2. MOVILIDAD Y SOSTENIBILIDAD

Movilidad y sostenibilidad son conceptos intrínsecamente ligados. Una mejora en la movilidad de una ciudad determinada, como consecuencia de la disminución del número de automóviles privados (por limitación de uso o por disponer de un sistema de transporte público de calidad), supone una reducción tanto del consumo energético como de las emisiones contaminantes, por pasajero transportado. Además, esa mejora de la movilidad supone una mayor sostenibilidad en términos sociales y un aumento de la calidad de vida para los ciudadanos de esa ciudad.

Los problemas de movilidad, que se están dando en la mayoría de las grandes y medianas ciudades, han llevado a éstas a apostar por un modelo más sostenible y equilibrado, basado en una mejor planificación territorial, en una oferta de sistemas de transporte público de alta calidad y en una limitación de uso del vehículo privado, junto con fuertes peatonalizaciones y la promoción del uso de la bicicleta.

En cuanto a los problemas de sostenibilidad, la solución comúnmente aceptada pasa por una combinación de **ahorro en el consumo** y de **diversificación de las fuentes de energía**.

El sector transportes, uno de los grandes consumidores de energía, está experimentando importantes avances en materia de diversificación energética con el desarrollo de los motores de gas natural, de los motores híbridos, de los vehículos eléctricos y de los de hidrógeno. Este desarrollo, aunque lento hasta ahora, se está aplicando ya en vehículos de transporte público tanto en España como en el resto del mundo y muy probablemente aumentará con el incremento del precio del petróleo.

En cuanto al ahorro energético en el sector del transporte, éste pasa, además de por el desarrollo de motores más eficientes y de menor consumo, por el trasvase de mercancías de la carretera al ferrocarril y de viajeros del automóvil al transporte colectivo, mejorando así la movilidad en las carreteras y ciudades.

Todas estas medidas, además de suponer una mejora en la movilidad y un ahorro energético, permiten la **reducción de la contaminación atmosférica**, que es uno de los retos más importantes que tiene planteados la sociedad actual. Esta contaminación atmosférica afecta principalmente a las áreas urbanas, donde el aumento de la población y de la motorización ha sido muy importante en las últimas décadas y lo va a seguir siendo en las próximas, según se recoge en los datos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Evolución 1950-2030 de la población total, rural y urbana

(Fuente: United Nations Population Division, World Urbanization Prospects, The 2005 Revision)

Año	Población rural (miles de millones)	Población urbana (miles de millones)	Población total (miles de millones)	Regiones desarrolladas		Regiones no desarrolladas	
				Población rural (miles de millones)	Población urbana (miles de millones)	Población rural (miles de millones)	Población urbana (miles de millones)
1950	1,80	0,74	2,54	0,39	0,43	1,41	0,31
1955	1,92	0,85	2,77	0,38	0,48	1,53	0,37
1960	2,04	1,00	3,03	0,38	0,54	1,66	0,46
1965	2,18	1,16	3,34	0,37	0,60	1,81	0,56
1970	2,37	1,33	3,70	0,36	0,65	2,01	0,68
1975	2,56	1,52	4,08	0,35	0,70	2,21	0,82
1980	2,71	1,74	4,45	0,34	0,74	2,37	1,00
1985	2,87	1,99	4,86	0,33	0,78	2,53	1,21
1990	3,02	2,27	5,29	0,33	0,82	2,69	1,46
1995	3,16	2,56	5,72	0,33	0,85	2,84	1,71
2000	3,27	2,85	6,12	0,32	0,87	2,95	1,98
2005	3,35	3,16	6,51	0,32	0,90	3,03	2,26
2010	3,41	3,49	6,91	0,31	0,92	3,10	2,57
2015	3,45	3,84	7,30	0,30	0,95	3,15	2,90
2020	3,46	4,21	7,67	0,28	0,97	3,18	3,24
2025	3,43	4,58	8,01	0,26	0,99	3,16	3,59
2030	3,35	4,97	8,32	0,25	1,02	3,11	3,95

3. SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

Debido a ese gran crecimiento de población y motorización en las áreas urbanas, es fundamental en las mismas la planificación y desarrollo de sistemas de transporte público que resulten atractivos para los ciudadanos, incluso más que el vehículo particular, a fin de contribuir a la movilidad, al ahorro energético, a la reducción de emisiones y a la habitabilidad de las ciudades. Esto sólo se puede conseguir si el transporte público es capaz de proporcionar al mismo tiempo y sin menoscabo de ninguna de ellas, las siguientes ventajas respecto al vehículo privado: **rapidez**, es decir, que permita realizar el trayecto en menos tiempo que con dicho vehículo privado; **fiabilidad**, en cuanto a puntualidad, mínima afectación al usuario por mantenimiento, averías, etc.; y **calidad**, en lo que se refiere a instalaciones, material móvil, personal, etc.

Para el transporte público urbano e interurbano se dispone de diversas soluciones todas ellas muy conocidas en España, como son el metro, el ferrocarril de cercanías, los tranvías y metros ligeros y los autobuses. Es obvio que las dos primeras son las más adecuadas para altos niveles de demanda, pero sus elevados costes de construcción así como de explotación y mantenimiento, y su largo plazo de ejecución, hacen que las opciones en superficie se estén imponiendo en muchas ciudades.

Si bien en los años 50 del siglo pasado ya era conocido que los sistemas de transporte público más rápidos y de mayor capacidad eran los ferroviarios, se tenía la idea de que lo eran gracias a la tecnología del material móvil. Años más tarde y gracias a la experiencia de países en los que todavía subsistían algunos tranvías, surgió un nuevo enfoque llegando a la conclusión, ampliamente probada y conocida hoy en día, de que la principal característica diferenciadora es el grado de independencia o de separación entre las infraestructuras del transporte colectivo y las utilizadas por el resto del tráfico, es decir, que dichos sistemas de transporte colectivo cuenten con **plataformas reservadas**.

Dentro de los transportes públicos en superficie, los tranvías y metros ligeros suelen ser de plataforma reservada, mientras que los autobuses en las ciudades, a pesar de disponer de sus propios carriles, los carriles bus, suelen sufrir frecuentes interferencias de vehículos privados y del tráfico viario, por lo que, en la mayoría de ocasiones, no pueden proporcionar al usuario las ventajas de rapidez, fiabilidad y calidad, antes mencionadas.

Realmente, en superficie, sólo los sistemas de transporte en plataforma reservada pueden competir con el vehículo privado en cuanto a las ventajas citadas. En lo que se refiere a la rapidez, el disponer de una plataforma reservada garantiza un espacio propio para el transporte público, que lo independiza del tráfico. Además, mediante un sistema de prioridad semafórica en los cruces, el transporte público en plataforma reservada puede alcanzar velocidades superiores a las del tráfico privado, disminuyendo así los tiempos de viaje, lo cual es automáticamente percibido por el viajero. En cuanto a la fiabilidad, la no dependencia del tráfico viario permite también a los sistemas de transporte en plataforma reservada cumplir sus horarios. Estas ventajas de rapidez y fiabilidad, unidas a un material móvil y a

unas instalaciones modernas y diseñadas específicamente para proporcionar un buen servicio, hacen que la calidad del transporte público sea elevada.

Fue este planteamiento de los modos de transporte público lo que llevó primero a desarrollar los metros ligeros o tranvías modernos y, posteriormente, en ciudades en vías de desarrollo con escasos recursos económicos, a implementar con autobuses convencionales lo que se estaba haciendo con los nuevos sistemas de tranvía o metro ligero, es decir, construir plataformas reservadas para los autobuses.

Desde el punto de vista de la plataforma, cabe diferenciar tres niveles o categorías de independencia de ésta respecto del resto del tráfico, tanto rodado como peatonal, que son las siguientes:

- **Categoría A: Plataforma independiente o completamente segregada.**

Es aquella en la que no existen cruces a nivel, tanto con el tráfico peatonal como con el rodado, y por tanto es completamente independiente del tráfico. El trazado puede ser en túnel, viaducto o superficie. En algunos casos excepcionales pueden existir cruces a nivel, aunque suficientemente espaciados y protegidos por medio de señales o barreras, de manera que tengan una escasa incidencia sobre el funcionamiento del transporte. Estos sistemas son llamados de transporte masivo por su gran capacidad. Ejemplo de estos sistemas son el metro y el ferrocarril de cercanías.

- **Categoría B: Infraestructura parcialmente controlada o plataforma reservada.**

Son aquellos casos en los cuales el sistema de transporte colectivo está separado físicamente del resto del tráfico, pero existen cruces a nivel, tanto con vehículos como con peatones, y por tanto, intersecciones. Esta separación física se puede conseguir mediante bordillos u otros elementos o mediante elevación de la plataforma respecto del resto del viario. También se suele recurrir a colorear la plataforma con un color distinto al del resto del viario. Se pueden implantar con infraestructura independiente (necesariamente en los tranvías y metros ligeros, por ejemplo) o aprovechando la infraestructura existente (por ejemplo, las líneas de autobuses que pueden circular por un carril ya existente, simplemente aislando éste del resto del tráfico). Estos sistemas son también conocidos como de capacidad intermedia.

- **Categoría C: Infraestructura en viario compartido o sin reserva.**

Es aquella infraestructura en vías públicas en las cuales el transporte colectivo convive con el resto del tráfico viario, aunque pueda tener cierto tratamiento preferencial, como son los carriles bus.

Es evidente que los modos de transporte cuya infraestructura tenga un mayor grado de independencia respecto del resto del tráfico viario ofrecerán mejor servicio y una mayor capacidad de transporte de viajeros. No obstante, en la planificación de un modo u otro de transporte colectivo, las administraciones deben valorar los costes de transporte por viajero, siendo también evidente la gran diferencia en cuanto a costes de construcción, implanta-

ción y explotación de los sistemas sobre carril frente a los mismos costes de los sistemas sobre neumáticos. Estos últimos pueden ser entre 2 y 10 veces menores que los primeros, en función del grado de independencia de la plataforma de los sistemas sobre carril.

En los últimos años se ha puesto de manifiesto que los sistemas basados en el autobús, siempre que éste circule sobre una plataforma reservada, pueden alcanzar los niveles de funcionalidad y calidad de servicio de los sistemas ferroviarios, excepto en casos extremos. Incluso, si se comparan estos sistemas de autobuses sobre plataforma reservada con sistemas como el tranvía o los metros ligeros, aquéllos pueden resultar aún más versátiles ya que, por ejemplo, ante una avería de un vehículo que pueda quedar obstaculizando la plataforma, los autobuses pueden adelantar a dicho vehículo averiado, bien por la propia plataforma o bien saliendo de la misma y circulando junto al resto del tráfico, e incorporándose de nuevo a la plataforma, tras el adelantamiento, por las zonas dispuestas para tal fin.

Estas razones económicas y de funcionalidad han llevado a que en muchas ciudades se implanten estos sistemas de autobuses como propuesta innovadora de infraestructura y no sólo con plataforma reservada, sino incluso con plataforma independiente.

En la Tabla 2 se recogen los diferentes modos de transporte público en función del nivel o categoría de independencia de la plataforma y de la tecnología del material móvil.

Tabla 2: Clasificación de los modos de transporte público urbano en función de la categoría de la infraestructura y de la tecnología del material móvil

(Fuente: Carlos Cristóbal Pinto. Consorcio Regional de Transportes de Madrid)

Clasificación de los modos de transporte público urbano				
Nivel de independencia de la infraestructura	Tecnología del material móvil			Capacidad de oferta en hora punta (1)
	Modos conducidos	Modos guiados		
		Sobre neumáticos	Sobre neumáticos	
Categoría A	- Autobús con viario independiente (BRT) (2)	- Metro con neumáticos - Monorraíl - Metro guiado automático	- Metro ligero rápido - Metro convencional	6.000 - 60.000
Categoría B	- Autobús en plataforma reservada (BHLS) (3)	- Autobús/trolebús guiado - Tranvía sobre neumáticos	- Metro ligero o tranvía moderno (LRT)(4)	2.000 - 6.000
Categoría C	- Autobús normal - Autobús exprés	- Trolebús	- Tranvía	1.000 - 2.000

(1) 3 viajeros de pie/m² en autobús, 3,5 en metro ligero y 4 en metro convencional.
 (2) BRT: Bus Rapid Transit.
 (3) BHLS: Buses with a High Level of Service.
 (4) LRT: Light Rail Transit.

4. PLATAFORMAS RESERVADAS PARA AUTOBUSES O TROLEBUSES

4.1. Origen e implantación

Como ya se ha mencionado anteriormente, en ciudades con gran densidad de tráfico el transporte público en autobús sólo puede ser competitivo frente al vehículo privado si circula en plataforma independiente o reservada.

Las plataformas reservadas para el transporte público de autobuses, conocidas más tarde por las iniciales inglesas BRT (Bus Rapid Transit) o BHLS (Buses with a High Level of Service), y no hace mucho en España por las iniciales TVR (Transporte en Vía Reservada), se empezaron a desarrollar a principios de los años 70 del siglo pasado, siendo la primera experiencia conocida en el mundo la de Curitiba en Brasil, que data del año 1972.

A partir de esa primera realización brasileña, este modo de transporte experimentó un importante crecimiento. A ella se le unieron otras en ese mismo país y en otros como Ecuador, Colombia y Estados Unidos, existiendo, a fecha de marzo de 2007, más de 45 ciudades en los cinco continentes, en las que se había implementado este sistema de transporte. Además, en esa misma fecha, muchas otras ciudades disponían de tramos en fase de construcción o de planificación.

Así pues, en los últimos años, muchas ciudades en el mundo están apostando decididamente por este sistema de transporte, debido a su versatilidad, capacidad, velocidad, menores costes de construcción y explotación frente a otras soluciones en competencia y sostenibilidad.

4.2. Características y tipologías

Este sistema de transporte, de capacidad intermedia, puede alcanzar una velocidad de explotación próxima o superior a los 20 km/h, dependiendo del ámbito de la línea, con una capacidad de oferta de entre 2.000 y 6.000 viajeros por hora y sentido, con una imagen fuerte y atractiva, una gran calidad de servicio y un coste limitado.

Un aspecto fundamental del mismo, al igual que en los tranvías y metros ligeros, es la integración urbana de la plataforma con el tráfico. Esta plataforma lo separa del vehículo privado, pero permite cruces a nivel con peatones y con el resto del tráfico viario. Esto se resuelve mediante vehículos con un elevado componente de diseño y prestaciones, y una explotación con aplicación de nuevas tecnologías, que dotan a dichos vehículos de prioridad en los cruces semafóricos, información en tiempo real, etc. Además, la mayoría de estos proyectos van asociados con la mejora y renovación del entorno urbano en las inmediaciones de la plataforma, lo que supone en muchos casos, una transformación e incluso una rehabilitación de zonas degradadas.

Los autobuses en plataforma reservada pueden incorporar un sistema de guiado, bien mediante un monorraíl central o mediante un guiado óptico. Este último consiste en unas marcas viales sobre el firme que el vehículo es capaz de leer, guiando su trayectoria entre

paradas y aproximando dicho vehículo a escasos centímetros del bordillo (unos 3 cm generalmente y 5 cm como máximo), cuando éste llega a las paradas, para facilitar al máximo la accesibilidad. Ésta se ve favorecida además al ser los vehículos de piso bajo, lo que evita la aparición de escalones entre el andén y el interior del autobús, facilitando el acceso de personas con movilidad reducida. En este caso, en el que los autobuses incorporen un sistema de guiado óptico, el conductor, aunque puede hacerse cargo en cualquier momento del control del vehículo, se limita, en general, a resolver cualquier incidencia que pueda producirse durante el trayecto.



Figura 1- Detalle de la accesibilidad a los autobuses.

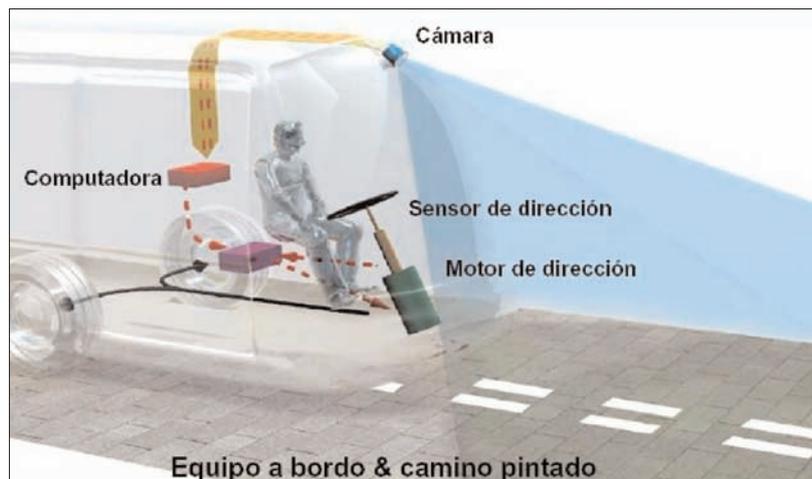


Figura 2 - Esquema del sistema de guiado óptico de Siemens.



Figura 3 - Plataforma reservada en Castellón. La tracción es eléctrica y dispone de guiado óptico.



Figura 4 - Plataforma reservada en Rouen (Teor BRT). La tracción es diesel y dispone de guiado óptico.



Figuras 5, 6 y 7- Plataforma reservada en Caen. La tracción es eléctrica y el guiado por monorraíl.

En cuanto a la tracción de los autobuses, éstos pueden ser propulsados por motores diésel o mediante energía eléctrica, denominándose entonces trolebuses. En algunos casos se utilizan vehículos híbridos, movidos por la energía eléctrica suministrada por una catenaria, pero que pueden funcionar también alimentados por biocombustibles o gasóleo. Ello les proporciona una gran flexibilidad en el caso de fallo en el suministro eléctrico o si tuvieran que realizar un adelantamiento de un vehículo averiado o incluso salirse de la propia plataforma reservada.

Esta flexibilidad es una de las grandes ventajas de los sistemas de autobuses en plataforma reservada, no sólo por lo mencionado anteriormente, sino también por la posibilidad de construir tramos independientes que pueden entrar en servicio sin necesidad de que esté completada la línea, y también por la posibilidad de incluir varias líneas en un tronco común con plataforma reservada, por ejemplo en el centro de las ciudades, que es donde más se necesita, y continuar luego el resto de los trayectos en viario compartido, en carril bus, etc. Además, las plataformas reservadas pueden ser utilizadas por los vehículos de emergencias y salvamento, evitando así que estos servicios se vean obstaculizados por el transporte privado.



Figuras 8 y 9 - Plataforma reservada en Amsterdam (Zuidtangent).
La tracción es diésel y no dispone de guiado



Figuras 10 y 11 - Plataforma reservada en Castellón (TVRCAS). Los vehículos son híbridos. Detalle de la catenaria.

5. DISEÑO DEL FIRME

5.1. Elección del material: ¿por qué hormigón?

Como ya se ha comentado anteriormente, para que un sistema de transporte sea competitivo y atractivo frente al uso del vehículo privado, debe ser rápido, fiable y de calidad. En la consecución de estos tres requisitos, y por tanto en la satisfacción del usuario, juega un papel determinante la calidad de la infraestructura.

Ésta deberá tener una elevada vida de servicio, durante la cual las operaciones de conservación y mantenimiento sean mínimas, reduciendo así al máximo la afección sobre los usuarios y suponiendo una ventaja para administradores y explotadores de la línea, que tendrán que hacer frente a unos menores gastos de mantenimiento, reparaciones y rehabilitaciones. Esto supone que el coste total de la infraestructura (en el que se incluyen los costes de construcción, de conservación y de explotación), hasta que ésta deje de prestar su servicio, sea menor, siendo ello de gran importancia para las administraciones que dispongan de poco presupuesto para la conservación.

La infraestructura o plataforma sobre la que circulan los autobuses no es más que un firme, como los proyectados en carreteras o viales urbanos, que deberá de estar correctamente dimensionado a fin de poseer la suficiente capacidad de soporte para resistir las cargas de los vehículos que van a circular sobre él, durante el periodo de proyecto fijado. Es por ello por lo que este sistema de transporte con autobuses es una solución más económica y también más flexible en cuanto a facilidad y plazos de construcción que las plataformas

sobre las que circulan los tranvías y metros ligeros, en las que se debe ejecutar una losa estructural sobre la que se disponen los carriles.

No obstante, aunque el firme de la plataforma sea de ejecución sencilla, no hay que descuidar ésta, así como la elección del material óptimo para la misma. El firme de estas plataformas va a estar sometido a un tráfico importante de vehículos pesados. Por ejemplo, en el caso de un tramo con una frecuencia horaria de unos 30 autobuses y con servicio desde las 6:00 h hasta las 22:00 h, la IMDp (Intensidad Media Diaria de vehículos pesados) asciende a 480 autobuses por sentido. Por otra parte, en el caso de existir un sistema de guiado de los autobuses, éste provoca que las ruedas de los mismos vayan canalizadas siempre por la misma franja, con lo que los efectos del tráfico son aún más nocivos sobre el firme y el peligro de aparición de roderas u otras deformaciones aumenta notablemente, sobre todo en las curvas y en las paradas. En caso de aparecer dichas deformaciones, éstas podrían suponer, además, un grave problema para el propio guiado, sobre todo en las paradas, en donde el vehículo debe quedar muy próximo al andén para facilitar la accesibilidad. Por todo ello, la opción más adecuada es la de disponer un firme con la mayor rigidez posible y por tanto de hormigón, capaz de evitar la aparición de deformaciones, que proporcione la mayor durabilidad posible y que conlleve las menores operaciones de conservación y mantenimiento, que afectarían al normal funcionamiento de las líneas.

En las zonas de paradas se producen grandes esfuerzos tangenciales debido a las frenadas y arranques de los vehículos, por lo que en estas zonas de la plataforma es imprescindible el disponer un firme de hormigón.

Los firmes de hormigón presentan además otras ventajas como son, la resistencia a agentes agresivos (aceites, grasas, combustibles, etc.), la seguridad, el confort, la facilidad para ser coloreados y obtener diversas texturas en su superficie y la posibilidad de conseguir colores claros sin la necesidad de pigmentos, que en los centros urbanos, en verano, pueden reducir varios grados la temperatura ambiente de su entorno.



Figura 12- Roderas en una plataforma reservada sin pavimento de hormigón.

5.1.1 Seguridad

Debido a su rigidez y estabilidad frente a los agentes climáticos adversos, el pavimento de hormigón proporciona una superficie segura al paso de vehículos, sin que se produzcan deformaciones permanentes en el mismo. En este sentido, es muy importante asegurar una buena compactación de las capas inferiores del firme.

En la seguridad influyen también la regularidad superficial y sobre todo la resistencia al deslizamiento de la superficie. De esta última depende también una cuestión muy importante como es la distancia de frenado. Observando unas sencillas prescripciones, la superficie del hormigón puede proporcionar, durante toda su vida útil, la suficiente rugosidad para que, incluso en condiciones de lluvia, no se produzcan deslizamientos de los autobuses por falta de agarre, que puedan dar lugar a accidentes.

En los pavimentos de hormigón la resistencia al deslizamiento se puede conseguir fácilmente, bien con texturas en las que es el mortero el que resiste la abrasión del tráfico (obtenidas, por ejemplo, mediante el paso de cepillos o arpilleras sobre el hormigón fresco), en cuyo caso es imprescindible el empleo de una cierta proporción de arena silícea (como mínimo un 35% de la arena total); o bien con texturas en las que es el árido grueso el que resiste la abrasión (texturas desactivadas, abujardadas, etc.), en cuyo caso dicho árido grueso deberá ser duro y no pulimentable (coeficiente de Los Ángeles $LA < 20$ y coeficiente de pulimento acelerado $CPA > 0,5$).

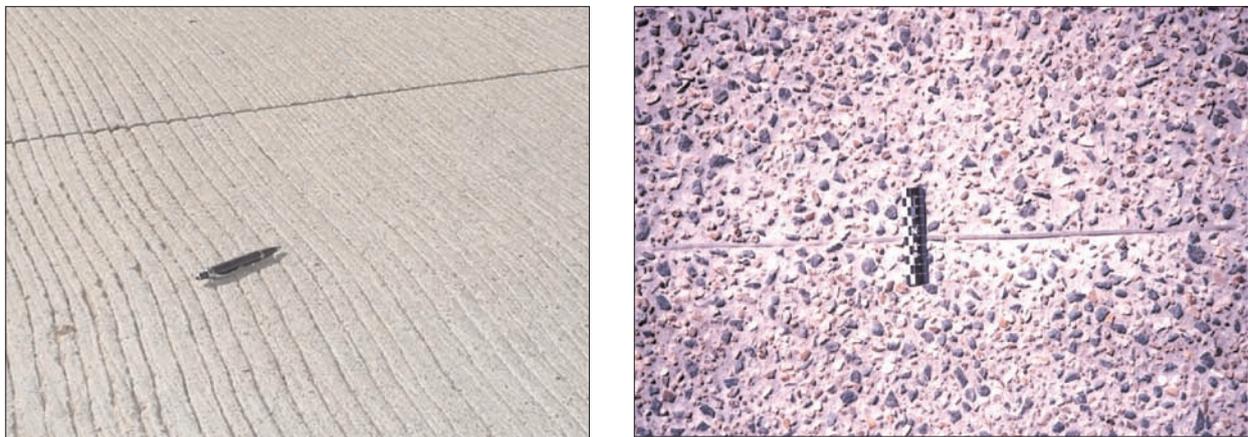


Figura 13 - Detalle de diversas texturas: pavimento de hormigón cepillado (izquierda) y de árido visto (derecha).

5.1.2. Confort

El pavimento de hormigón proporciona una solución confortable, tanto para el usuario del transporte público como para los ciudadanos que habitan o realizan alguna actividad en las proximidades de una plataforma reservada.

La comodidad de los usuarios está ligada, además de a la calidad de los autobuses, a la regularidad superficial del firme sobre el que circulen. Si esta última es deficiente los usua-

rios se verán sometidos a vibraciones y oscilaciones incómodas durante el trayecto. Para obtener una adecuada regularidad superficial es imprescindible realizar una correcta ejecución, preferentemente con medios mecanizados (extendedoras o terminadoras de hormigón).

Otra cuestión que se ha mencionado es el confort de los ciudadanos en las proximidades de una plataforma reservada y que van a estar sometidos al ruido que genera el paso de los autobuses. Al tratarse de zonas urbanas con paradas a distancias relativamente cortas, los autobuses circulan en general a bajas velocidades, siendo en este caso la fuente de ruido predominante el motor de los mismos y no tanto la interacción entre los neumáticos y la calzada, que suele cobrar más importancia a velocidades elevadas. No obstante, con el hormigón pueden conseguirse superficies con una rodadura muy silenciosa, mediante la técnica de exposición del árido. Estas texturas de árido visto son capaces, además, de mantener esos niveles sonoros reducidos a lo largo de toda la vida útil del pavimento.

5.1.3. Alta durabilidad y reducidos costes de conservación

La durabilidad de los pavimentos de hormigón, que se proyectan para una vida útil superior a los 30 años, juega un papel crucial en los tres aspectos de la construcción sostenible: el económico, el social y el medioambiental.

Si el pavimento de hormigón está bien construido, va a superar ampliamente esa vida útil de proyecto, ofreciendo la posibilidad de contar con una plataforma en perfecto estado durante muchos años.

Además, debido a su rigidez y resistencia a agentes agresivos, los pavimentos de hormigón apenas necesitan operaciones de mantenimiento y reparación, lo que supone un gran ahorro económico a medio y largo plazo

Por otra parte, dado que las operaciones de conservación son muy reducidas, esto hace que la afección de las mismas sobre los usuarios sea mucho más pequeña que con otras alternativas, proporcionando un sistema de transporte más fiable, con menores retrasos provocados por obras en la plataforma.

5.1.4. Estética

Dado que la mayor parte del trazado de las plataformas suele transcurrir por entornos urbanos, es fundamental conseguir una buena integración de dicha infraestructura en la ciudad. Además, en la mayoría de los casos es conveniente, a fin de diferenciar, separar e independizar los usos del viario, colorear la superficie del pavimento, de manera que contraste con los viales dedicados al tráfico de vehículos privados. Ello se puede conseguir fácilmente y con un coste moderado en un pavimento de hormigón.

La evolución de la tecnología de este material ha permitido, en estos últimos 50 años, el desarrollo de una gran variedad de acabados, mediante la combinación del color y la textura. Las técnicas de coloración, estampación, pulido, abujardado, exposición del árido,

revestimientos de bajo espesor, empleo de áridos fotoluminiscentes, etc., ofrecen un amplio abanico de posibilidades estéticas.

5.1.5. Ventajas medioambientales

Dada la rigidez del pavimento de hormigón, éste no se deforma al paso de las ruedas de los vehículos pesados, ofreciendo por tanto menos resistencia al avance de los mismos. Como consecuencia de esto, el consumo de combustible de los vehículos pesados cuando transitan sobre pavimentos de hormigón es menor que cuando lo hacen sobre pavimentos flexibles, como así lo corroboran varios estudios realizados en diferentes países.

Por otro lado, el hormigón es un material inerte y 100 % reciclable. La mayor parte de los pavimentos de hormigón demolidos pueden proporcionar áridos con calidad suficiente para ser utilizados en bases y subbases de firmes, en hormigones magros e incluso para nuevos pavimentos de hormigón.

Otra de las ventajas medioambientales de los pavimentos de hormigón proviene de su mayor reflectancia. Las superficies claras, como las de hormigón, absorben menos calor y contribuyen de esta forma a la reducción de los efectos de las islas de calor que se producen en las grandes áreas urbanas. Además, permiten disminuir los costes de iluminación nocturna debido a su mayor claridad.



Figura 14 - Autopista Presidente Castelo Branco en Sao Paulo (Brasil).
Calzada izquierda de hormigón y derecha de mezclas bituminosas.

5.2. Consideraciones de diseño y dimensionamiento del firme

En la mayoría de los casos de plataformas reservadas para el tráfico de autobuses, es suficiente proyectar un pavimento de hormigón en masa con juntas (transversales de contracción y longitudinales de alabeo), apoyado sobre una superficie con una buena regularidad superficial y no erosionable (capa de hormigón magro vibrado o de mezcla bituminosa), dispuesta, a su vez, sobre la explanada, según se indica en la Figura 15.

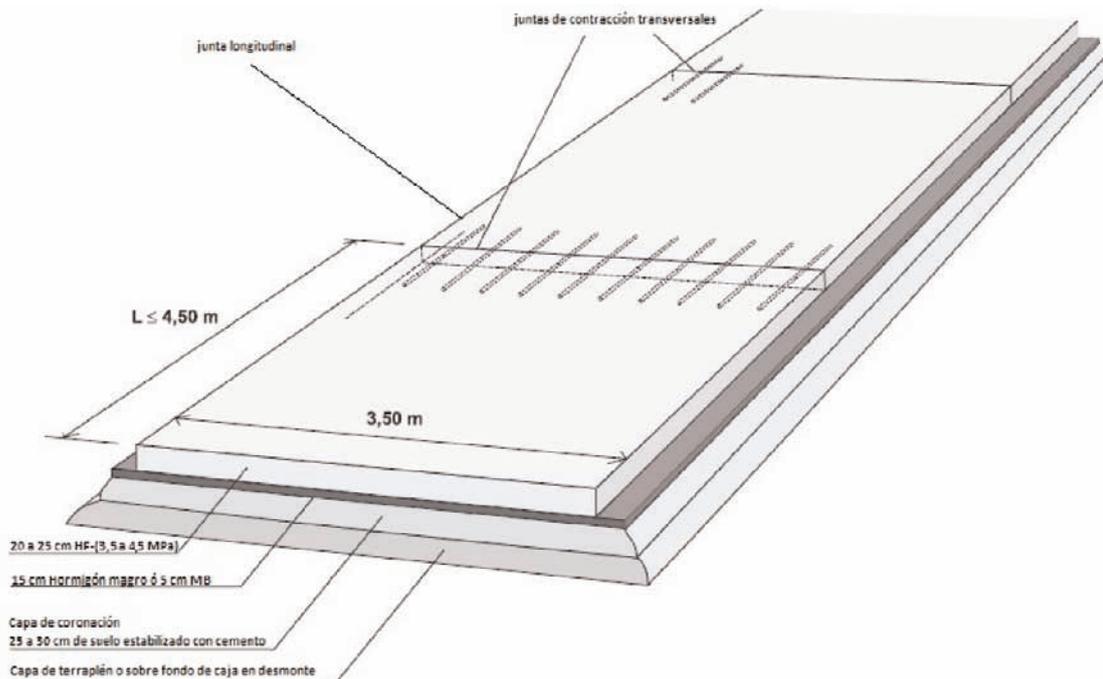


Figura 15 - Esquema de la sección transversal del firme de una plataforma reservada.

Salvo para tráficos poco importantes, la sección formada por una losa de hormigón sobre una base de hormigón magro vibrado es la especificada en las Normas de Secciones de Firme de Carreteras en España (tanto la Norma 6.1-I.C. del Ministerio de Fomento, como las normas y recomendaciones autonómicas existentes). Puede ser interesante mencionar a este respecto, que algunas ciudades como Madrid y Valencia disponen también de catálogos de firmes urbanos.

Para determinar el espesor de la losa de hormigón, así como su resistencia, hay que recurrir, según la administración propietaria de la infraestructura, al catálogo de secciones de firme correspondiente.

La disposición de la capa de base no erosionable, de hormigón magro vibrado (para tráficos medios y altos) es fundamental, a fin de evitar que se produzca el fenómeno conocido como “bombeo de finos”, que se da en materiales erosionables cuando el agua infiltrada por las juntas combinada con la acción de los vehículos pesados daña la capa de base formada por dichos materiales, disminuyendo su capacidad de soporte y su estabilidad. Una alternativa al hormigón magro vibrado, muy habitual en países como Austria, Alemania y Bélgica, entre otros, es sustituirlo por una capa de 5 cm de una mezcla bituminosa cerrada, que impida que el agua infiltrada (con posible presencia de sales de deshielo), llegue a la subbase o coronación de explanada tratada con cemento, dañándola.

Es también muy importante conseguir una capacidad de soporte adecuada en la explanada, a fin de evitar asentamientos en la misma que pudieran afectar al pavimento de hormigón. Para ello, la solución más adecuada es la de ejecutar la capa de apoyo del firme mediante la técnica de la estabilización de suelos in situ con cemento.

En cuanto a la disposición de juntas, es recomendable que la distancia entre las juntas transversales de contracción no sea superior a 4,5 m, y prever juntas longitudinales entre carriles en el caso de plataformas de ancho superior a 4,5 m, de manera que se formen losas lo más cuadradas posible.

Las juntas longitudinales pueden ir provistas de barras de atado de acero corrugado para evitar que se abran (medida que no es necesaria si la plataforma va entre bordillos), en cuyo caso deberán ir selladas. En cuanto a las juntas transversales de contracción, se dispondrán pasadores de acero liso, con medio pasador enfundado en camisa de plástico, en el caso de tráfico alto, siempre que por alguna causa no sea posible situar las juntas a distancias inferiores o iguales a 4 m, y además nos encontremos en una zona térmica con gradientes de temperatura elevados entre el día y la noche y entre el verano y el invierno.

El drenaje deberá ser suficiente para eliminar de la plataforma las aguas superficiales. Para ello, el pavimento deberá tener una pendiente transversal del 1% como mínimo.

Las texturas superficiales más adecuadas son el cepillado transversal o longitudinal y la textura de árido visto obtenida mediante denudado químico (desactivado). Esta última es menos ruidosa que las dos primeras, pudiéndose conseguir con la misma, niveles sonoros muy bajos que evolucionan muy poco con el tiempo. Todas estas texturas son compatibles con un coloreado del pavimento.

Para las plataformas reservadas interurbanas, de largo recorrido y con intensidades diarias de vehículos pesados muy elevadas, puede ser interesante adoptar un pavimento continuo de hormigón armado, que permite minimizar al máximo el mantenimiento y obtener vidas de servicio muy elevadas.

6. EJECUCIÓN DEL FIRME

Las técnicas de ejecución de un pavimento de hormigón para una plataforma reservada no difieren, en lo esencial, de las que se emplean en carreteras, puertos o aeropuertos. Hay que tener en cuenta, como elemento diferenciador con respecto a estos últimos, que en el caso de las plataformas reservadas, éstas suelen discurrir en su mayor parte por zonas urbanas, por lo que habrá que prestar atención, en el caso de haberlos sobre la traza, a la presencia de elementos como pozos de registro, arquetas, imbornales, etc. Ello no supone ningún problema de ejecución, no siendo necesario que haya que detener la pavimentadora cuando se encuentre con alguno de estos elementos.

Para conseguir una buena regularidad superficial, es casi imprescindible ejecutar el pavimento de hormigón de forma mecanizada. Para ello se utilizan extendedoras de encofrados deslizantes. La plataforma se puede construir por ancho completo o por semianchos (o carriles), en función del ancho de trabajo máximo de la pavimentadora y de la anchura de la plataforma. Hay que evitar, en lo posible, que se produzcan paradas de la pavimentadora intentando mantener constante su velocidad de avance (entre 0,5 y 1 m/min), pues dichas

paradas pueden suponer una pérdida de regularidad superficial. Para ello, el suministro de hormigón ha de ser continuo y con un volumen suficiente.

Las juntas transversales deben realizarse por serrado, con una profundidad de 1/4 a 1/3 del espesor de la losa. Se deberán ejecutar tan pronto como el hormigón sea capaz de resistir el corte sin producirse el desportillado de las mismas. Su sellado solamente es necesario si están provistas de pasadores y la plataforma está situada en una zona lluviosa (precipitación media anual superior a 600 mm). En cuanto a las juntas longitudinales, en el caso de que no coincidan con juntas de construcción, también se ejecutarán por serrado, debiéndose cumplir lo mencionado en el caso anterior, e igualmente sólo será necesario el sellado si se disponen en las mismas barras de atado de acero corrugado y la plataforma está en una zona lluviosa.

En zonas urbanas la textura más adecuada es la de árido visto obtenida mediante denuddado químico, dado que es la que proporciona un menor ruido de rodadura, sin comprometer la seguridad y el agarre de los neumáticos de los vehículos.

Es posible también dar color a la plataforma para diferenciarla de los carriles adyacentes, si los hubiera, bien mediante el color del propio árido, en el caso de pavimentos de árido visto, o mediante la incorporación de pigmentos a la masa del hormigón.

En el caso de optar por una textura de árido visto (coloreada o no), puede ser conveniente, a fin de ahorrar en áridos de calidad (y también en pigmentos, en su caso), la ejecución de la losa de pavimento de hormigón en dos capas, extendidas con muy poco desfase (técnica que se conoce también como fresco sobre fresco). Por ejemplo, en el caso de una losa de pavimento de 25 cm, con este método se extendería una primera capa de 21 cm, en la que no sería necesario utilizar pigmentos o áridos de calidad, e inmediatamente después, la capa superior de rodadura de 4 cm, conteniendo ésta el pigmento o los áridos de calidad. Ambas capas deben quedar monóticamente adheridas entre si, de manera que trabajen estructuralmente como una sola capa (ver Figura 16).

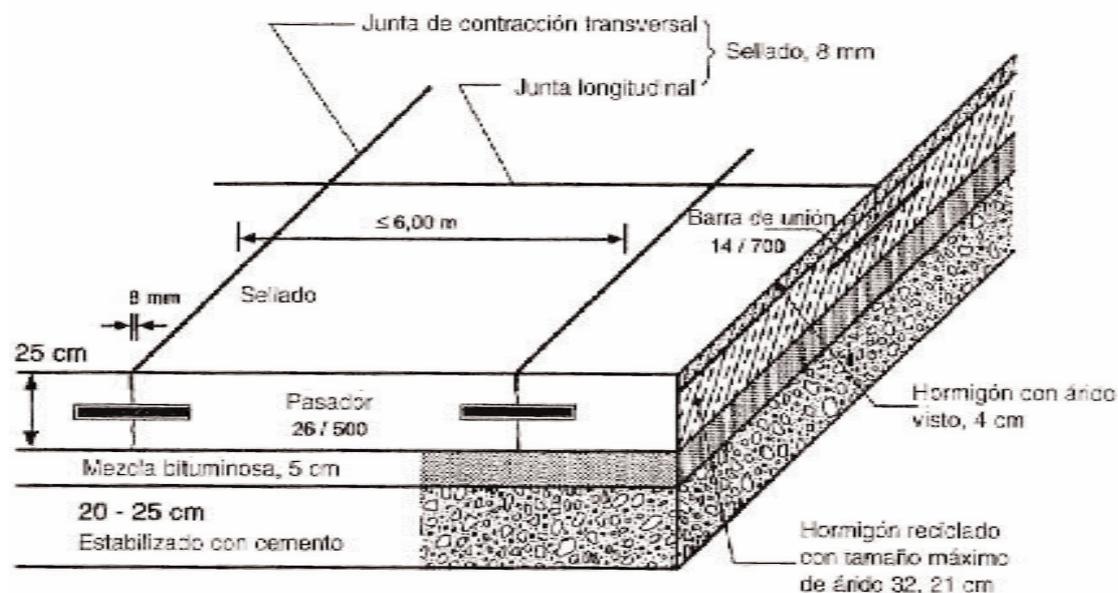


Figura 16 - Esquema de sección transversal de un firme con pavimento de hormigón ejecutado mediante la técnica bicapa

CONCLUSIONES

Son cada vez más numerosas las ciudades que, precisando un transporte público sostenible y atractivo para los usuarios, en lo que se refiere a rapidez, fiabilidad y calidad del servicio, recurren a plataformas reservadas para el mismo, ya sea mediante un sistema ferroviario o mediante autobuses. En el caso de estos últimos, su versatilidad y sus menores costes, tanto de construcción como de explotación, los hacen muy atractivos frente a los sistemas ferroviarios. El firme de estas plataformas reservadas para autobuses está sometido a un tráfico muy importante de vehículos pesados, compuesto por autobuses convencionales y articulados. Si además incorporan un sistema de guiado óptico, las cargas van canalizadas siempre por las mismas bandas de rodadura. Por todo ello, la opción más adecuada es la de disponer un pavimento de hormigón por su mayor rigidez y durabilidad y por sus menores costes de mantenimiento, lo que hace que la afección al usuario por estas operaciones sea muy reducida.

BIBLIOGRAFÍA

- “Bus Rapid Transit. Planning Guide. June 2007”. Institute for Transportation & Development Policy. <http://www.itdp.org/documents/>
- Zamorano, C., Bigas, J.M., y Sastre, J. “Manual de tranvías, metros ligeros y sistemas en plataforma reservada. Diseño, proyecto, financiación e implantación”. Consorcio Regional de Transportes de Madrid – C.I.C.C.P. Madrid, 2006.
- Cristóbal Pinto, C. “Sistemas de Autobuses Rápidos: Un nuevo modo de transporte público metropolitano”. Revista Carreteras, 141, julio-agosto 2005.
- “UITP, Comisión Transporte y Ciudad. Desplazarse mejor en la ciudad. Problemas – Soluciones - Realizaciones ejemplares”. Consorcio Regional de Transportes de Madrid. Madrid, 2001.
- “Union Europea. Acción COST sobre autobuses con alto nivel de servicio (BHLS)”. Disponible en <http://www.bhls.eu/>
- Cristóbal Pinto, C. “Reflexión sobre los modos de transporte público en las ciudades”. Revista Ingeniería y territorio nº 86. 2009.
- Zamorano Martín, C. y Bigas Serrallonga, J.M. “Plataformas reservadas para el transporte público: un nuevo concepto del viario urbano”. Revista Ingeniería y territorio nº 86. 2009.
- Jornada técnica sobre “Firmes rígidos al servicio del transporte público del siglo XXI”, organizada por IECA y OFICEMEN y celebrada en el C.I.C.C.P. Valencia, 2009.