



Seguridad vial en corredores de autobús

Lineamientos para integrar la seguridad peatonal y vial en el planeamiento, diseño y operación de corredores BRT y carriles para autobuses

Versión piloto - Prueba práctica

Nicolae Duduta, Claudia Adriazola-Steil, Carsten Wass, Dario Hidalgo y Luis Antonio Lindau



Informe preparado por:

NICOLAE DUDUTA

Planificador en Transporte
EMBARQ, Centro de Transporte Sostenible de WRI
nduduta@wri.org

CLAUDIA ADRIAZOLA-STEIL

Directora, Programa de Salud y Seguridad Vial, EMBARQ
cadriazola@wri.org

CARSTEN WASS

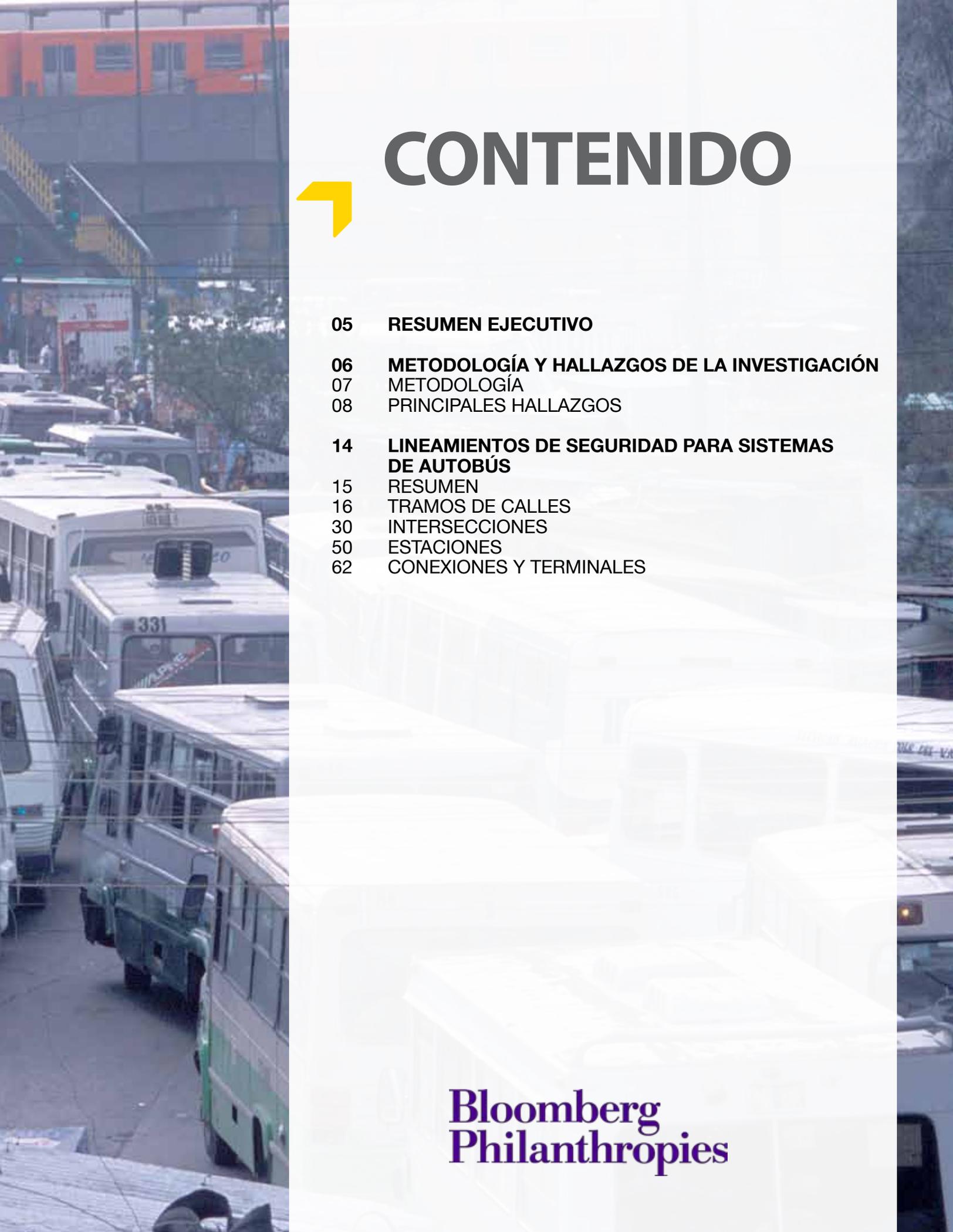
Director Técnico, Consia Consultores
wass@consia.com

DARIO HIDALGO

Director de Investigación e Implementación, EMBARQ
dhidalgo@wri.org

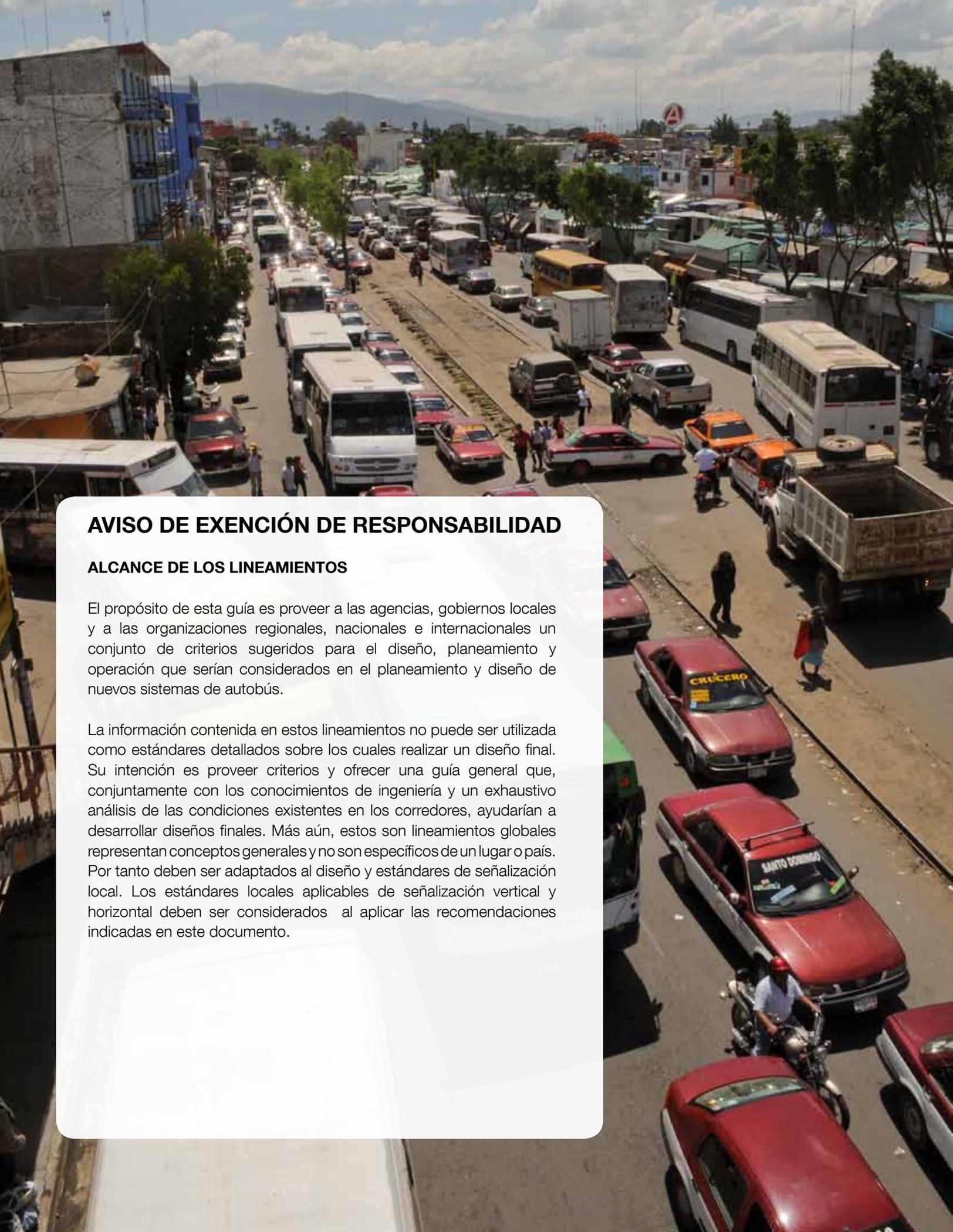
LUIS ANTONIO LINDAU

Presidente, EMBARQ Brasil
tlindau@embarqbrasil.org



CONTENIDO

05	RESUMEN EJECUTIVO
06	METODOLOGÍA Y HALLAZGOS DE LA INVESTIGACIÓN
07	METODOLOGÍA
08	PRINCIPALES HALLAZGOS
14	LINEAMIENTOS DE SEGURIDAD PARA SISTEMAS DE AUTOBÚS
15	RESUMEN
16	TRAMOS DE CALLES
30	INTERSECCIONES
50	ESTACIONES
62	CONEXIONES Y TERMINALES



AVISO DE EXENCIÓN DE RESPONSABILIDAD

ALCANCE DE LOS LINEAMIENTOS

El propósito de esta guía es proveer a las agencias, gobiernos locales y a las organizaciones regionales, nacionales e internacionales un conjunto de criterios sugeridos para el diseño, planeamiento y operación que serían considerados en el planeamiento y diseño de nuevos sistemas de autobús.

La información contenida en estos lineamientos no puede ser utilizada como estándares detallados sobre los cuales realizar un diseño final. Su intención es proveer criterios y ofrecer una guía general que, conjuntamente con los conocimientos de ingeniería y un exhaustivo análisis de las condiciones existentes en los corredores, ayudarían a desarrollar diseños finales. Más aún, estos son lineamientos globales representan conceptos generales y no son específicos de un lugar o país. Por tanto deben ser adaptados al diseño y estándares de señalización local. Los estándares locales aplicables de señalización vertical y horizontal deben ser considerados al aplicar las recomendaciones indicadas en este documento.

RESUMEN EJECUTIVO

La seguridad vial es un aspecto importante en la planificación de corredores de transporte masivo en autobús (BRT por sus iniciales en inglés) y carriles de autobuses prioritarios o exclusivos. Sin embargo no existen guías especializadas que se ocupen de este tema.

Este es un vacío significativo. Se prevé que las víctimas del tráfico se convertirán en la quinta causa de muerte temprana en el mundo para 2030, antes que el VIH / SIDA, la violencia, la tuberculosis o cualquier tipo de cáncer. La mayor parte de este crecimiento se espera que ocurra en las ciudades de países en desarrollo, de acuerdo con estudios de la Organización Mundial de la Salud.

El impacto de los sistemas de autobús en la seguridad vial es particularmente importante porque éstos normalmente se implantan en las grandes arterias urbanas. Un estudio realizado en Nueva York muestra que las arterias principales representan aproximadamente el 15% de la red vial de la ciudad, pero más del 65% de los graves accidentes peatonales (Viola et al. 2010). Un estudio realizado en la Ciudad de México indica que todos los tipos de accidentes se concentran en las arterias principales, donde se encuentran las principales rutas de autobús (Chias Becerril et al. 2005).

La implementación de un sistema de alta capacidad de transporte público en cualquier arteria urbana atrae a grandes volúmenes de peatones, a las calles donde los riesgos son altos de por sí. En Nueva York, las calles con corredores de autobús han mostrado consistentemente mayores tasas de accidentes peatonales que otras calles (Viola et al. 2010). En Porto Alegre, Brasil, la presencia de los carriles preferenciales y estaciones para autobuses tiene una alta correlación con el número de accidentes peatonales (Diógenes y Lindau 2009). Por otro lado, la aplicación de algunos sistemas BRT, como el Macrobús en Guadalajara y TransMilenio en Bogotá, resultó en una reducción significativa en colisiones y muertes en los corredores respectivos (Duduta et al. 2012). Estas investigaciones sugieren una amplia gama de impactos potenciales de seguridad asociados con los corredores de autobuses y BRT.

Para la preparación de estas guías, EMBARQ ha investigado los aspectos de seguridad vial y peatonal en la planificación, diseño y operación de sistemas de autobuses, recolectando y analizando datos de más de 30 corredores, principalmente en ciudades de países en desarrollo, realizado inspecciones de seguridad vial y las auditorías en BRT y carriles para autobuses y entrevistado a expertos en seguridad vial y personal de agencias de autobuses para aprender de su experiencia.

Estos trabajos permitieron identificar los principales riesgos y los tipos accidentes comunes en los corredores de autobuses, así como el impacto de la seguridad de las diferentes características de diseño de los BRT y de los carriles para autobuses. Hemos encontrado que algunos de elementos clave de diseño de los sistemas de autobús pueden mejorar significativamente la seguridad. Por ejemplo, estaciones cerradas con plataformas altas, sistemas de carril central con prohibiciones de girar a la izquierda, entre otros. Al mismo tiempo otros aspectos pueden aumentar el riesgo de accidentes. Por ejemplo, los carriles de contraflujo. También se encontró que la geometría general de la vía y, especialmente, el tamaño y la complejidad de las intersecciones, son predictores importantes de las tasas de accidentes en los corredores de autobuses.

Sobre la base de estos resultados, esta guía formula un conjunto de recomendaciones de diseño para mejorar la seguridad vial y peatonal en los carriles de autobuses.

Estos lineamientos están diseñados como una guía práctica para los planificadores de transporte, ingenieros y diseñadores urbanos involucrados en la planificación y diseño de corredores de autobús (BRT o carriles prioritarios o exclusivos). El documento cubre un amplio espectro de sistemas y tipos de carriles, que van desde los autobuses que usan los carriles preferenciales hasta los BRTs multicarriles de alta capacidad.

Si bien el objetivo principal de estos lineamientos es ilustrar cómo la seguridad en el diseño de un sistema de autobuses se puede mejorar, también consideramos cómo cada uno de nuestros conceptos de diseño impacta en las operaciones de los autobuses (en términos de la capacidad de pasajeros del sistema, los requisitos de tamaño de la flota y la capacidad peatonal de las áreas alrededor de las estaciones), así como también el acceso.

Los diseños ilustrados en este manual representan las mejores prácticas que balancean la seguridad de todos los usuarios de las vías con la necesidad de proporcionar una alta capacidad de pasajeros, así como proveer espacios urbanos accesibles y habitables.

VERSIÓN PILOTO – PRUEBA PRÁCTICA

Esta es una versión preliminar de los lineamientos y debe ser considerada como un trabajo en proceso de elaboración. Este documento es producido por EMBARQ como una versión piloto para prueba por la red de centros de EMBARQ y socios externos en 2012. En 2013, EMBARQ terminará de recolectar retroalimentación de sus socios e incorporará sus recomendaciones en una versión final de los lineamientos.

CIUDADES Y SISTEMAS DE AUTOBÚS INCLUIDOS EN EL PROYECTO



INSPECCIONES DE SEGURIDAD VIAL

- Rede Integrada de Transporte, Curitiba
- TransMilenio, Bogotá
- BRTS, Delhi
- Janmarg, Ahmedabad

MODELOS DE FRECUENCIA DE ACCIDENTES

- Ciudad de México
- Guadalajara
- Porto Alegre
- Bogotá

RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN ADICIONAL

- Metrobús Línea 2, Ciudad de México
- Macrobús, Guadalajara
- TransMilenio, Bogotá
- Megabus, Pereira,
- BRT, Santiago de Cali
- SIT, Arequipa
- Busways, Belo Horizonte
- Boqueirao y Línea Sur, Curitiba
- Southeast Busway, Brisbane
- Route 99 y Burrard Street, Vancouver
- BRTS, Delhi
- Busways, Sao Paulo

AUDITORÍAS DE SEGURIDAD VIAL

- Líneas de Metrobús 3, 4 y 5, Ciudad de México.
- SIT, Arequipa, Perú
- Busway C. Machado y Dom Pedro II, Belo Horizonte
- Antonio Carlos Busway, Belo Horizonte
- Transcarioca BRT, Rio de Janeiro
- Transoeste BRT, Rio de Janeiro
- BRT, Izmit, Turquía
- BRT, Indore, India

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Ministerio de Transporte, Colombia, 2011
- TRANSMILENIO S.A. 2011
- Gobierno de la Ciudad de México 2011
- Secretaría de Vialidad y Transporte de Jalisco, 2011
- Estudios, Proyectos y Señalización Vial S.A. de C.V. 2011
- Empresa Pública de Transporte e Circulação (EPTC), Porto Alegre, 2011
- Matricial Engenharia Consultiva Ltda., 2011
- Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte S.A. (BHTrans), 2011
- Urbanização de Curitiba S.A. (URBS), 2011
- Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo, 2011
- Delhi Police, 2010
- Road Safety and Systems Management Division, Brisbane, Queensland, Australia, 2009
- Insurance Corporation of British Colombia (ICBC), 2011
- Instituto Metropolitano Protransporte de Lima, 2012

METODOLOGÍA

Con el fin de evaluar el comportamiento de la seguridad de los sistemas de autobús en todo el mundo, se utilizó una combinación de análisis de datos de accidentes, inspecciones de seguridad vial y entrevistas con expertos de seguridad de agencias de autobuses.

RECOLECCIÓN DE DATOS

Los datos para el estudio fueron obtenidos a través de una estrecha colaboración con los Centros de EMBARQ en México, Brasil, la Región Andina, Turquía e India. Hemos recopilado datos de accidentes utilizando las diferentes fuentes de datos disponibles a nivel local (ver la página opuesta). La mayoría de los datos fueron proporcionados por agencias municipales, regionales o nacionales encargadas del mantenimiento de bases de datos de seguridad vial. Con respecto a Bogotá, hemos recibido información adicional de la empresa gestora del sistema BRT, TRANSMILENIO S.A.

MODELOS DE FRECUENCIA DE ACCIDENTES

En el caso de las cuatro ciudades en nuestra base de datos (Ciudad de México, Guadalajara, Porto Alegre y Bogotá), la calidad y cantidad de los datos conseguidos fueron suficientes para el desarrollo de modelos estadísticos. Hemos desarrollado por separado modelos de frecuencia de accidentes para las colisiones de vehículos y los accidentes de peatones, utilizando distribuciones de probabilidad binomial negativo o regresiones Poisson, dependiendo de las características de los datos (Ladron de Guevara et al. 2004).

Estos modelos nos permitieron explicar las diferencias en las tasas de accidentes en diferentes lugares con relación a factores geométricos de la vialidad, características de las intersecciones, elementos de diseño del sistema de autobuses y el usos del suelo. Hemos definido cuatro variables para caracterizar la configuración de los corredores de autobuses: Carril central BRT, carril central para autobús, carril para autobús con acera lateral y carril para autobús en contraflujo, correspondiendo a los tipos de corredores de autobuses presentes en las ciudades donde desarrollamos los modelos.

Los modelos de frecuencia de accidentes ayudaron a identificar predictores clave de las tasas de accidentes en los corredores de autobuses - como el tamaño y la complejidad de las intersecciones, o la presencia de los carriles en contraflujo -. Sus resultados se utilizaron para sustentar nuestras recomendaciones.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN ADICIONAL

Para varios corredores de autobús en nuestra base de datos (Macrobús, Guadalajara; Avenida Caracas, TransMilenio, Bogotá y BRTS, Delhi) obtuvimos datos de choques tanto antes como después de la implementación de los sistemas de autobús. Por tanto, estuvimos en capacidad de evaluar el impacto general en seguridad vial de la implementación de cada sistema de autobús.

Para la mayoría de corredores en nuestra base de datos no tuvimos suficiente información para llevar a cabo un análisis estadístico robusto. No obstante, los datos disponibles son útiles para indicar los tipos de accidentes frecuentes y sus factores contribuyentes. La información también permite comparartasas de accidentes de diferentes corredores o tramos de los corredores, y sugerir elementos para sustentar nuestras recomendaciones.

INSPECCIONES DE SEGURIDAD VIAL

EMBARQ se asoció con auditores externos certificados en seguridad vial para llevar a cabo inspecciones de los varios sistemas de autobús existentes, incluyendo RIT en Curitiba, TransMilenio en Bogotá, Janmarg en Ahmedabad, y el corredor del SITM en Nueva Delhi. Las inspecciones fueron útiles en la identificación de los problemas de seguridad en los corredores que no siempre aparecen en los datos de un choque (por ejemplo, el mantenimiento de marcas y señales de tráfico en el pavimento, el comportamiento peligroso del usuario de la vía, etc.).

ENTREVISTAS CON EL PERSONAL DE LAS AGENCIAS DE AUTOBUSES

Como parte de las auditorías e inspecciones de seguridad vial, nos reunimos con el personal de cada agencia de autobús para aprender de su experiencia en cuanto a la seguridad en sus sistemas de autobuses. Tomamos conocimiento de otros problemas de seguridad que no aparecían en los datos reportados a la policía (por ejemplo, accidentes menores que resultan de los autobuses que no se acoplan apropiadamente en las estaciones), así como también varias iniciativas de seguridad implementadas en cada corredor de autobús.

En algunos casos, esto también ayudó a identificar los problemas de seguridad que no se reflejan en los datos - tales como la creciente preocupación del personal de Metrobús en la Ciudad de México sobre el riesgo de accidentes entre los vehículos de BRT y ciclistas que utilizan los carriles de autobús.

HALLAZGOS

IMPACTO DE LA SEGURIDAD EN UN SISTEMA BRT

El impacto global de la seguridad de la implementación de un sistema de autobús en un corredor varía dependiendo de las características del sistema y las condiciones existentes en la calle. En las ciudades de países en vías de desarrollo, la implementación de los sistemas BRT en general ha demostrado un impacto positivo en la seguridad del tráfico. Otros tipos de corredores, como los carriles exclusivos o prioritarios para autobuses no han demostrado el mismo nivel de impacto que los BRT.

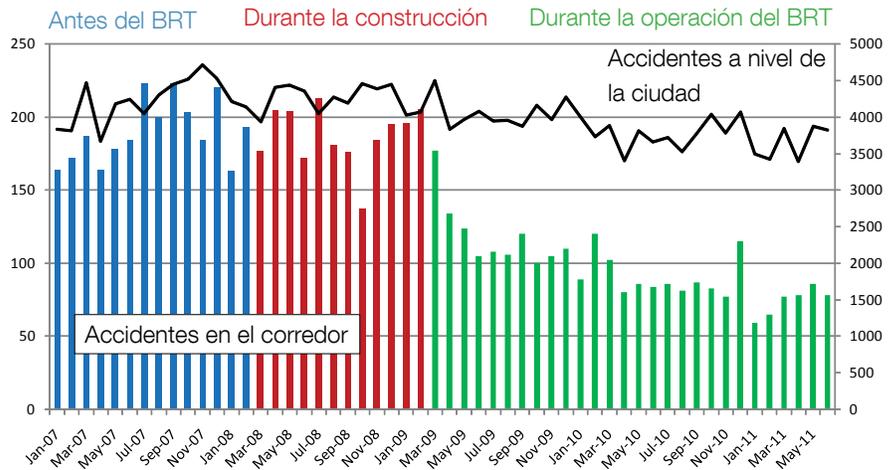
Un BRT generalmente implica la asignación al transporte público de varios carriles de tráfico mixto en una calle, separando el tráfico de autobuses de otros modos de transporte, y la adición o la ampliación de un separador central (en el caso del carril central BRT), lo cual reduce la longitud de los cruces peatonales. En el caso de BRT las operaciones de los autobuses reemplazan una variedad de servicios con una gestión unificada, y con empresas organizadas que asumen el entrenamiento de los conductores, mantenimiento de vehículos, etc.

Macrobus en Guadalajara (que sustituyó a una línea de autobús prioritaria existente en una calle con tráfico pesado) y TransMilenio en Bogotá (que sustituyó a un carril central existente para autobús) contribuyeron en una reducción importante de accidentes y muertes en sus respectivos corredores. Los accidentes se redujeron en un 46% en Calzada Independencia en Guadalajara después de iniciadas las operaciones del Macrobus, mientras que las muertes disminuyeron en un 60% en la Av. Caracas en Bogotá después de la implementación del primer corredor de TransMilenio.

No todos los corredores de autobús tuvieron el mismo impacto positivo en materia de seguridad. Por ejemplo, el carril de autobuses Cristiano Machado, en Belo Horizonte (Brasil) sigue siendo la avenida con el más alto índice de accidentes en toda la ciudad, a pesar de la presencia de un carril central para de autobuses.

MACROBÚS, GUADALAJARA

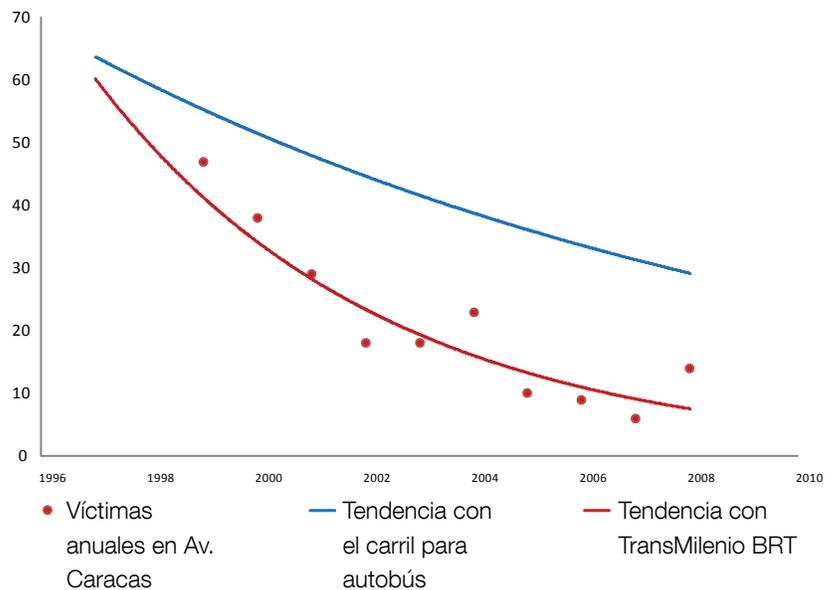
Accidentes antes y después de la implementación de Macrobus



Fuente: calculado a partir de estadísticas proporcionadas por la Secretaría de Vialidad y Transporte de Jalisco, 2011.

AV. CARACAS, TRANSMILENIO, BOGOTA

Accidentes con fatalidades antes y después de la implementación de TransMilenio



Fuente: calculado a partir de estadísticas proporcionadas por TRANSMILENIO S.A. 2011, Ministerio de Transporte de Colombia 2011, y OMS, 2009.

IMPACTO ALREDEDOR DEL CORREDOR

La reducción de accidentes debe ser analizada más allá del corredor específico en el cual se realizan intervenciones, dado que la asignación de carriles a los buses puede desviar tráfico automotor a vías paralelas.

En el caso de Guadalajara, la base de datos de choques sugiere que los accidentes se redujeron en la Calzada Independencia y no cambiaron significativamente en una franja de 3 kilómetros en ambos lados del corredor. Elegimos este ancho con el fin de incluir varias arterias principales que corren paralelamente al corredor de BRT, incluyendo Calz. del Ejército, Av. Alcalde y Av. 16 de Septiembre. Los accidentes en la zona de protección (excluyendo el corredor de BRT) se redujeron un 8% en el mismo periodo de tiempo – la misma reducción general de la accidentalidad en el resto de la ciudad.

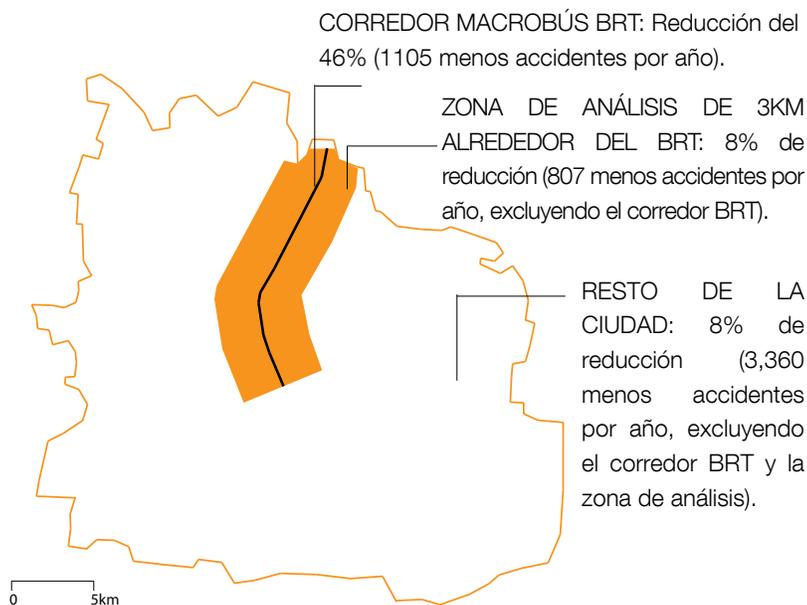
En una escala más pequeña, sin embargo, se registraron varios casos en que la implantación del BRT trasladó el riesgo de accidentes a las calles cercanas. Lo anterior porque los giros a la izquierda fueron prohibidos en la mayoría de las intersecciones - una característica común en los sistemas BRT con línea central - y fueron sustituidos por circuitos redirigiendo el tráfico a través del vecindario.

Algunos de los circuitos con buen diseño no tuvieron ningún impacto en los accidentes en los barrios alrededor del corredor BRT. Pero en al menos un caso (en la intersección entre Av. Independencia y Circunvalación) la creación del circuito resultó en un incremento en los accidentes en las intersecciones a lo largo de ésta. Este circuito en particular empieza antes de la intersección e implica un giro a la derecha y dos giros a la izquierda para los vehículos que tratan de llegar a Av. Circunvalación.

Los accidentes anuales en la intersección del Corredor de BRT con las zonas de prohibición de giro a la izquierda pasaron de 93 antes del BRT a 43 después. No obstante, en Circunvalación y Siete Colinas (donde ahora los vehículos pueden girar a la izquierda en Circunvalación) los accidentes aumentaron de 17 a 42. Teniendo en cuenta las dos intersecciones en conjunto, se registró una disminución de accidentes de 110 a 85. Sin embargo, las mejoras en el corredor de BRT fueron parcialmente contrarrestadas por un aumento del riesgo en las calles cercanas. Esto sugiere la necesidad de revisar con cuidado la seguridad vial en los circuitos de desvío para mitigar riesgos.

MACROBÚS, GUADALAJARA

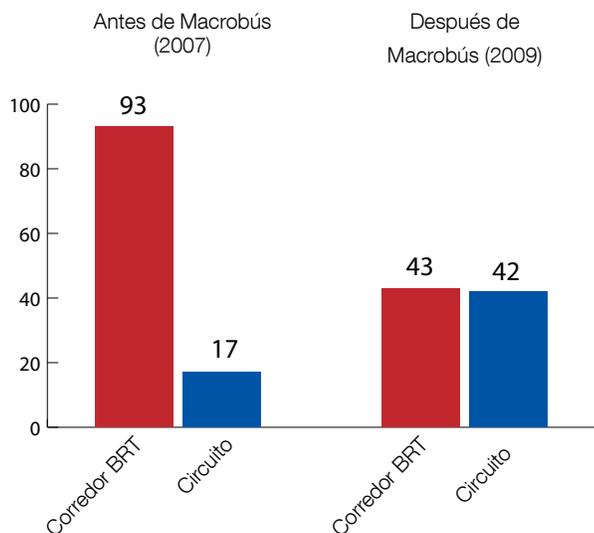
Accidentes antes y después de la implementación de Macrobus: nivel ciudad



Fuente: Calculado a partir de estadísticas proporcionadas por la Secretaría de Vialidad y Transporte de Jalisco, 2011.

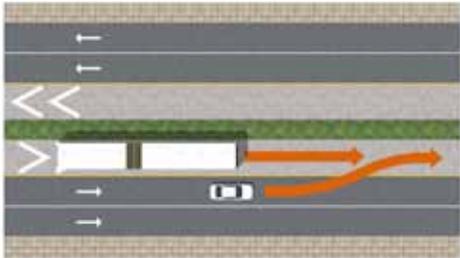
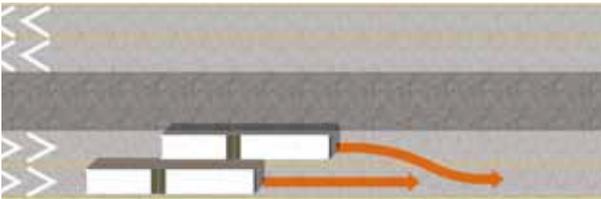
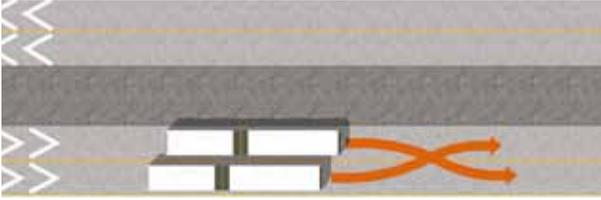
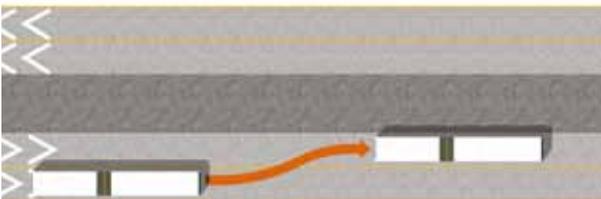
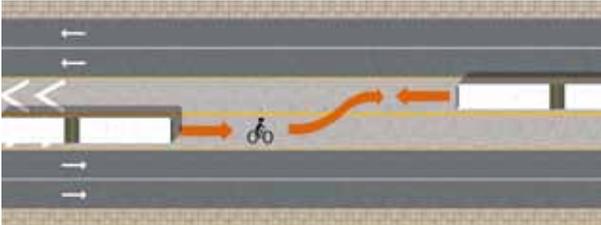
MACROBÚS, GUADALAJARA

Accidentes antes y después de la implementación de Macrobus: dos intersecciones, una en el corredor, una a lo largo del circuito que reemplaza el giro a la izquierda



Fuente: Calculado a partir de estadísticas proporcionadas por la Secretaría de Vialidad y Transporte de Jalisco, 2011.

METODOLOGÍA Y HALLAZGOS PRINCIPALES DE LA INVESTIGACIÓN

Tipos más frecuentes de accidentes que involucran autobuses	Descripción
	<p>VUELTAS A LA IZQUIERDA A TRAVÉS DE CARRILES DE AUTOBÚS Este es el tipo más común de colisión entre los autobuses y el tráfico en general en los corredores de autobuses con carril central.</p>
	<p>VEHÍCULOS NO AUTORIZADOS EN LOS CARRILES DE AUTOBÚS Es una situación de accidente común en todos los corredores con carriles dedicados a autobuses donde no hay una fuerte separación física entre los carriles para autobús y otros carriles. Los vehículos no autorizados entran en los carriles de autobuses y colisionan con éstos.</p>
	<p>COLISIONES ENTRE AUTOBUSES LOCALES Y EXPRESOS Es un tipo potencialmente grave de accidente en sistemas multicarriles BRT con carriles expreso. Los autobuses urbanos salen de la estación y entran en los carriles expesos colisionando con los autobuses expesos que viajan a mayor velocidad a través de la estación</p>
	<p>COLISION LATERAL ENTRE AUTOBUSES EN LA ESTACIÓN Es un tipo menos grave de accidente que puede ocurrir cuando un autobús esta tratando de dejar una estación y otro está intentando acceder a la estación desde la vía rápida.</p>
	<p>COLISION POSTERIOR EN LA ESTACIÓN Esto ocurre cuando un autobús se está alineando detrás de otro para acoplarse en la plataforma de la estación, pero llega demasiado rápido y choca con ésta.</p>
	<p>COLISIONES ENTRE BRT Y CICLISTAS Los ciclistas que utilizan los carriles para autobuses suelen intentar maniobras evasivas cuando los autobuses se acercan y pueden ser golpeados por un autobús o perder el control y chocar con los separadores de carril, resultando a veces en lesiones graves.</p>

Todos los diagramas de arriba representan los tipos de accidentes confirmados de uno o varios de los sistemas de autobuses siguientes: Metrobús de la Ciudad de México, Macrobús de Guadalajara, TransMilenio y Metropolitano de Lima.

COLISIONES FATALES

Aunque representa sólo el 7% de los accidentes reportados en los corredores de autobús, los peatones representan más de la mitad de las muertes a través de todos los sistemas de autobús incluidos en nuestra base de datos.

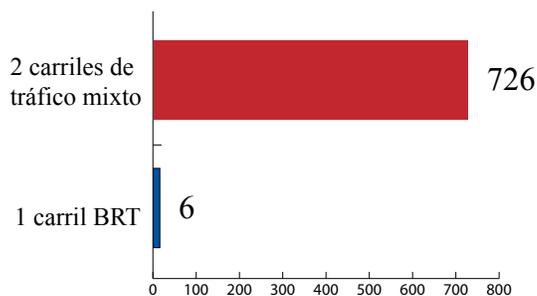
La prevención de los accidentes peatonales es fundamental en la mejora de la seguridad en los corredores de autobuses. En general, los peatones están en riesgo cuando cruzan el corredor en mitad de la cuadra, a menudo lejos de los cruces diseñados. El riesgo es particularmente alto cerca de las estaciones, ya que algunos pasajeros cruzan los carriles de autobús y de tráfico mixto para entrar o salir de la estación, con el fin de reducir su distancia de caminata o para evadir el pago de la tarifa.

Esto sugiere que el diseño del acceso a la estación puede jugar un papel clave en el mejoramiento de la seguridad en los corredores de autobuses, al tiempo con mejoras de las precauciones para los cruces peatonales a media cuadra.

LUGAR DE LOS ACCIDENTES

ACCIDENTES

Promedio de accidentes mensuales entre 2009 y 2011 en el corredor de Macrobus BRT de Guadalajara, por tipo de carril.

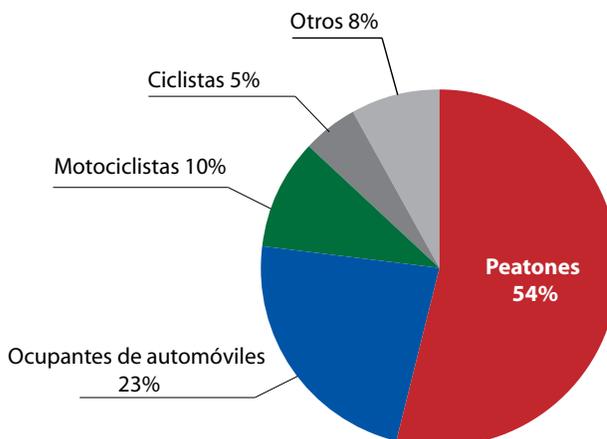


Fuente: calculado a partir de información de accidentes proporcionados por la Secretaría de Vialidad y Transporte de Jalisco, 2011; conteos de tráfico proporcionados por Estudios, Proyectos y Señalización Vial S.A. de C.V. 2011; información de pasajeros del BRT calculada a partir de Hidalgo y Carrigan, 2010.

Los carriles de autobús exclusivos pueden reducir significativamente la incidencia de choques que involucran autobuses. Como resultado, los corredores de autobuses de alta capacidad pueden transportar más pasajeros con mucha más seguridad que los carriles de tráfico mixto. Esto se ilustra con los datos del Macrobus BRT en Guadalajara, que cuenta con un carril BRT y dos carriles de tráfico mixto por cada dirección. El carril BRT transporta un 30% más de pasajeros, teniendo menos del 90% de accidentes que los carriles de tráfico mixto.

Hay dos aspectos importantes para tomar en cuenta de las estadísticas presentadas en esta página. El interior del autobús es el lugar más seguro en el corredor, pero caminar hacia y desde

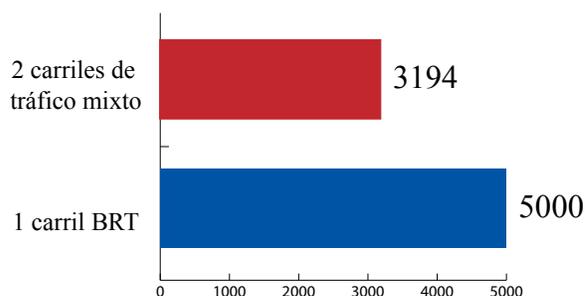
VÍCTIMAS EN CORREDORES DE AUTOBÚS POR TIPO DE USUARIO



Incluya información de Metrobús (Ciudad de México), TransMilenio, Macrobus (Guadalajara), BRTS (Delhi), Janmarg (Ahmedabad), RIT (Curitiba), así como Busways en Porto Alegre y Belo Horizonte.

VOLÚMEN DE PASAJEROS

Volúmen de pasajeros en hora pico de rendimiento en el corredor Macrobus BRT en Guadalajara, por tipo de carril (Información de 2009).



la estación es el momento cuando los pasajeros están en mayor riesgo (véase el gráfico superior de víctimas mortales por tipo de usuario). Garantizar la seguridad en el acceso a la estación es, por lo tanto, la clave para mejorar la seguridad de los pasajeros de autobús.

Por otra parte, en una vialidad con corredor de autobuses, más del 90% de los accidentes se producen en los carriles mixtos y no involucra los autobuses del sistema BRT. Esto fue confirmado por resultados similares de TransMilenio, e implica que la seguridad de un corredor de autobuses dependerá más del diseño de los carriles de tráfico mixto que de la configuración del sistema de autobús en sí mismo.

DISEÑO DE CALLES E INTERSECCIONES

Nuestros resultados de los modelos de frecuencia de accidentes indican que el ancho de la carretera, así como el tamaño y la complejidad de las intersecciones, son los más importantes predictores de las frecuencias de accidentes en los corredores de autobuses (Duduta et al. 2012). Esto tiene sentido, ya que en la mayoría de los corredores de autobuses en nuestra muestra, sólo alrededor del 9% de los accidentes se producen en los carriles de autobús, mientras que la gran mayoría se producen en los carriles de circulación general y no involucran autobuses.

El número de aproximaciones (accesos) por intersección es una de las claves en la problemática, junto con el número de carriles por aproximación y la distancia máxima de cruce peatonal. Las intersecciones donde el tráfico de calles laterales tiene permitido el cruce del corredor de autobuses son más peligrosas que las intersecciones donde sólo se permite voltear a la derecha.



Una intersección simple y estrecha a lo largo de la Línea 1 de Metrobús en la Ciudad de México. Imagen de Google Earth.



Una intersección amplia y compleja a lo largo de la Línea 1 de Metrobús en la Ciudad de México. Este tipo de diseño implica más cuestiones de seguridad que una intersección simple y estrecha como la de la imagen mostrada arriba. Imagen de Google Earth.

UBICACIÓN DE LOS CARRILES DE AUTOBÚS

Se encontró que los carriles de autobuses en contraflujo en la Ciudad de México y Porto Alegre están significativamente correlacionados con las tasas de accidentes más altas de vehículos y peatones. La consistencia de los resultados a través de los diferentes modelos sugiere que los carriles en contraflujo son la configuración más peligrosa para los sistemas de autobús (ver el detalle sobre el contraflujo en la página opuesta).

También se encontró que los carriles laterales (cercanos a la acera) tienen mayores tasas de accidentes que los carriles centrales, tanto en en Guadalajara como en la Ciudad de México. Sin embargo su nivel de riesgo es menor que el de los carriles en contraflujo.

La evaluación del impacto de la seguridad en los sistemas de carril central es ligeramente más compleja, ya que los cambios introducidos por el carril central BTR en una calle se miden a través de distintas variables. A diferencia de los corredores de autobús con acera lateral, que por lo general sólo sustituyen un carril de tráfico (o parqueo) con un carril de autobús, los sistemas de carril central implican un cambio significativo en la configuración de la calle.

Típicamente, esto implica la introducción de una mediana central para reemplazar un carril de tráfico, acortando la distancia de paso de peatones mediante la creación de un refugio para peatones en el centro de la calle y la creación de más intersecciones en T y menos intersecciones de 4 vías a lo largo del corredor. En Ciudad de México las variables para el número de carriles, mediana central, la distancia de cruce y el número de extremidades, se correlacionaron con tasas de accidentes más bajas y fueron significativos a través de los diferentes modelos.

CONTRAFLUJO

Los carriles en contraflujo son la configuración más peligrosa para cualquier sistema de autobús y generalmente deben ser evitados.

1. SISTEMA DE AUTOBÚS BI-DIRECCIONAL EN UNA CALLE DE UN SOLO SENTIDO

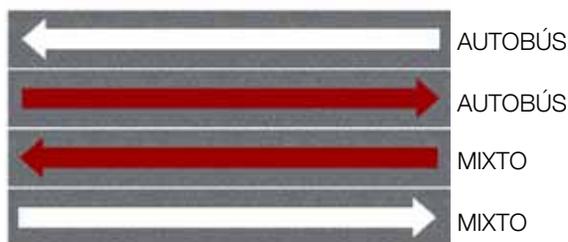
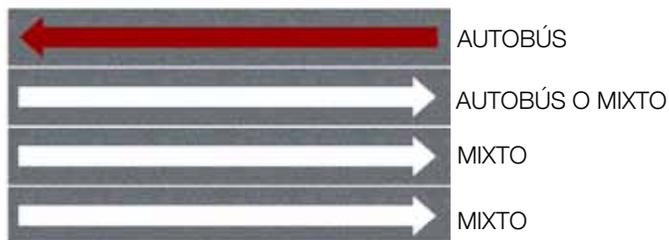
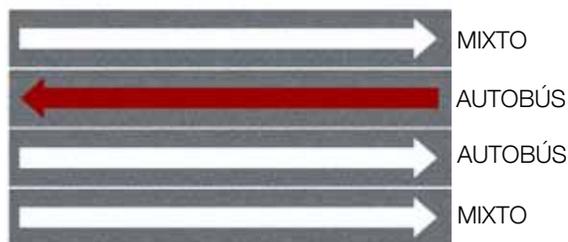
Este tipo de configuración de la calle está presente en la línea 2 del Metrobús en Ciudad de México y en una forma ligeramente diferente en algunas secciones de la línea 3 del Metrobús. Crea una situación inusual para los peatones al cruzar la calle, ya que el tráfico proviene de una dirección inesperada.

2. CARRIL CON ACERA LATERAL EN CONTRAFLUJO

Este es el tipo de carril en contraflujo incluido en nuestro modelo de frecuencia de choques. En la Ciudad de México, la presencia de este tipo de carril en contraflujo se correlacionó con un aumento del 55% en colisiones de vehículos y un aumento del 39% en los accidentes de peatones ($p < 0,001$). En Porto Alegre, este tipo de carril se correlacionó con un incremento del 74% en colisiones de vehículos ($p < 0,05$) y no hubo datos suficientes para desarrollar un modelo peatonal (Duduta et al. 2012). Esta variable es altamente significativa en los todos los modelos y fue uno de los predictores más fuertes de frecuencia de accidentes en ambas ciudades. Un segmento de la Línea Sur en el sistema BRT de Curitiba cuenta con una forma ligeramente diferente de este tipo de configuración y tiene cuatro veces más accidentes por carril por kilómetro que el resto de la Línea Sur, que tiene una configuración estándar de carril central.

3. ALINEAMIENTO LATERAL

Una sección de la ruta de autobuses sureste en Brisbane, Australia tiene una configuración similar. El tipo de accidente peatonal más frecuente en esta sección - y el único accidente fatal incluido en los datos recibidos - involucra colisiones entre autobuses que operan en el carril en contraflujo y los peatones al cruzar la calle.



Diagramas que ilustran diferentes contraflujos encontrados en nuestro análisis de información e inspecciones de seguridad vial. Los carriles en contraflujo son indicados en rojo.



Un carril con acera lateral en contraflujo en el Eje 2 Oriente en la Ciudad de México (la calle tiene un carril de bus en dirección sur y cinco carriles hacia el norte, aunque sólo dos se pueden ver en esta imagen). El camión pequeño que recorría el carril contraflujo hacia el sur trató de adelantar al autobús cuando se detuvo en la parada. Los coches hacia el norte están tratando de salir del camino. Nótese también al peatón llevando la mercancía en el carril de autobús. Foto de Carsten Wass.

Si bien las consideraciones de seguridad se pueden incluir en cualquier etapa durante la planificación, diseño y operación de un sistema de autobús, siempre es más costo efectivo incluirlas en etapas tempranas de la planificación.

AUDITORÍAS DE SEGURIDAD VIAL

Una auditoría de la seguridad vial es un examen sistemático de un proyecto vial o de transporte, con el objetivo de identificar los principales riesgos de seguridad y proponer soluciones para mitigarlos. Las auditorías se pueden realizar en cualquier momento durante la planificación y diseño del proyecto.

Una auditoría debe ser realizada por un auditor certificado en seguridad vial, que debe ser independiente del equipo de diseño, para asegurar la objetividad y evitar conflictos de interés. Las auditorías siempre implican una evaluación de los planos de diseño y deben ser acompañadas por una visita al sitio para obtener una mejor comprensión de las condiciones del terreno. El auditor entrega un informe al equipo de diseño, que está a cargo de implementar las recomendaciones del auditor.

INSPECCIONES DE SEGURIDAD VIAL

Una inspección es una evaluación sistemática de una vía o sistema de transporte existente. El objetivo es similar al de una auditoría; es decir, incluye la identificación de los riesgos de seguridad y propone soluciones.

Las auditorías tienden a ser una herramienta más costo efectiva para mejorar la seguridad que las inspecciones. Es siempre más fácil cambiar un diseño que modificar una pieza de infraestructura ya existente.

Una inspección, por otro lado, puede identificar más problemas de seguridad, ya que el auditor puede observar la vía en operación y también estudiar los datos de accidentes, además de evaluar el diseño vial. Las inspecciones también pueden incorporar una evaluación de las señales verticales y marcas en el pavimento (señales horizontales).

Las inspecciones son más efectivas si se llevan a cabo antes de que otros trabajos de mantenimiento mayores y otros trabajos de diseño programados en el corredor. De esta manera, las recomendaciones de la inspección se pueden incorporar en el trabajo planificado.

LINEAMIENTOS DE DISEÑO

Los lineamientos de diseño de la seguridad vial no pretenden sustituir las auditorías o inspecciones. Por el contrario, deben ser vistos como una herramienta complementaria. Estos deberían ser consultados antes de que comience el proceso de planificación de un nuevo corredor de autobús y utilizados como una referencia durante el proceso de diseño.

Los lineamientos de diseño pueden ser muy efectivos en la mejora de la seguridad, ya que ayudarían a los planificadores, ingenieros y diseñadores a integrar las consideraciones de seguridad durante la planificación y el diseño de un corredor.

A diferencia de las auditorías e inspecciones, los lineamientos de diseño no pueden ser realizados específicamente en el sitio, por lo que las recomendaciones que aparecen en ellos no son directamente aplicables a un corredor específico o intersección. Corresponde a los responsables del diseño del corredor adaptar las recomendaciones generales de los lineamientos de diseño en las condiciones específicas del lugar, teniendo en cuenta el diseño aplicable y las normas generales de señalización en cada país o región.

LINEAMIENTOS DE DISEÑO

Los lineamientos de diseño se organizan de acuerdo a los siguientes capítulos:

- DISEÑO DE LA CALLE
- INTERSECCIONES
- ESTACIONES Y ACCESO A LAS ESTACIONES
- CONEXIONES Y TERMINALES

Cada capítulo comienza con un resumen de los principales problemas de seguridad a considerar en el diseño de una pieza específica de la infraestructura. Se pasa luego a ilustrar los conceptos de diseño para calles, intersecciones o la configuración de estaciones.

TIPOS DE CORREDORES DE AUTOBÚS INCLUIDOS

Estos lineamientos incluyen los siguientes tipos de corredor de autobús

- Carril central BRT (carril simple o múltiple) con autobuses con piso elevado y estaciones medianas cerradas.
- Rutas para autobús con carril central con autobuses con piso bajo y puerta al lado derecho y estaciones abiertas.
- BRT o rutas para autobús con acera al costado.
- Carriles para autobús priorizados con acera al costado.
- Servicio de autobús convencional en tráfico mixto.

CONCEPTOS DE DISEÑO

Cada concepto se ilustra mediante un diseño en 3D que incluye la geometría, señalización y marcas, mobiliario urbano, iluminación y tipos de pavimento. Utilizamos anotaciones para desarrollar aspectos concretos de cada diseño, sugerir alternativas de diseño o recomendar medidas específicas donde sea apropiado.

Además de ilustrar las mejores prácticas de diseño, analizamos los impactos de cada opción de diseño en términos de seguridad vial y operaciones de autobuses.

ANÁLISIS DE SEGURIDAD

El análisis de seguridad se centra en los riesgos comunes y los tipos de accidentes por cada diseño específico. Utilizamos extractos de nuestro análisis de datos o las observaciones de las inspecciones de seguridad vial para ilustrar los problemas de seguridad.

OPERACIONES DE AUTOBUSES

Para cada concepto de diseño, también incluimos una breve explicación sobre cómo las características de seguridad recomendadas pueden impactar las operaciones de los autobuses. Nos enfocamos sobre todo en dos aspectos de las operaciones que son indicadores clave de rendimiento del sistema: velocidades de operación y capacidad de pasajeros.

La capacidad de pasajeros de un sistema de autobús está generalmente limitada por la configuración de la estación, con más frecuencia que por las intersecciones o secciones a mitad de cuadra (Hidalgo, Lleras, y Hernández, 2011, Lindau y otros, 2011). Ninguna de las recomendaciones de esta guía tiene impacto en los elementos de diseño de la estación que influyen en la capacidad, tales como el número de plataformas por estación, la presencia de carriles de adelantamientos y los servicios expresos, etc. Algunas de las recomendaciones (como la instalación de pasos peatonales señalizados a mitad de cuadra) pueden reducir la capacidad en secciones a mitad de cuadra de los corredores. Sin embargo, incluso esta capacidad reducida es superior a la capacidad de la estación. Por ejemplo, un solo carril por dirección del sistema BRT con 50 segundos de fase verde de un ciclo total de 90 segundos en un cruce a mitad de cuadra tendrá una capacidad de poco más de 55,000 pasajeros por hora por dirección (pphpd) en ese lugar (calculada de Hidalgo, Lleras y Hernández, 2011). Esta capacidad es más de tres veces mayor que la máxima capacidad de estación para este tipo de sistema, que es 15,000 pphpd (Lindau y otros, 2011).

Por otro lado, algunas de las recomendaciones tienen impacto en la velocidad de los autobuses. En algunos casos, se recomienda la reducción de la velocidad del autobús en lugares específicos con la finalidad mitigar un tipo específico de accidente (por ejemplo, reducción de velocidad de autobuses expresos en las entradas de las estaciones). En otros casos, las recomendaciones incluyen la implantación de cruces a media cuadra adicionales o el alargamiento de la fase de la señal del semáforo, lo cual puede contribuir a la reducción de velocidad de los autobuses. Cuando este es el caso, lo señalamos en el texto junto con un dibujo, en el entendimiento de que la seguridad debe ser la primera prioridad cuando se trata de posibles balances entre la seguridad, la velocidad y la capacidad.

DISEÑO DE LA CALLE

TEMAS CLAVES DE SEGURIDAD VIAL

CRUCES A MITAD DE CUADRA

En los centros urbanos densos, sobre todo en países en desarrollo, se pueden esperar grandes volúmenes de peatones cruzando, esperando o caminando por los carriles de autobuses. Por otra parte, los peatones suelen percibir los carriles para autobuses como más seguros que los carriles de circulación general, debido a su menor volumen de tráfico. En la Ciudad de México, se han observado peatones cruzando el BRT por la mitad de la cuadra, esperando en los carriles BRT a que se produzca un espacio en el tráfico de los carriles mixtos para pasar.

Este problema también se observa en vías de la periferia urbana. A menudo, estas vías son antiguas carreteras que no han sido modificadas para reflejar los cambios en el uso del suelo alrededor de las mismas conforme la ciudad se ha expandido. En general, las cuadras son largas –hasta 1 km, y los peatones buscan cruces intermedios. Como resultado, el riesgo es alto, en la medida que los autobuses circulan a mayor velocidad que en vías del centro.

La velocidad comercial es un indicador clave de desempeño para el BRT y carriles exclusivos de autobús, pero el aumento de la velocidad para los autobuses puede contribuir en el incremento de la gravedad en los accidentes de peatones. Limitar las oportunidades para los pasos de peatones mediante la colocación de barreras y vallas de protección mitiga ambos riesgos, pero podría reducir la accesibilidad para los peatones y transformar el corredor de autobús en una barrera urbana. El riesgo de este tipo de intervención es que algunos peatones simplemente salten por encima de las barandas, las eliminen o las dañen, para cruzar por la mitad de la cuadra.

Con el fin de afrontar este problema, se recomienda llevar a cabo un estudio de accesibilidad para el nuevo corredor de autobús, donde se identifiquen los lugares con una alta demanda de cruce peatonal en mitad de la cuadra. Observaciones desarrolladas para el desarrollo de esta guía indican que las áreas alrededor de los principales mercados tienen altos volúmenes peatonales y una incidencia especialmente alta de cruces a mitad de la cuadra. Otros usos del suelo que generan tráfico peatonal son las instalaciones educativas (especialmente campus de gran tamaño), edificios religiosos y espacios para eventos. Es importante asegurarse de que estos lugares tengan instalaciones adecuadas de cruce para peatones y que cuando los cruces a nivel no sean posibles, existen barreras de protección u otras barreras para evitar el cruce imprudente de las calles.



Peatones cruzando el corredor del BRTS de Delhi por la mitad de la cuadra. Foto de EMBARQ.



Peatón cruzando el corredor de TransMilenio por la mitad de la cuadra. Foto de EMBARQ.

En las siguientes páginas se presentan varios conceptos de diseño para segmentos viales que se ocupan de las cuestiones de seguridad más importantes tratadas en la página anterior.

Los tipos de vías elegidas, su amplitud y los tipos de sistemas de autobús presentados, se basan en configuraciones comunes encontrados en los corredores de autobuses incluidos en la información recabada para el desarrollo de estas guías.

La presentación se inicia con corredores con carril central BRT, ilustrando diferentes maneras para manejar los cruces a mitad de cuadra, dependiendo del tipo de vía: arteria urbana, calle estrecha y autopista.

Los principios de diseño y características de seguridad que presentamos para los corredores de carril central BRT son aplicables a los demás tipos de sistemas de autobús. Estos incluyen medidas para calmar el tráfico para los carriles de tráfico mixto, la configuración de los cruces en mitad de cuadra, puentes peatonales, la infraestructura

para bicicletas, barandas de seguridad y la colocación adecuada de vegetación a lo largo del corredor.

También hay algunas cuestiones clave que son específicas de los corredores de autobús con acera lateral, en particular se recomienda la colocación de barandas de protección. Por esta razón, también se incluye un concepto de diseño diferente para carril con acera lateral, ilustrando la importancia de la colocación de barandillas o medianas a lo largo de la acera.

LISTA DE ILUSTRACIONES

Cruce a mitad de cuadra en una arteria urbana.....	18
Cruce a mitad de cuadra en una calle estrecha.....	20
Puentes peatonales.....	22
Barandillas de protección.....	24
Infraestructura para ciclistas y vegetación.....	26
Diseño de la calle para carriles con acera lateral.....	28

SEGMENTOS VIALES - CARRIL CENTRAL BRT / CARRIL PARA AUTOBÚS CRUCE A MITAD DE CUADRA EN UNA ARTERIA URBANA

Todos los cruces peatonales en los sistemas de autobús situados en vías urbanas deben contar con semáforo con indicación para peatones.

Se recomienda el uso de cruces escalonados en mitad de cuadra. Si se configura como en la imagen siguiente, los peatones en la mediana siempre verán la dirección del tráfico que desean cruzar. Un cruce escalonado también aumenta el área disponible de espera para peatones si no pueden cruzar la calle en una fase.

Un problema común con los cruces en mitad de la cuadra es que pueden ser utilizados por vehículos motorizados para realizar giros en U. Este problema se puede eliminar colocando bolardos para los vehículos más grandes. La configuración escalonada también puede reducir el potencial para giro en U de motociclistas.



Los vehículos no siempre se detienen en una luz roja por un cruce peatonal a media cuadra. Se recomienda disminuir el riesgo mediante la colocación de topes reductores de velocidad u otro tipo de dispositivos para calmar el tráfico delante del cruce peatonal, para asegurar que al menos los vehículos arriben al cruce a una velocidad menor. Para los carriles de autobús, esto podría abordarse a través del entrenamiento de conductores y mecanismos de supervisión que aseguren el cumplimiento de las normas –e.g. verificación de bitácora de abordaje.

SEGURIDAD VIAL

Los cruces peatonales a mitad de cuadra en arterias urbanas deberían contar con semáforos. Esta es una de las características de seguridad más importantes para los peatones, puesto que estos cruces se encuentran normalmente en las secciones del corredor con cuadras más largas, donde la velocidad del tráfico puede ser más alta.

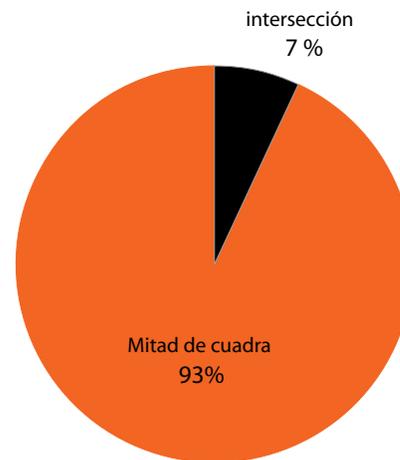
Idealmente, la duración de la fase verde para peatones debería proporcionar tiempo suficiente para que los peatones crucen la calle entera en una sola fase. Se recomienda considerar una velocidad de desplazamiento de 1,2 metros por segundo (m/s) en la mayoría de los casos y 1 m/s en las zonas donde más del 20% de los peatones son adultos mayores para determinar la duración de la fase verde peatonal (HCM 2010).

También se recomienda usar una mediana central y proporcionar una isla de refugio peatonal en el centro del cruce. Las islas de refugio pueden mejorar considerablemente la seguridad de los peatones de acuerdo con observaciones realizadas en el terreno.



Peatones cruzando la vía a través de los carriles de autobús en el BRT TransMilenio en Bogotá. Foto de EMBARQ.

LUGAR DE ACCIDENTES PEATONALES EN PORTO ALEGRE, BRASIL



Calculado de una base de datos de accidentes proporcionada por la Empresa Pública de Transporte e Circulação (EPTC), Porto Alegre, 2011.

OPERACIONES

La capacidad máxima de un corredor de BRT con un solo carril sin adelantar en las estaciones está por lo general entre 9,000 y 15,000 pphpd (Lindau et al. 2011, Wright y Hook 2007).

Para un corredor que utiliza dos carriles por dirección, junto con una combinación de servicios locales y expresos y de múltiples plataformas en las estaciones, la capacidad puede ser tan alta como 55.000 pphpd (Hidalgo Lleras, y Hernández, 2011). A lo largo de esta guía, nos referiremos a estos valores como la capacidad práctica del corredor. Para cada intersección, cruce a mitad de cuadra, o en la estación, le proporcionaremos un estimado de la capacidad, basándose en las posibles señales de configuración y luego compararemos esa capacidad con la capacidad práctica del corredor. Cuando la proporción es mayor a 1, significa que el diseño particular, integrando todas las características de seguridad que proponemos, podría no tener un impacto negativo en la capacidad del corredor.

En este caso, la capacidad de pasajeros del corredor de autobús en este cruce a mitad de cuadra oscila entre 40,000 y 52,000 pphpd por carril, dependiendo de la longitud y configuración del ciclo de la señal. Esto es considerablemente mayor que la capacidad real del sistema. Instalar cruces en mitad de cuadra en los lugares donde se espera que grandes volúmenes de peatones crucen no debería tener un impacto negativo en la capacidad de pasajeros.

Los cruces a mitad de cuadra a lo largo de tramos del corredor pueden reducir la velocidad promedio de operación para el sistema de autobús. A pesar de que la velocidad comercial es un indicador clave de desempeño para los sistemas de autobús y especialmente para los BRT, la seguridad de los peatones siempre debe tener prioridad.

SEGMENTOS VIALES- CARRIL CENTRAL BRT / CARRIL PARA AUTOBÚS CRUCE A MITAD DE CUADRA EN UNA VIA ESTRECHA

Las vías estrechas en el centro de la ciudad suelen tener mayores volúmenes de peatones. En estos casos, es importante reducir la velocidad del autobús con el fin de dar a los conductores más tiempo para reaccionar a los conflictos con los peatones y garantizar que los autobuses puedan detenerse a una distancia más corta.

Este tipo de solución se ha implementado en el Eje Ambiental, en Bogotá – un tramo del corredor BRT con únicamente tráfico de autobuses y peatonal -, donde las velocidades máximas para Autobuses TransMilenio son de 20 kmh, en oposición a 60 kmh en el resto del sistema.

Los bolardos o postes pequeños evitan que los carros se estacionen ilícitamente en la acera. Se recomienda también la colocación de al menos un bolardo en el centro de las islas de refugio para peatones, para evitar que los coches intenten girar en U en el cruce a mitad de cuadra. Cuando se colocan bolardos en los pasos de peatones o isla refugio, es importante asegurarse que cuenten con espaciado correcto para permitir el paso de cochecitos y sillas de ruedas entre ellos.

Distancia mínima recomendada entre los bolardos: 1,2m



Esta configuración de la calle cuenta con sólo un carril de tráfico mixto por dirección y un espacio de separación entre cada carril y la acera. Este espacio puede ser utilizado como un carril de estacionamiento, áreas con vegetación, ciclovia o para la colocación de barreras para reducir el tráfico cerca de los cruces peatonales en mitad de cuadra..

SEGURIDAD VIAL

La demora peatonal es un tema clave a considerar en el diseño de cruces a mitad de cuadra. Mientras más larga es la espera para la luz verde para cruzar, mayores son las probabilidades de que crucen en luz roja.

El Manual de Capacidad de la Carretera (HCM 2010) recomienda mantener la demora peatonal debajo de los 30 segundos e idealmente llevarla por debajo de los 10 segundos, de ser posible.

La clave para mantener baja la demora peatonal es tener ciclos cortos para el semáforo y fases rojas cortas para los peatones. Los ejemplos siguientes ilustran dos configuraciones de tiempo de señales y sus consecuencias en el retraso de peatones.

El ejemplo 1 tiene por objeto minimizar el retraso de los peatones. Tiene un ciclo de 70 segundos y una fase verde para el autobús de 30 segundos. El retraso para los peatones es menor a 10 segundos, según lo recomendado por el HCM, y la capacidad del corredor del carril simple de autobús, de 36.300 pphpd, superior a lo que una estación simple podría manejar.

El ejemplo 2 tiene como objetivo maximizar la capacidad de pasajeros en el corredor de autobús. El ciclo de la señal es más largo, de 90 segundos, y la fase verde para autobús también es de 50 segundos. Bajo estas condiciones, el retraso peatonal es 19 segundos (más del doble).

OPERACIONES

Puesto que esta vía es más estrecha que en el ejemplo anterior, el tiempo en la fase de verde requerido para el cruce de peatones en una sola fase es menor. Como resultado, es posible lograr una mayor capacidad de pasajeros en este cruce a mitad de cuadra, mientras se mantiene baja la demora peatonal.

Es importante señalar que en ambos casos, la capacidad en este cruce es más alta que la capacidad práctica del sistema - que está limitada por las estaciones. Por lo tanto recomendamos el uso de un ciclo más corto y la maximización de la fase verde peatonal para disuadir a los peatones de cruzar en una luz roja.

En la página opuesta, se sugiere reducir la velocidad de los autobuses en este tipo de vía si los volúmenes de peatones son elevados. En términos de operaciones, esto no impacta la capacidad pero si el tamaño de la flota de autobuses. Con una velocidad menor se requieren más autobuses para transportar el mismo número de pasajeros.

CÁLCULO DE LA DEMORA PEATONAL:

$$d_p = \frac{(C - g_{walk,mi})^2}{2C}$$

Source: Donde d_p es la demora peatonal, C es la duración del ciclo de la señal, y $g_{walk,mi}$ es el tiempo efectivo de paso para los peatones que cruzan el corredor de autobús. Todas las medidas son en segundos. $g_{walk,mi}$ puede ser estimado como equivalente a la duración de la fase verde peatonal más cuatro segundos. Fuente: HCM 2010.

EJEMPLOS:

	g autobús (s)	C(s)	Ca (pphd)	dp (s)
Ejemplo 1	30	70	36,300	9.3
Ejemplo 2	50	90	47,000	19.3

Donde g autobús es la duración en segundos de la fase verde para el corredor de autobús, C es la duración del ciclo del semáforo en segundos, Ca (pphd) es la capacidad de pasajeros por carril del corredor para autobús (en pasajeros por hora por dirección) y dp es la demora peatonal en segundos.

En los segmentos donde se ubican puentes peatonales se requieren barandas de seguridad a lo largo del borde de la acera. De esta forma, se evita el cruce de peatones de peatones en los puntos intermedios. Las barandas de seguridad deben extenderse a lo largo de toda la longitud de la sección del corredor.



Los puentes peatonales requieren accesos para personas con movilidad reducida (Rickert 2007). Dado que el puente debe ser suficientemente alto para permitir el paso de los vehículos grandes, las rampas pueden ser largas. También se pueden usar elevadores para dar acceso a los discapacitados en caso que no se implanten rampas.

SEGURIDAD VIAL

La mayoría de los puentes peatonales hacen poco para mejorar la seguridad de los peatones. El análisis estadístico de los datos de la Ciudad de México no muestra correlación positiva entre los puentes peatonales y la reducción de accidentes de peatones. Las observaciones de las inspecciones de seguridad vial sugieren que los peatones rara vez los utilizan, prefiriendo en su lugar cruzar la calle imprudentemente.

Como regla general, se recomienda utilizar cruces peatonales señalizados a nivel en los corredores BTR y evitar puentes peatonales. Los puentes deberían ser utilizados solamente en vías de alta velocidad, tales como las autopistas, o en los casos donde no es práctico colocar un paso de peatones señalizado. No se recomienda el uso de puentes peatonales cuando sólo hay dos carriles de tráfico mixto por sentido. En vías estrechas hay una mayor probabilidad que los peatones salten por encima de las barandillas y crucen a nivel debajo de los puentes peatonales.

Los puentes peatonales deben estar siempre acompañados por barandillas para evitar que los peatones crucen la calle imprudentemente. Las barandillas deberían ser lo suficientemente altas para evitar que la gente salte por encima de ellas. Dichas barandillas deberían ser inspeccionadas con frecuencia y reemplazadas cuando estén dañadas o destruidas.



Peatón cruzando la calle imprudentemente debajo de un puente peatonal en Arequipa, Perú. Foto de Carsten Wass.



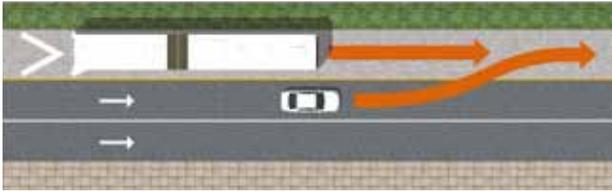
Peatones saltando por encima de una barandilla y cruzando imprudentemente a través del carril de autobús en Delhi, al lado de un puente peatonal. Foto de EMBARQ.

OPERACIONES

Los puentes peatonales proporcionan una separación completa entre el autobús y el tráfico peatonal. Como resultado, la capacidad de un carril de autobús no se ve afectada por el paso de peatones ni tampoco la velocidad operativa.

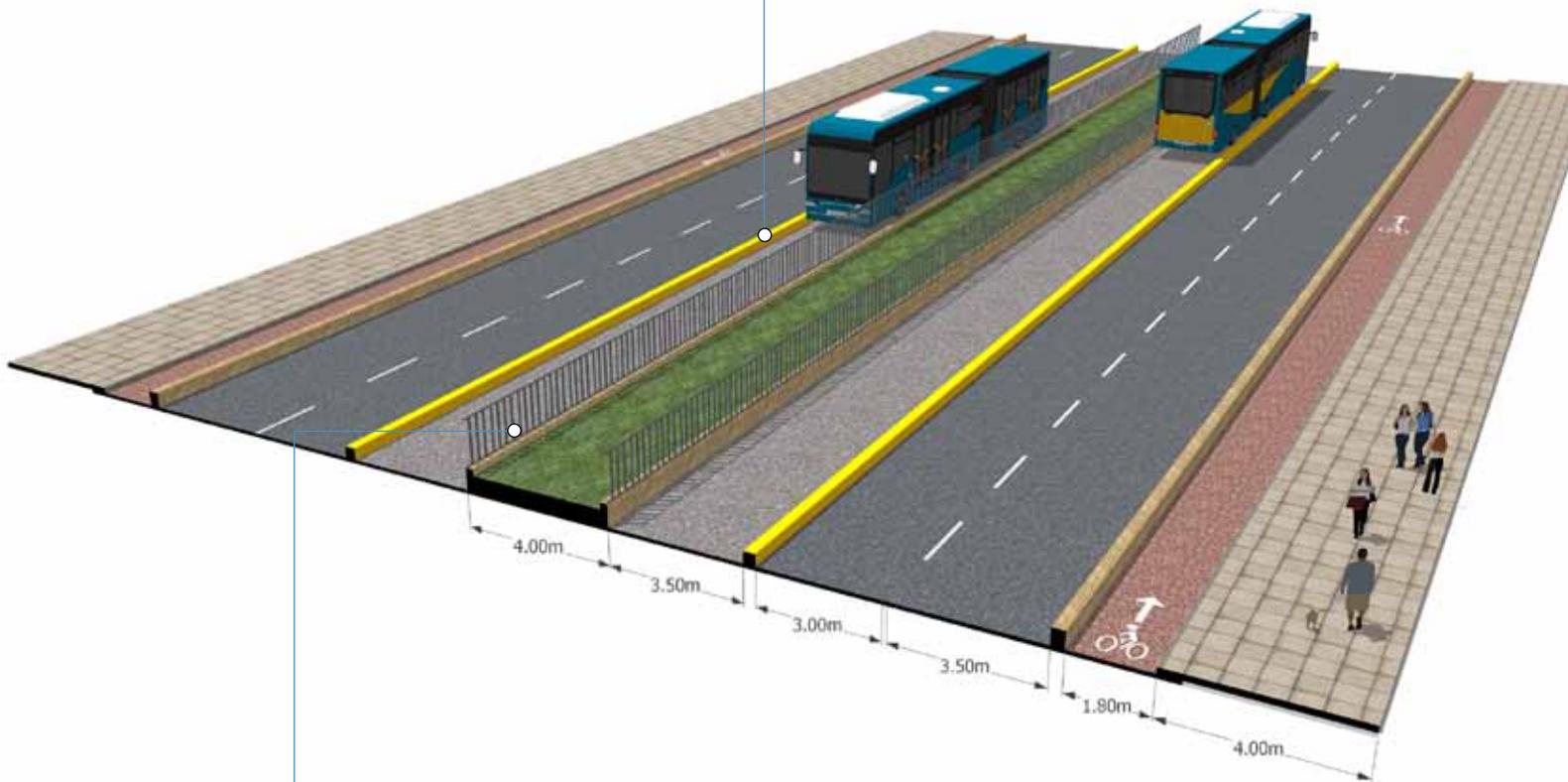
Sin embargo, si el puente peatonal se utiliza en un contexto inapropiado (por ejemplo, una arteria urbana angosta), es probable que los peatones crucen los carriles de autobús a pie o esperen en los carriles bus antes de cruzar los carriles mixtos, lo cual plantea problemas de seguridad tanto para peatones como para los pasajeros de autobuses.

SEGMENTOS VIALES –CARRIL CENTRAL BRT/ RUTAS DE AUTOBÚS BARANDAS



Un tipo de choque común en los corredores de autobús con carriles de autobús dedicados – automóviles que ingresan a los carriles de autobús y colisionan con autobuses.

La separación física entre los carriles de autobús y los carriles de tráfico mixto es esencial para eliminar el riesgo de vehículos que ingresan y colisionan con autobuses. Las marcas en el carril y las boyas en el pavimento no son medidas efectivas para eliminar estos conflictos. Se recomienda usar bordillos o una mediana.



Las barandas deben utilizarse a lo largo de toda la longitud del corredor entre los pasos peatonales, para evitar que los peatones crucen la calle. Se recomienda el uso de barandillas resistentes y la inspección frecuente de estas, ya que podrían dañarse o destruirse.

Las barandas también deben ser suficientemente altas como para disuadir a los peatones a pasen por encima de ellas. El uso de una mediana instalada entre las barandas también puede ayudar a impedir que las personas traten de cruzar.



Barandilla a lo largo de un carril para autobús en Belo Horizonte, Brasil, eliminada para permitir el cruce en mitad de la cuadra. Foto de Carsten Wass.



Peatones saltando sobre las barandillas en un corredor para autobús en Delhi. Foto de EMBARQ India.

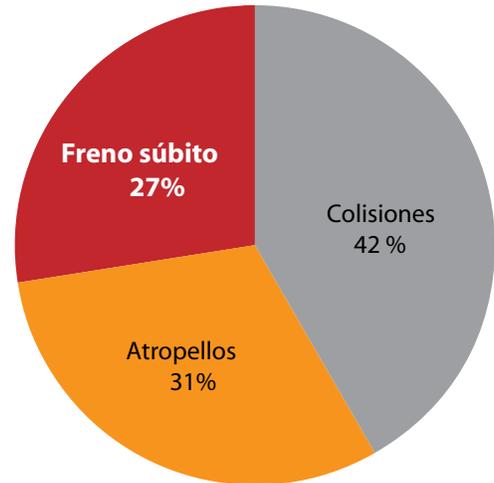
SEGURIDAD VIAL

Para aquellas secciones del corredor entre los cruces de peatones - y especialmente si la velocidad del autobús es alta - es importante prevenir la entrada de vehículos y peatones a los carriles de autobús. Esta es una cuestión clave para la seguridad vial; además, puede ayudar a reducir el número de lesiones a los pasajeros de autobús. Una causa común de lesiones en los pasajeros de BRT es cuando los conductores frenan de repente por evitar peatones en los carriles de autobús.

Los autobuses tienen una tasa máxima de frenado relativamente alta. Si bien esto puede ayudar a un conductor de autobús a frenar a tiempo para evitar golpear a los peatones, supone un riesgo de seguridad para los pasajeros en el interior del autobús.

La base de datos de incidentes de TransMilenio en Bogotá muestra que la tercera de causa de accidentes con lesiones que involucran autobuses de TransMilenio es la parada brusca. De las descripciones de accidentes, así como de las discusiones con el personal de seguridad de TRANSMILENIO, nos enteramos que los conductores han sido entrenados para reaccionar ante de la presencia de los peatones en los carriles de autobús frenando bruscamente para evitar atropellos. Como resultado de la aplicación de esta medida, el personal de TRANSMILENIO informó que los accidentes de peatones en el sistema han disminuido, mientras que las lesiones a los pasajeros de autobús han aumentado, por caídas en el interior del autobús. Frenar bruscamente para evitar accidentes con peatones también ha ocasionado colisiones por la parte posterior y colisiones entre autobuses BRT que viajan en caravana.

ACCIDENTES CON HERIDOS QUE INVOLUCRAN A TRANSMILENIO VEHÍCULOS EN BOGOTÁ, POR TIPO



Calculado a partir de datos proporcionados por TRANSMILENIO S.A. Incluye los accidentes con vehículos de BRT reportados por el personal de TRANSMILENIO entre 2005 y 2011.

OPERACIONES

Desde una perspectiva de seguridad peatonal, la ubicación precisa de las barandas no es importante, siempre y cuando ésta provea una barrera eficiente para evitar los cruces imprudentes. Las barandillas pueden situarse en la mediana, a lo largo de la acera o entre los carriles de tráfico mixto y los carriles de autobús.

Para las operaciones de autobús, puede ser más ventajoso colocar las barreras de protección entre los carriles de autobús y los carriles de tráfico mixto. Esto evita cruces peatonales y de tráfico mixto.

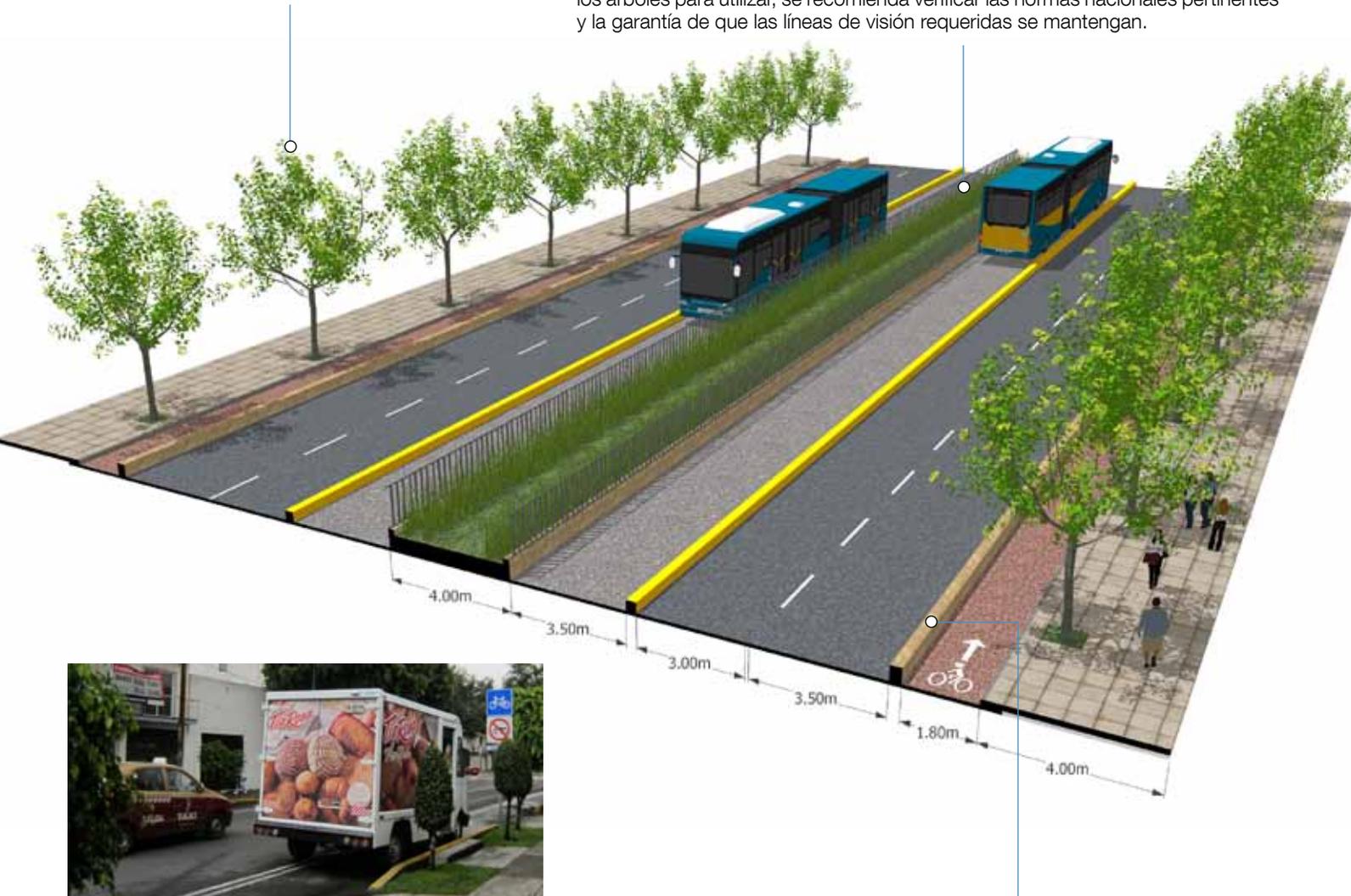


Barandillas entre los carriles de autobús y los carriles de tráfico mixto en el corredor BTR Janmarg en Ahmedabad Foto de EMBARQ.

SEGMENTOS VIALES –CARRIL CENTRAL BRT/ RUTAS DE AUTOBÚS INFRAESTRUCTURA PARA CICLISTAS Y VEGETACIÓN

La presencia de árboles en las aceras no debe obstruir la visibilidad en las aproximaciones de las intersecciones o en los cruces en mitad de cuadra. En climas cálidos, se recomienda un espaciamiento tal que los árboles formen un toldo continuo, ofreciendo sombra a los peatones.

No se recomienda la plantación de árboles de gran tamaño en la mediana central, ya que su follaje puede crecer dentro de los carriles de autobús, generando acciones evasivas peligrosas por parte de los conductores. Esto puede ser manejado de forma adecuada con el mantenimiento y recorte de la vegetación. Sin embargo, en la mayoría de los casos, esto no es responsabilidad de la agencia de autobús, sino de otra agencia de gobierno local y deben asegurarse las coordinaciones necesarias. Los árboles grandes también deben ser evitados en las aproximaciones a las intersecciones y cruces a mitad de cuadra. Al elegir los árboles para utilizar, se recomienda verificar las normas nacionales pertinentes y la garantía de que las líneas de visión requeridas se mantengan.



Camión de reparto estacionado en un carril de bicicleta en la Ciudad de México. Foto de EMBARQ.



Ciclovía en el BRT Janmarg en Ahmedabad, utilizada como estacionamiento por motocicletas. Foto de EMBARQ.

La separación física de los carriles para bicicletas es esencial para asegurar que los vehículos no los invadans. Un bordillo o barreras intermitentes elevadas son mecanismos simples para crear esa separación. Estas opciones son de fácil mantenimiento y toman poco espacio (20-30cm.).

También es importante asegurarse de que el carril de bicicletas no sea invadido por vendedores ambulantes o se utilice como estacionamiento para motocicletas, como en el caso de algunos tramos del BRT Janmarg en Ahmedabad. En parte, esto podría resolverse proporcionando un espacio adecuado para todas las actividades a lo largo de la calle - incluyendo estacionamiento para vehículos de dos ruedas. Sin embargo, el logro de este objetivo se da también mediante la aplicación de la ley y la educación de usuarios.

SEGURIDAD VIAL

Cuando no hay instalaciones para bicicletas en la calle, los ciclistas a menudo eligen los carriles de autobuses dedicados, porque los consideran más seguros que los carriles de tráfico mixto. Sin embargo, los carriles de autobús no están diseñados para dar cabida a autobuses y bicicletas a la vez, y compartir los carriles a menudo puede resultar en accidentes graves e incluso mortales.

En algunas ciudades europeas las bicicletas y autobuses comparten el mismo carril, pero esto normalmente implica reducir las velocidades de los autobuses y proveer un ancho adicional en el carril para permitir el paso simultáneo. Esto generalmente no es práctico en los corredores de BRT o carriles de autobús, que cuentan con un ancho de carriles de 3 a 3,5 metros y con grandes autobuses articulados que viajan a altas velocidades.

Si el volumen de ciclistas es importante se recomienda utilizar infraestructura dedicada para bicicletas. Idealmente, en una red de calles densas con cuadras cortas, la infraestructura para ciclistas puede ubicarse en una calle paralela al corredor de BRT para evitar conflictos entre bicicletas y todos los otros modos de tráfico que utilizan el corredor de autobuses. Si esto no es factible, la infraestructura para ciclistas debe ser ubicada en el corredor del autobús.

Recomendamos el uso de pistas para bicicletas, separadas del tráfico motorizado, y distinguirlas de la acera (NACTO 2011). Esta configuración es más segura que los carriles para bicicletas sin separación física.

La separación física es importante en ciudades de países en desarrollo, en la medida que existe menor educación y control en el respeto de las señales y marcas que señalizan los carriles para bicicletas. En muchos lugares los carriles de bicicletas se utilizan para el estacionamiento de vehículos. En áreas comerciales, el diseño debe tener en cuenta la distribución de mercancías, preferentemente en calles adyacentes.



Ciclista usando el carril dedicado a autobuses en la Línea de Metrobús 3 (Puente de Alvarado), en la Ciudad de México. Foto de Carsten Wass.



Ciclistas usando el carril dedicado a autobuses en el sistema BRT en Curitiba. Los ciclistas no están autorizados para circular en los carriles de autobuses. Foto cortesía de EMBARQ Brasil.

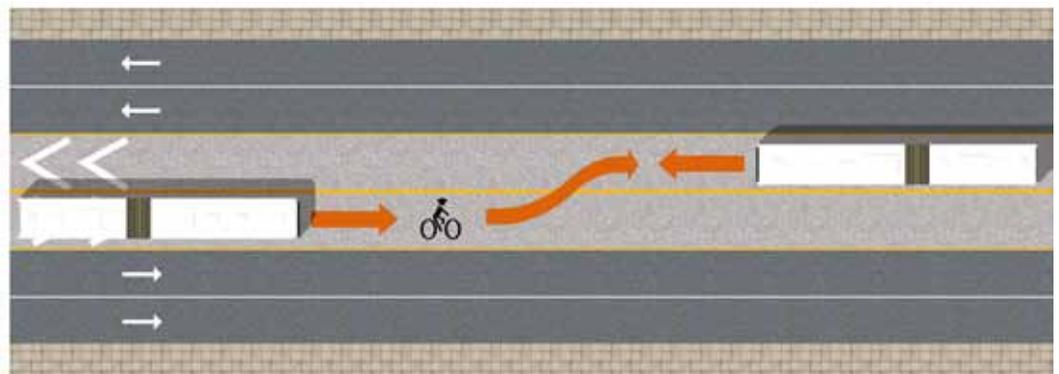


Diagrama del accidente: colisión entre un ciclista y un vehículo BRT, descrita por personal de Metrobús, Ciudad de México. Una situación común de accidente involucra ciclistas intentando salir de la ruta de un autobús que se aproxima por detrás y que ya sea chocan contra el autobús o pierden el control y caen. Estas situaciones usualmente resultan en heridos graves.

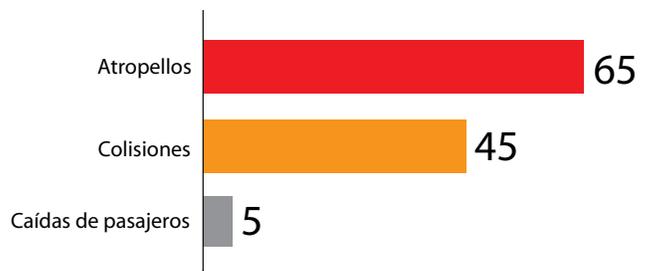
SEGURIDAD VIAL

Los carriles de autobús con acera lateral tienden a tener mayores problemas de seguridad que los corredores de autobús con carril central. El mayor problema de seguridad son los accidentes entre autobuses y peatones. Dado que los carriles de autobús son directamente adyacentes a la vereda, el tráfico de peatones se extenderá frecuentemente a los carriles.

En áreas con volúmenes peatonales elevados, no es raro ver a la gente caminando, a la espera, o transportando mercancía en los carriles de autobús. En algunos casos, esto puede ser debido al hacinamiento en las aceras, pero no siempre. Durante las inspecciones realizadas, las aceras en Eje Central en Ciudad de México no estaban llenas; sin embargo, gran cantidad de personas utilizan los carriles de autobús.

En cierta medida, este es un problema de accesibilidad. Las personas que necesitan empujar los carritos, por ejemplo, a menudo prefieren usar los carriles de autobús en lugar de subir por las rampas de acceso a la acera. También es posible que exista una percepción de relativa seguridad respecto a los carriles de autobús, porque llevan a un menor número de vehículos que los carriles de circulación general. Con el fin de solucionar este problema, se recomienda la colocación de barandas de protección a lo largo de la acera para proteger a los peatones fuera de los carriles de autobús, pero también garantizar que las aceras a lo largo del corredor se encuentren en buen estado, sin cambios de nivel, rampas empinadas u objetos que bloqueen el acceso a las rampas.

ACCIDENTES QUE INVOLUCRAN AUTOBUSES, POR TIPO, EN EL EJE CENTRAL, CORREDOR DE AUTOBÚS CON ACERA LATERAL, EN CIUDAD DE MÉXICO (2006-2010).



Calculado a partir de la información proporcionada por el Gobierno de la Ciudad de México, 2011.



Persona empujando un carrito con productos en un carril con acera lateral en Eje Central, Ciudad de México. Foto de EMBARQ.

OPERACIONES

En la práctica, los carriles con acera lateral rara vez alcanzan capacidades mayores a 5,000 pasajeros por hora por dirección (Wright y Hook, 2007).

En primer lugar, los carriles con acera lateral casi nunca pueden funcionar como vías exclusivas para autobuses. El conflicto más frecuente es con los vehículos que giran a la derecha en los accesos a predios y vías menores. La presencia de vehículos que giran a la derecha, no sólo reduce la capacidad y velocidad de los carriles para autobuses. Además, hay numerosos conflictos con peatones y ciclistas que también afectan la circulación de autobuses. Otro conflicto común se presenta con microbuses, particularmente en las ciudades de Latino América. Los microbuses operan en rutas predeterminadas, pero por lo general no se detienen en lugares fijos. Los microbuses pueden recoger y dejar pasajeros en diferentes lugares en una calle. En un corredor de autobús con acera lateral, los microbuses que cargan o descargan pasajeros paran en el

carril de autobús, como en el caso de Eje Central en la Ciudad de México.

El uso de una barrera física entre el carril de autobús con acera lateral y los carriles de tráfico mixto puede resolver este problema en algunas secciones del corredor (especialmente aquellas con cuerdas largas). Pero el tráfico de giro a la derecha necesitará a menudo fusionarse en los carriles de autobús en las aproximaciones a las intersecciones y las barreras de separación entre carriles mixtos y carriles de autobús necesitan ser discontinuadas.

INTERSECCIONES

TEMAS CLAVES DE SEGURIDAD VIAL

La clave para mejorar la seguridad en las intersecciones es un diseño sencillo e intersecciones pequeñas. El tamaño y la complejidad de las intersecciones están correlacionadas de forma consistente con alta frecuencia de accidentes en todos los corredores de autobuses analizados.

TAMAÑO DE LA INTERSECCIÓN

El tamaño de una intersección está definido por el radio de giro a la derecha y el ancho en cada aproximación. La modelación de frecuencia de accidentes sugiere que cada carril adicional ingresando en una intersección puede incrementar los accidentes hasta en un 10% (todos los modelos, $p < 0,001$).

A fin de mantener las intersecciones lo más estrechas posible, se recomienda ajustar los radios de giro a la derecha dejando sólo el ancho mínimo necesario. Además, se recomienda el uso de extensiones de la acera en los carriles de estacionamiento y mantener bajo el número total de carriles en el corredor de autobús.

GIROS A LA IZQUIERDA

Se encontró que cada movimiento de giro a la izquierda adicional permitido en una intersección puede aumentar los accidentes en más del 30% (modelo de la Ciudad de México, $p < 0,001$). Mientras los giros a la izquierda son considerados generalmente como un riesgo para la seguridad vial en cualquier tipo de configuración de la calle, son particularmente peligrosos en los corredores de autobuses de carril central.

El tipo más común de accidente con los autobuses en los corredores de carril central se produce cuando los vehículos hacen giros ilegales a la izquierda desde los carriles mixtos y a través de los carriles de autobús,

En la mayoría de los corredores de autobuses de carril central, los giros a la izquierda están prohibidos y son sustituidos con circuitos en la mayoría de las intersecciones. Esto requiere un cuidadoso diseño del circuito para evitar simplemente desplazar el riesgo desde el corredor de autobús hasta una calle cercana. También se recomienda el uso de señales indicando tanto la prohibición de giro a la izquierda como el circuito de sustitución. Por otra parte, los giros a la izquierda se pueden permitir en ciertas intersecciones, con una fase dedicada de giro a la izquierda.

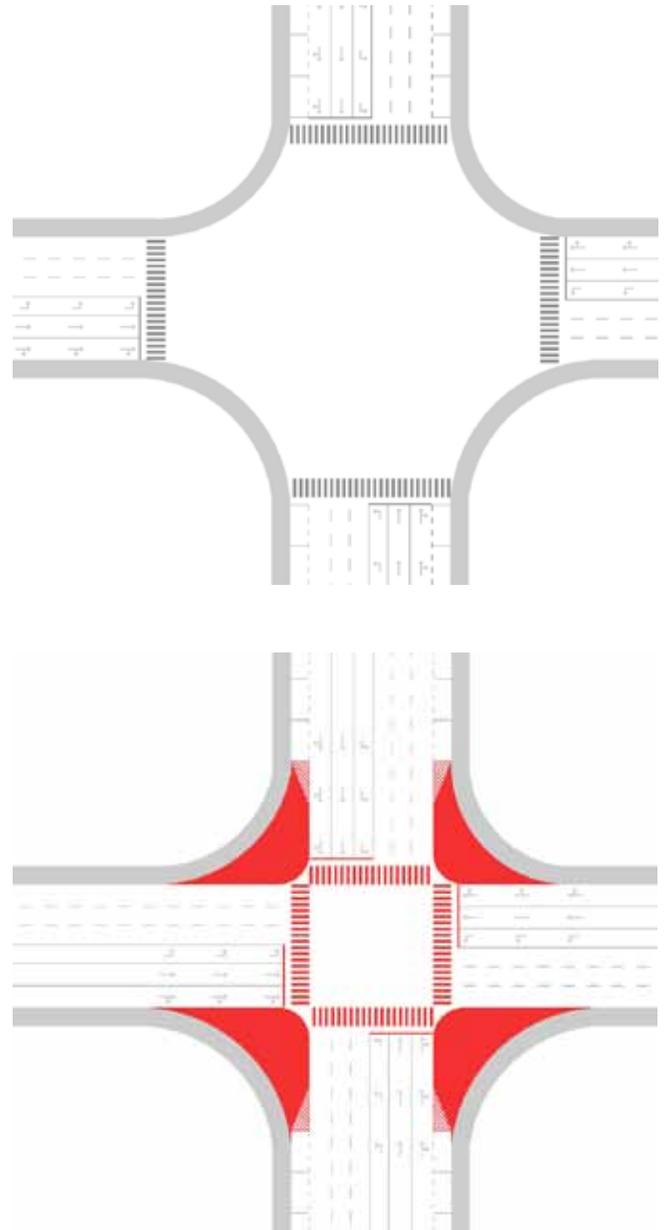


Diagrama ilustrando cómo radios de giro más estrechos y aceras más amplias pueden ser usados para reducir el área de una intersección.

CRUCES PEATONALES

Los resultados de la modelación de frecuencias de accidentes indican que cada metro adicional de un cruce peatonal está relacionando con un incremento entre el 3 y 5% de los atropellos a peatones. Se sugiere reducir la distancia de cruce peatonal en una intersección, sin reducir el número de los carriles de circulación.

A continuación se presenta un ejemplo para una vía de cuatro carriles, con un carril de parqueo en cada dirección. La distancia de cruce es de 19.3 metros.

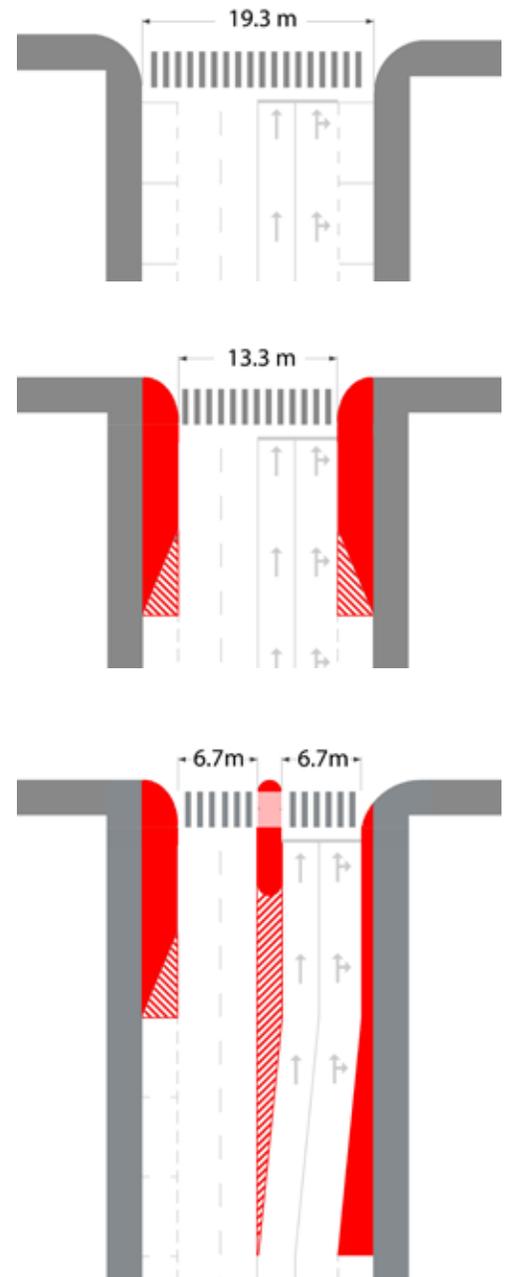
Mediante el uso de extensiones de acera (o extensiones con salientes de la acera), se puede extender la acera en los dos carriles de estacionamiento en la aproximación a la intersección. Esto reduce la distancia de cruce en 6 metros, bajando a 13,3 m. Esto también mejora la visibilidad tanto para los conductores como para peatones. Si hay una fila de vehículos estacionados que se extiende todo el camino hasta el paso de peatones, hay una posibilidad de que los peatones puedan aparecer inesperadamente desde la parte posterior de los vehículos estacionados. Este es un factor común que contribuye a los accidentes peatonales. Mediante la eliminación de espacios de estacionamiento antes de la intersección (también conocidos como "luz del día") los conductores y peatones pueden verse mutuamente con mayor facilidad, lo cual ayuda a evitar accidentes.

Otra solución es eliminar el carril de estacionamiento en la aproximación a la intersección, cambiar dos de los cuatro carriles más cercanos a la acera y utilizar el espacio resultante para crear una isla refugio para peatones en el centro del cruce peatonal. Esto mejora la seguridad de los peatones, ya que éstos sólo deberían cruzar dos carriles (6,7 metros) a la vez. Dependiendo de cómo se diseña, el cambio de carril en la aproximación a la intersección también puede ser utilizado como una medida de reducción de velocidad, mejorando la seguridad para los peatones.

ESPACIO PROTEGIDO PARA PEATONES

En 2011, ocurrió un choque fatal en el BRT Metrobús en la Ciudad de México, cuando un autobús falló en hacer un giro, se subió a la zona de espera peatonal y atropelló a un grupo de personas, matando a tres e hiriendo a varias otras.

Dondequiera que haya una zona de espera peatonal - tal como una isla de refugio - situada en el centro de una calle, es importante implantar protecciones a los peatones. Esto puede hacerse mediante la colocación de bolardos o bordillos elevados. Esto ayuda a asegurar que si un conductor pierde el control del vehículo o falla al hacer un giro, el vehículo podría golpear un bolardo o un bordillo en lugar de atropellar a los peatones.



MARCAS EN LA INTERSECCIÓN

Para intersecciones de mayor tamaño, se recomienda el uso de marcas especiales en el pavimento que sirvan de guía para los movimientos -y especialmente en las curvas-a través de la zona de intersección. Hay dos tipos principales de marcas de intersección: las marcas de extensión de carril (por lo general en forma de líneas de puntos donde un carril cruza una intersección y en forma de cruz donde se cruzan dos carriles) y las islas fantasmas (áreas donde no se producen movimientos a través de la intersección y que pueden ser delimitadas con marcas de sombreado).

La forma y dimensión de marcas en el pavimento varía de país a país. Se recomienda verificar las normas aplicables para encontrar el tipo correcto de las marcas de cada lugar. En este documento, hemos ilustrado el tipo de marcas de intersección comúnmente utilizado en Dinamarca.

ALINEACIÓN DE CARRIL

Los carriles continuos a través de una intersección deben estar bien alineados a ambos lados de la unión. Un ligero cambio en la alineación del carril puede confundir a los conductores, quienes luego pueden usar el carril equivocado en su salida de la intersección, o hacer movimientos repentinos para mantenerse en el carril correcto. Ambas situaciones podrían resultar en accidentes.

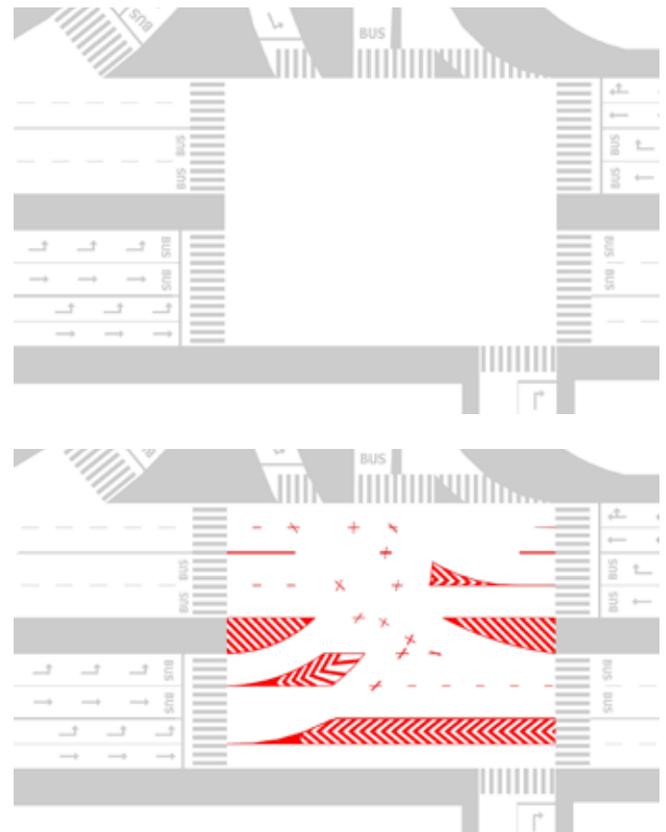
Un ligero desajuste se puede abordar mediante el uso de marcas de intersección que ayudan a los conductores a mantenerse en el carril. Una desalineación importante - por ejemplo una que envíe a los coches a los carriles opuestos - no debe ser permitida. Para cruces de calles menores que tienen una pobre alineación de carriles, se debe considerar cerrarlos y permitir sólo giros a la derecha.

BALANCE DE CARRILES

Existe desbalance de carriles cuando el número de carriles que ingresan en una intersección es mayor del número de carriles que salen. Esto también aplica a los movimientos de giro. La situación genera dificultades porque los vehículos que convergen en carriles menores haciendo movimientos repentinos, lo cual genera riesgo de accidentes.

En algunos casos, esto puede resolverse mediante la designación de algunos carriles como exclusivamente de giro. Por ejemplo, si una calle tiene cuatro carriles de entrada en una intersección, pero sólo tres carriles después de la intersección, uno de los carriles en la aproximación puede ser designado únicamente de giro a la derecha o de giro a la izquierda. Esto deja sólo tres carriles continuos, equilibrando el número de carriles continuos.

Otra opción es retirar un carril en la intersección anterior, o retirarlo en mitad de la cuadra, con aviso previo a los conductores.



Ejemplo de una intersección con y sin marcas.

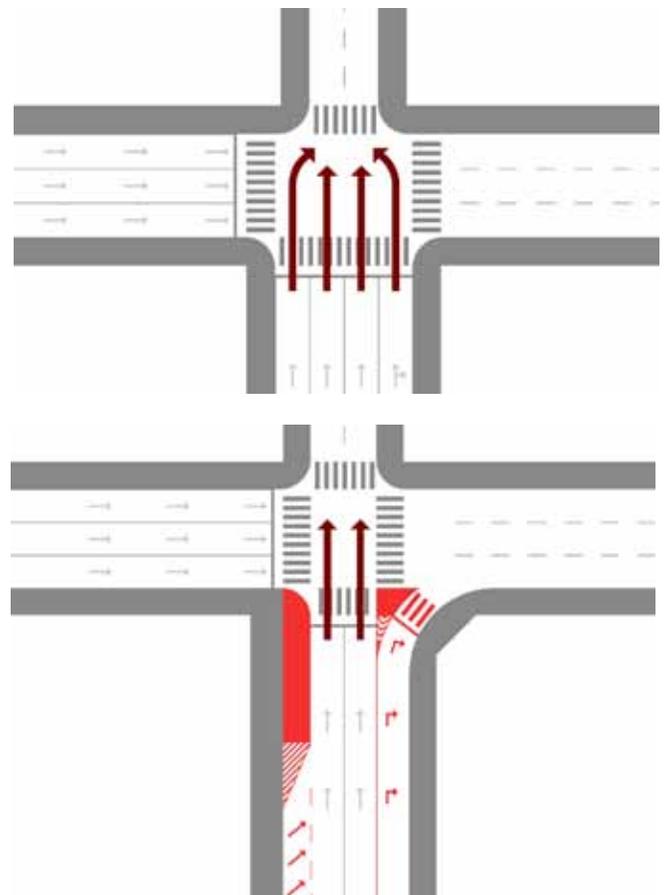


Ilustración del problema de balance de carril

CIRCUITOS

Los circuitos son comunes para prohibir giros a la izquierda en los corredores de autobuses de carril central. Esto ayuda a mejorar la seguridad al eliminar uno de los conflictos más importantes entre los autobuses y el tráfico general. Esto también aumenta la capacidad y velocidad en el corredor del autobús, al eliminar una fase del semáforo y permitiendo un mayor razón de tiempo de verde para autobuses (g / C).

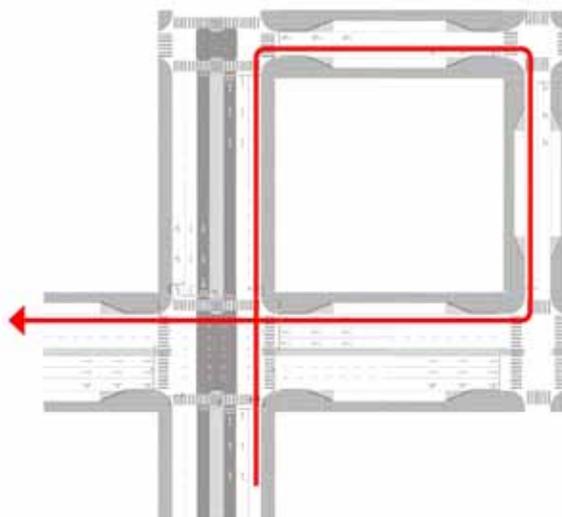
OPCIÓN 1: DESPUÉS DE LA INTERSECCIÓN

Esta es la solución preferida desde una perspectiva de la seguridad, ya que sustituye a un giro a la izquierda con tres giros a la derecha (las vueltas a la derecha son en general mucho menos problemáticas). Sin embargo, sólo se puede utilizar cuando se reúnen las siguientes condiciones:

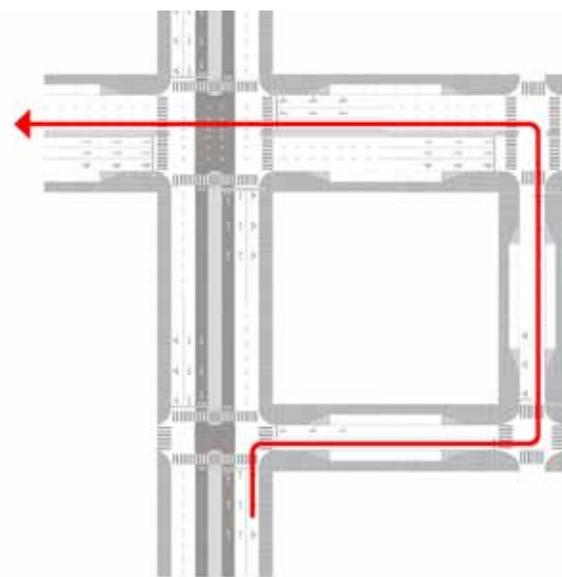
- Las calles a lo largo del circuito son capaces de recibir el volumen adicional de tráfico sin generar problemas de seguridad o congestión.
- El circuito no es excesivamente largo. Si los bloques (cuadras) adyacentes a la intersección son mayores a 150 - 200 metros, el desvío involucrado por el circuito resulta demasiado largo y por lo cual algunos conductores tomarían riesgos para acortar su camino.

OPCIÓN 2: ANTES DE LA INTERSECCIÓN

Esta opción sólo debe utilizarse cuando la anterior no es factible. Este tipo de circuito reemplaza un giro a la izquierda con un giro a la derecha y dos giros a la izquierda en una calle paralela. Sin embargo, existe la posibilidad de que simplemente se traslade el riesgo desde el corredor de autobús a otra calle. Las mismas condiciones se aplican a la opción 1: las calles deben ser capaces de recibir el tráfico adicional y el circuito no debe ser excesivamente largo.



Circuito opción 1: Empezando después de la intersección con prohibición de giro a la izquierda.



Circuito opción 2: Empezando antes de la intersección con prohibición de giro a la izquierda.

SEÑALES DEL CIRCUITO

Independientemente de si el circuito comienza antes o después de la intersección, las señales informativas deben colocarse en la aproximación a la intersección. El diseño exacto y disposición de las señales debe seguir los estándares nacionales de diseño. También se recomiendan los siguientes principios para la ubicación y diseño de señales de circuito:

UBICACIÓN

- Las señales que anuncian el circuito siempre se deben ubicar antes de la intersección en donde los giros a la izquierda están prohibidos, independientemente de si el circuito comienza antes o después de la intersección.
- En vías anchas (más de tres carriles de tráfico mixto por sentido) se recomienda que la señal de circuito esté encima de los carriles en lugar de la acera. En forma alternativa puede ubicarse señales tanto en la acera como en la mediana central para asegurar buena visibilidad.

DISEÑO

- La señal debe ser lo más sencilla posible, incluyendo sólo la cantidad mínima de información necesaria para comprender la configuración del circuito.
- Debe ser suficientemente grande como para ser fácilmente observada y leída por un conductor que pasa con el máximo límite de velocidad.
- Se recomienda no marcar los nombres de calles en la señal. Únicamente marcar el nombre de la calle transversal para indicar el destino final del circuito.



Recomendaciones de diseño para las dos opciones de circuito. Tenga en cuenta que sólo se incluye la información mínima para mantener la señal sencilla y que únicamente aparece el nombre de la calle transversal, donde están prohibidos los giros a la izquierda.

En las siguientes páginas, se presentan varios conceptos de diseño para las intersecciones que integran todos los aspectos de seguridad más importantes tratados en la sección anterior.

Los tipos de intersección elegidos, los anchos de la calle y los tipos de sistemas de autobús se basan en configuraciones de una calle e intersección común encontradas en los corredores de autobús incluidos en nuestra base de datos.

La presentación se inicia con las intersecciones a lo largo de un BRT con carril central, que van desde grandes cruces con otras arterias urbanas, a intersecciones menores y e intersecciones en T.

Muchos de los principios de diseño y características de seguridad que presentamos para corredores BRT de carril central son aplicables a todos los demás tipos de sistemas de autobús. Se busca reducir al mínimo el área de intersección, manteniendo los cruces peatonales cortos y dividiéndolos con las islas de refugio para peatones cuando sea posible, y señalizar y dotar

de alumbrado y barandas de protección para reducir los incidentes entre vehículos y peatones.

También se presentan recomendaciones específicas para los corredores de autobús con acera lateral, en particular el diseño de los giros a la derecha a través de los carriles de autobús.

LISTA DE ILUSTRACIONES

CARRIL CENTRAL BRT/ CORREDORES PARA AUTOBÚS

Intersección mayor sin giro a la izquierda.....	36
Intersección mayor con giro a la izquierda.....	38
Intersección mayor con carriles de bicicletas.....	40
Intersección menor con cruce a través de la calle.....	42
Intersección menor con mediana ampliada.....	43
Intersección menor con ciclovías en ambas calles y provisiones para giros de bicicletas.....	45

CORREDORES DE BUS CON ACERA LATERAL/ CARRILES DE BUS PRIORITARIOS

Intersección mayor en un área con cuadras largas.....	46
Intersección mayor en un área con cuadras cortas.....	48

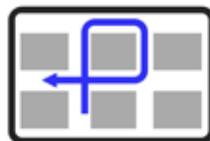
INTERSECCIONES- CARRIL CENTRAL BRT/ CARRIL PARA AUTOBÚS INTERSECCIÓN MAYOR SIN GIRO A LA IZQUIERDA

Extender la vía sobre el carril de estacionamiento, cerca de la intersección, puede ayudar a reducir el área de unión y acortar cruces peatonales. Esto es relativamente fácil de aplicar, no afecta la capacidad de intersección y puede ser muy eficaz en la mejora de la seguridad para los peatones.

Se deben utilizar semáforos peatonales en todos los lados de la intersección. Se recomienda utilizar la señal secundaria en el otro extremo de la intersección, por cada aproximación.



Es importante que el área central de la intersección reciba suficiente luz, de modo que los vehículos y peatones que cruzan por la noche cuenten con suficiente iluminación.



Para las señales que indican la prohibición de girar a la izquierda y el circuito correspondiente se sugiere verificar la normativa local o nacional. Los signos de circuito deben ser tan simples como sea posible, para ser entendidos por un conductor en movimiento.

Se sugiere mantener el radio de giro a la derecha tan estrecho como sea posible, para asegurar baja velocidad de vehículos en el giro y menores recorridos para los peatones, pero permitiendo un radio suficiente de inflexión para vehículos más grandes.

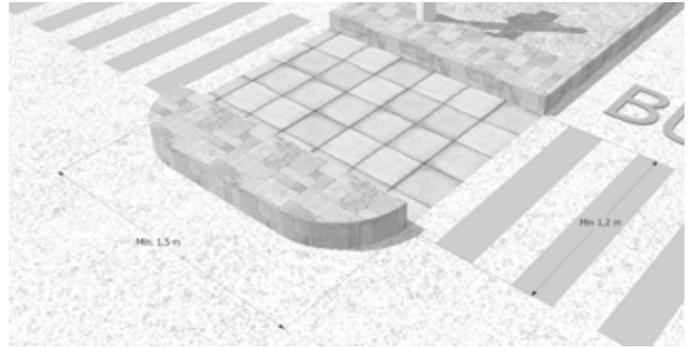
SEGURIDAD VIAL

Las intersecciones entre arterias urbanas importantes son los lugares con el mayor número de accidentes en los corredores de BRT. Mejorarlas es clave para lograr los objetivos de seguridad del sistema de autobuses.

El diseño de la página opuesta incluye muchos de los elementos de seguridad que se analizan en la sección anterior: intersección compacta y simple, restricciones de giro a la izquierda, cruces peatonales cortos con las islas de refugio protegidas en el centro, barandillas de protección y señales que indican claramente los circuitos que substituyen a los giros a la izquierda prohibidos.

Las anotaciones proporcionan más detalles sobre las características de seguridad adicionales recomendadas.

Este concepto de diseño inicial no incluye la infraestructura para bicicletas en el corredor. Bajo este escenario, los ciclistas ciculan en calles paralelas para evitar el riesgo que utilicen los carriles de autobús. Si el volumen esperado de cliclistas es alto, se recomienda incluir vías para bicicletas, como se ilustra en las páginas 40 y 41.



Detalle de la isla refugio de peatones. La isla debe ser a nivel con el pavimento y estar protegida del tráfico por un bordillo elevado. La isla debe proporcionar el espacio suficiente para el volumen esperado de los peatones y como mínimo debe dar cabida a una persona con un cochecito.

OPERACIONES

En la mayoría de los casos, las características que mejoran la seguridad en un corredor de autobús no afectan la capacidad de transporte de pasajeros.

La eliminación de giros a la izquierda, reemplazados por circuitos, reduce sustancialmente el riesgo de incidentes y mejora la velocidad y capacidad del corredor de autobuses.

Como en el caso de los cruces en mitad de cuadra, es necesario que los peatones tengan suficiente tiempo de luz verde para los peatones para cruzar la calle en una fase semafórica. En este caso, esto significaría una fase peatonal mínima verde de 26 segundos para el cruce de calles y 15 segundos para el corredor de BRT.

Para minimizar la espera de peatones es necesario un ciclo semafórico corto, lo cual también aumenta la capacidad para el corredor de bus.

INTERSECCIONES- CARRIL CENTRAL BRT/ CARRIL PARA AUTOBÚS INTERSECCIÓN MAYOR CON GIRO A LA IZQUIERDA

En las calles con un carril central para autobús, los giros a la izquierda se originan más lejos del eje de la carretera que en la mayoría de los tipos de calles. Como resultado, podría ser difícil dar cabida a ambos giros a la izquierda sin tener una superposición. Una solución común en el sistema TransMilenio en Bogotá (en pocos sitios, en la medida que la mayoría de los giros izquierdos están prohibidos), consiste en admitir solamente uno de los dos giros a la izquierda (por lo general aquel con el volumen de tráfico superior) y sustituir el otro con un circuito.



Se recomienda el uso de señales de tráfico especiales para los autobuses para toda la longitud de los corredores de BRT o carril de autobús. Deben distinguirse claramente de los semáforos normales. Aquí presentamos varias opciones para el diseño de las señales de autobús (a la izquierda: señal de autobús de acuerdo a los requisitos daneses, en medio: señal de Metrobús de la Ciudad de México, a la derecha: señal estándar con un signo de "BUS").

El giro a la izquierda, cuando no exista opción de circuito, debe hacerse desde el carril adyacente al carril de autobús. Los vehículos deben tener a la una fase protegida de giro a la izquierda, durante la cual todos los demás movimientos deben tener una luz roja.



SEGURIDAD VIAL

Cada movimiento de giro a la izquierda añadido en la intersección puede incrementar los accidentes de peatones en un 30% y las colisiones de vehículos hasta en un 40% (Modelos de Ciudad de México y Porto Alegre, $p < 0,001$).

Recomendamos permitir giros a la izquierda desde el BTR o corredor de carril de autobús en los lugares que cumplen con uno de los siguientes criterios:

- Un gran volumen de tráfico esperado que gira a la izquierda, que no pueda ser reubicado en las calles adyacentes o cercanas, o donde hacer un circuito no es factible.
- Áreas donde las cuadras son excesivamente largas, que impliquen un circuito excesivamente largo. Este podría ser el caso de las zonas industriales, cerca de los campus principales, o en ciudades con una red de calles dispersas.

Si se permiten giros a la izquierda, se debe tener una fase semafórica protegida y un carril de giro exclusivo. No se recomiendan entrecruzamientos entre el carril de autobús y el tráfico que gira a la izquierda o compartir el carril de autobús con vehículos de tráfico general que giran a la izquierda. Datos de Bogotá, Ciudad de México y Guadalajara indican que cada vez que los vehículos del tráfico mixto ingresan en los carriles de autobús, existen mayores colisiones con los autobuses.

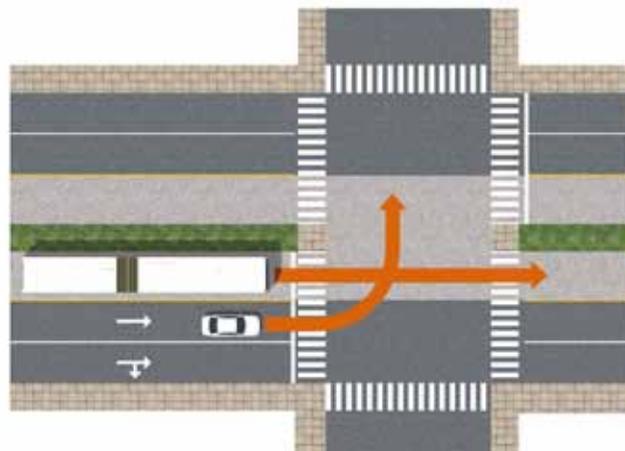


Diagrama de choque: el tipo de choque más común involucrando buses en BTR de carril central: automóviles haciendo giros ilegales a la izquierda en frente de los buses.

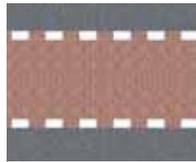
OPERACIONES

El giro a la izquierda reduce el tiempo de verde disponible para los autobuses, ya que éstos deben tener luz roja durante la fase de giro a la izquierda. El impacto en la capacidad depende del ciclo total y del tiempo de verde para los autobuses..

Si sólo se permite uno de los giros a la izquierda, la capacidad en esta intersección sigue siendo más alta que la capacidad real del sistema –determinada por la capacidad en la estación crítica. Sin embargo, si se permiten giros a la izquierda desde la calle principal y la calle transversal con fases protegidas, la intersección se convierte en un cuello de botella para todo el corredor.

La eliminación de giros izquierdos mejora la seguridad y la capacidad en forma simultánea. Prohibir giros a la izquierda elimina un movimiento peligroso y a la vez minimiza el número de fases de señal requerida, maximizando así la capacidad del corredor de autobús.

INTERSECCIONES- CARRIL CENTRAL BRT/RUTAS DE AUTOBÚS INTERSECCIÓN MAYOR CON CICLOVÍAS



Las marcas de la pista para bicicletas deben continuar a través de la intersección. En este caso, se utiliza una línea gruesa de puntos para indicar a los ciclistas los lugares dónde los vehículos pueden cruzar las ciclovías. Se deben consultar las normas aplicables en cada lugar.



Se recomienda escalonar las líneas de detención para el tráfico mixto y los ciclistas, colocando un carril de parada para la ciclovía un poco por delante. Esto permite que los ciclistas sean más visibles para los conductores que giran a la derecha. Aquí se muestra un metro de desbalance entre las dos líneas de pare. El desbalance podría ser aún mayor, de hasta 5 metros.

SEGURIDAD VIAL

La importancia de dotar infraestructura para ciclistas en la BRT y los corredores de autobús fue desarrollada en las páginas 26 y 27. Aquí se ilustran los conceptos de diseño de las intersecciones a lo largo de los corredores de autobuses con ciclovías.

El conflicto más importante es el de los ciclistas que continúan a través de la intersección y los vehículos que giran a la derecha. La clave para mejorar la seguridad es asegurarse de que la ciclovía sea claramente visible para los conductores en la aproximación a la intersección. Se recomienda la eliminación de la barrera física a lo largo de la ciclovía varios metros antes de la intersección para asegurar una mejor visibilidad.



Ejemplo de señales y marcas de ciclovías. Foto cortesía de Carsten Wass.

OPERACIONES

La capacidad o velocidad operativa del sistema de autobús, no está afectada por la presencia de un carril para bicicletas paralelo y/o perpendicular. La operación de los buses sólo estaría afectada si se permite la utilización del carril de buses por ciclistas, lo cual no se recomienda. .



SEGURIDAD VIAL

La mayoría de los problemas de seguridad relacionados con este tipo de intersección ya se han cubierto en las páginas anteriores. Los temas claves son: mantener el área de intersección lo más estrecha posible, mantener los cruces peatonales cortos y mantener vehículos sin autorización fuera de los carriles de autobús.

También es importante asegurar que la fase de la señal verde para el cruce de la calle asegure a los peatones el tiempo suficiente para cruzar todo el corredor de autobús en una sola fase.

Este diseño también se recomiendan barreras de protección para los peatones a lo largo del borde de la acera - en lugar de la mediana. Esto protege que la acera de sea utilizada para estacionamiento ilegal y dirige los peatones hasta el cruce de cebra.

OPERACIONES

El tiempo de luz verde para el cruce debe ser de al menos 28 segundos, para permitir que los peatones crucen la calle principal en una fase, considerando que el corredor BTR tiene un ancho de 28 metros de vereda a vereda. Esto probablemente podría ser justificado por los volúmenes de tráfico en la calle de cruce, pero es importante para la seguridad del peatón.

Señal que indica giro a la derecha para todo el tráfico



SEGURIDAD VIAL

La eliminación de cruces en calles menores pueden reducir colisiones de vehículos en esta intersección hasta en un 36% (Duduta et al. 2012).

Sin embargo, esto genera dificultades a los peatones que requieren cruzar en estos puntos. De hecho, cuando la mediana se extiende en el corredor de autobús a través de una intersección, es común en los sistemas BRT existentes eliminar las señales de tráfico y los cruces peatonales. Sin embargo, es común observar peatones que cruzan en estos puntos, con alta exposición a atropellos. Por lo tanto, se sugiere mantener los cruces peatonales con adecuada semaforización y señalización. Para reducir el riesgo de vehículos que no se detienen en una señal peatonal también se recomienda la implantación de dispositivos de reducción de velocidad (e.g. topes) antes de la intersección.

OPERACIONES

La capacidad de los carriles de autobús en esta intersección se ve limitada por la longitud de la fase de la señal verde para peatones en el cruce de calles. Si todas las demás cosas se mantienen iguales, el bloqueo de la calle transversal no debería tener un impacto en la capacidad, en la medida que esta depende de las estaciones, no las intersecciones.

Sin embargo, la presencia de semáforos peatonales adicionales reduce la velocidad media de operación, en comparación con la práctica habitual en los corredores de BRT para eliminar los cruces peatonales y semáforos en estos lugares. Esto implica un equilibrio entre las velocidades de operación y seguridad de los peatones. Como mínimo, se recomienda tener un cruce peatonal señalizado cada 300 metros, o 100 metros si el flujo peatonal trasversal es elevado.

INTERSECCIONES -CARRIL CENTRAL BRT/ RUTAS DE AUTOBÚS

INTERSECCIÓN MENOR - CARRILES DE BICICLETA

Las señales secundarias son particularmente importante aquí. Los ciclistas que esperan en la zona de bicicletas para completar una vuelta a la izquierda no verán la señal primaria y se basarán exclusivamente en la secundaria.



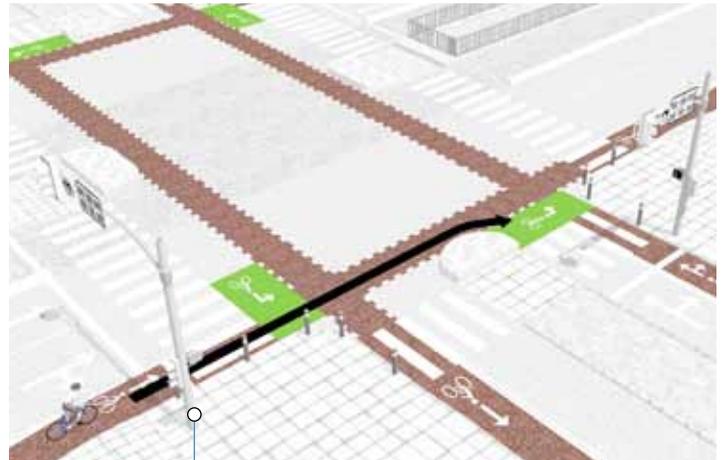
El lugar más seguro para el carril de bicicleta está entre la acera y el carril de estacionamiento. Esto puede ayudar a eliminar los conflictos entre ciclistas y los coches que están estacionados o realizando maniobras dentro y fuera de plazas de aparcamiento.

Estacionamiento en la calle

Zona de separación entre el carril de estacionamiento y el carril de bicicleta. Esto puede ayudar a proteger a los ciclistas de las puertas de coches aparcados abriendo inesperada - una preocupación común de seguridad para los ciclistas.

SEGURIDAD VIAL

La preocupación principal de seguridad para una intersección donde ambas calles tienen infraestructura para bicicletas es la mejor manera de permitir giros a la izquierda para los ciclistas. Hay varias opciones de diseño, incluidos espacios de espera para girar en dos etapas (NACTO 2011). Se recomienda el uso de estos espacios de espera y se ilustra este concepto en la imagen de arriba. Los ciclistas que deseen girar a la izquierda deberán cruzar primero la intersección y luego esperar en el espacio de espera designado para la señal verde en el cruce de calles. Ésta es la mejor práctica internacional típica (NACTO 2011) y también es la opción que minimiza los conflictos entre ciclistas y otros usuarios de la vía.



Primera etapa de la vuelta a la izquierda. Los ciclistas deben seguir recto a lo largo del corredor de BRT en la luz verde, parar en el espacio de espera a su derecha, y esperar allí a que cambia el semáforo.



Segunda etapa de la vuelta a la izquierda. Cuando el semáforo se pone verde para el calle transversal, los ciclistas pueden cruzar el corredor de BRT, junto con el resto del tráfico. Nótese la importancia de la señal de tráfico secundaria aquí. Los ciclistas no podrán ver la señal primaria y se basará exclusivamente en la secundaria, situada en el otro extremo de la intersección.

INTERSECCIONES –CARRIL LATERAL BRT/ RUTAS DE AUTOBÚS

INTERSECCIÓN MAYOR - CUADRAS MAYORES A 200 m

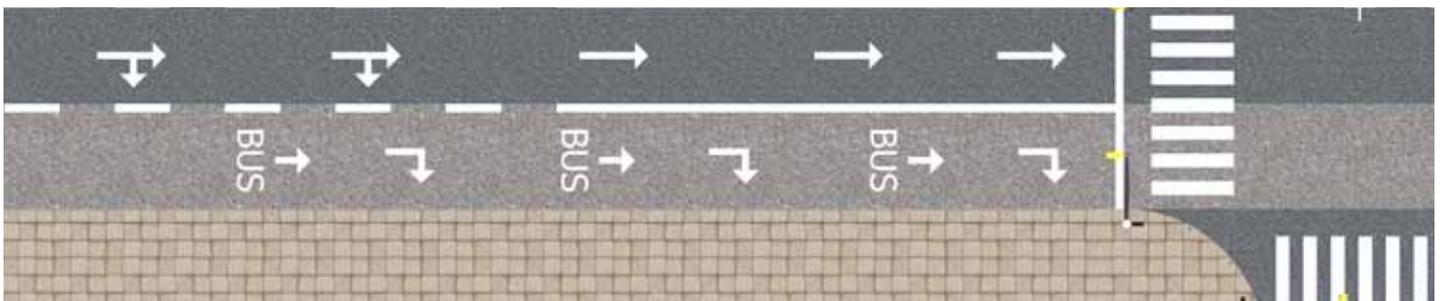
Para secciones con cuerdas más largas, puede ser posible utilizar barreras entre el carril de autobús y los otros carriles, después de la intersección. Para permitir giros derechos del tráfico general, sólo se utiliza demarcación en la aproximación a la siguiente intersección.



Las marcas en el pavimento en el carril con acera lateral deben indicar claramente que los vehículos sólo podrán girar a la derecha desde el carril, pero que los autobuses están exentos de esta regla. Se deben revisar las normas nacionales o locales aplicables.

En la aproximación desde la vía transversal, se sugiere un radio de giro estrecho para evitar que los vehículos giren accidentalmente a la derecha al carril de autobús. El radio de giro será adecuado para los carriles de tráfico mixto.

Vista del plan de una aproximación a la intersección a lo largo del corredor del autobús. Los vehículos que giran a la derecha pueden fusionarse en el carril de autobús con acera lateral antes de la intersección y girar a la derecha desde el carril de autobús. El espacio para entrar en el carril de autobús debe ser de al menos 50 metros de largo.



SEGURIDAD VIAL

Uno de los principales problemas de seguridad a tratar en las intersecciones con carriles para autobuses con acera lateral es cómo realizar los giros a la derecha.

TRÁFICO QUE GIRA A LA DERECHA COMPARTIENDO EL CARRIL DE AUTOBÚS

Esta es la opción recomendada desde una perspectiva de seguridad. Los divisores entre el carril de autobús y los carriles de tráfico mixto se deben descontinuar mucho antes de la intersección y el tráfico de vehículos que gira a la derecha debe poder ingresar en el carril de autobús. Existe un conflicto potencial cuando los vehículos ingresan en el carril de autobús, pero este riesgo puede mitigarse permitiendo un área de ingreso más larga.

GIROS A LA DERECHA DIRECTAMENTE A TRAVÉS DE LOS CARRILES DE AUTOBÚS CON ACERA LATERAL

También es posible permitir giros a la derecha desde el carril adyacente al carril de autobús con acera lateral. Este es el caso actual en el Eje Central en la Ciudad de México. Si bien no tenemos los datos para evaluar cuán segura es esta opción, podemos señalar una serie de riesgos potenciales de seguridad.

Si los giros a la derecha y los cruces comparten la misma fase verde como en Eje Central, existe un serio riesgo de colisiones entre los vehículos que giran y autobuses (la imagen refleja el problema de giro a la izquierda en los sistemas de carril central).

Si los giros a la derecha tienen una fase verde por separado y si un autobús está esperando en rojo en la línea de parada, el giro a derecha de vehículos puede tener escasa visibilidad del cruce de peatones a la derecha. Del mismo modo, los peatones podrían no ver (o podrían no esperar) vehículos girando a la derecha aparecer desde la parte posterior de los autobuses, lo que podría dar lugar a accidentes.

OPERACIONES

Los sistemas de autobús con acera lateral rara vez alcanzan la capacidad de más de 5.000 pphpd (Wright y Hook, 2007). Por lo tanto, utilizamos este número como la capacidad práctica para un corredor con acera lateral. Incluso en la contabilización de los vehículos que giran desde el carril de autobús y la demora causada por los vehículos que giran a la derecha dando paso a los peatones, la capacidad de esta intersección es más de 4 veces superior a lo que el corredor sería capaz de llevar.

Este cálculo no toma en cuenta interferencias de los minibuses y otros vehículos no autorizados que utilizan los carriles para autobuses, estacionamiento ilegal y peatones y ciclistas que usan los carriles de autobús, todo lo cual es probable que reduzca aún más la capacidad.

INTERSECCIONES- CARRIL PRIORITARIO DE AUTOBÚS O TRÁFICO MIXTO
INTERSECCIÓN MAYOR - CUADRAS MENORES A 200 m



SEGURIDAD VIAL

Cuando la longitud de las cuerdas está por debajo de 200 metros (lo que es común en zonas densas del centro de la ciudad), ya no es posible utilizar barreras físicas entre los carriles para autobuses con acera lateral y los carriles de tráfico mixto. Las barreras no dejan suficiente espacio para crear una zona de fusión segura para los vehículos que giran a la derecha.

En estos casos, un corredor de autobús con acera lateral funcionará más como un sistema de autobuses convencional en tráfico mixto. No es posible mantener vehículos no autorizados fuera de los carriles para autobuses, excepto a través de una supervisión policial muy estricta. Debido al gran número de posibles conflictos con los giros de vehículos, los autobuses operarán a velocidades más bajas. También es muy posible que el carril de autobús esté altamente congestionado como en el caso del carril de autobús con acera lateral en la Avenida Alcalde en el centro de Guadalajara, México, o en el Eje Central, a medida que se aproxima al centro de la Ciudad de México.

En el modelo de la frecuencia de accidentes de Guadalajara, la presencia de un carril con acera lateral congestionado se correlacionó con mayores tasas de accidentes, tanto para vehículos como para los peatones, y los resultados fueron altamente significativos ($p < 0,001$). Sin embargo, la gran mayoría de colisiones de vehículos fueron menores y resultaron únicamente en daños a la propiedad.

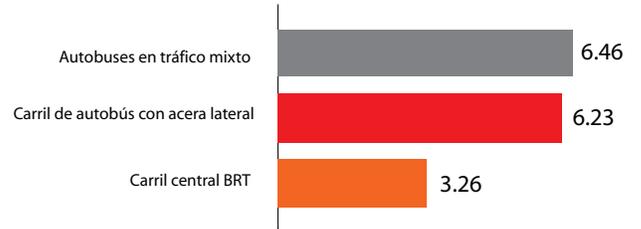
Los datos de choques también muestran que los autobuses son el tipo más frecuente de vehículos involucrados en accidentes en Av. Alcalde y 16 de Septiembre, por delante de los coches, camiones y minibuses. La calidad de los datos es insuficiente para permitir un análisis más profundo de los tipos de accidentes y factores contribuyentes en este corredor. Sin embargo, en los datos hay suficientes elementos que indican que los carriles con acera lateral representan más problemas de seguridad que los sistemas de carril central. Por eso, es importante, cuando se diseñan carriles de autobús con acera lateral, reducir todos los otros factores de riesgo conocidos para mejorar la seguridad: estrechar las intersecciones, acortar los pasos de peatones, asegurar un equilibrio y alineamiento de carriles, mantener visibilidad e iluminación, etc.

OPERACIONES

Cuando no hay separación física entre los carriles de autobús y los carriles de tráfico mixto, se hace mucho más difícil mantener servicio de alta frecuencia y alta capacidad. El corredor de autobús funcionará más o menos como un servicio convencional en tráfico mixto. Además, los autobuses a veces pueden necesitar cambiar de carril para adelantar a los vehículos estacionados en los carriles de autobús, lo que retrasaría a éstos aún más.

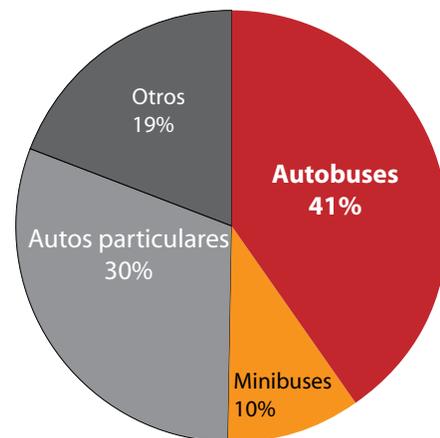
COMPARACIÓN DE REGISTRO DE SEGURIDAD VIAL PARA TRES TIPOS DE CORREDORES DE AUTOBÚS EN GUADALAJARA, MÉXICO

Promedio anual de choques por km. de carril por 1,000 vehículos



Calculada a partir de datos proporcionados por la Secretaría de Vialidad y Transporte de Jalisco y por E.P.S., Guadalajara. Los carriles de autobús con acera lateral incluyen segmentos de la Av. Alcalde y 16 de Septiembre. Los carriles centrales BRT incluyen Calz. Independencia y Av. Gobernador Curiel. La información de tráfico mixto incluye porciones de Av. Circunvalación, Belisario Domínguez y Calz. del Ejército.

VEHÍCULOS INVOLUCRADOS EN COLISIONES EN UN CORREDOR DE AUTOBÚS CON ACERA LATERAL EN GUADALAJARA (AV. ALCALDE)



Calculada a partir de datos proporcionados por la Secretaría de Vialidad y Transporte de Jalisco

ESTACIONES

TEMAS CLAVES DE SEGURIDAD VIAL

ACCESO DE PEATONES A LA ESTACIÓN

En un corredor, las estaciones concentran los mayores flujos peatonales. El mayor riesgo para los pasajeros entrando y saliendo de las estaciones se deriva del incremento de exposición y de conductas agresivas o plegrosas de los mismos pasajeros.

El diseño y distribución de las estaciones puede contribuir a la frecuencia y riesgo de los movimientos peatonales. Utilizar estaciones cerradas con puntos de acceso controlados que dirijan el tráfico peatonal hacia cruces semaforizados es la configuración más segura. Las estaciones abiertas con plataformas bajas generalmente facilitan el cruce de la vía por cualquier punto, mientras estaciones cerradas con plataformas altas pueden reducir la incidencia de movimientos peligrosos.



Peatones corriendo a través de los carriles de autobús para intentar ingresar a la estación sin pagar la tarifa, en TransMilenio. Foto de EMBARQ.

CONFLICTOS ENTRE AUTOBUSES

Este es un tema aplica a corredores más congestionados, especialmente aquellos con carriles expresos y una combinación de servicios locales y expresos, donde los conflictos entre diferentes autobuses son más probables.

El tipo de conflicto más común en las estaciones es aquél entre los autobuses en movimiento desde y hacia los carriles expresos. Los tipos específicos de choques son desarrollados en detalle en la página 57.

En las siguientes páginas, se presentan varios conceptos de diseño seguro para las estaciones de autobuses.

El principal problema es el mismo independientemente del tipo de estación: el control de los movimientos de los peatones y desalentar cruzar la calle. Sin embargo, las soluciones de diseño para lograr esto varían dependiendo del tipo de estación y el método de cobro de tarifas utilizado en el sistema de autobús.

Empezamos con el concepto de diseño de una estación mediana para un corredor de carril central BRT. Este concepto tiene dos partes, la primera tiene que ver con el acceso peatonal a la estación, y la segunda, con el diseño de la estación y la plataforma. Para un concepto de diseño para el acceso en bicicleta a una estación BRT, consulte la siguiente sección (conexiones y terminales), página 77.

A continuación se presenta un caso especial de las estaciones de la mediana - que son comunes en sistemas de alta capacidad como TransMilenio y que cuentan con carriles múltiples, sub estaciones y carriles expresos. En

este caso, además de abordar el tema del acceso de peatones, los diseñadores de las estaciones también tienen que prestar atención a los posibles conflictos entre los diferentes autobuses.

Luego mostramos conceptos para las estaciones de autobuses en corredores que no utilizan cobro de tarifas abordo, estaciones en la vereda, y servicio de autobús convencional en tráfico mixto.

LISTA DE ILUSTRACIONES

Estación BRT en la mediana: acceso en una arteria urbana.....	52
Estación BRT en la mediana: diseño de estación y plataforma.....	54
Estación BRT/ en la mediana: carril para autobús: carriles expresos y sub estaciones múltiples.....	56
Estación en un carril para autobús en una intersección.....	58
Estación en un carril para autobús con acera lateral.....	60
Estación de autobús en un carril de autobús priorizado / servicio de autobús convencional.....	61

ESTACIONES- CARRIL CENTRAL BRT / CARRIL PARA BUS ACCESO A LA ESTACIÓN EN UNA ARTERIA URBANA



Se recomienda no permitir giros a la derecha que entren en conflicto con el acceso peatonal a la estación. Debería haber un cartel que indique "no girar" y una señal de circuito que indique la ruta de acceso alternativa para hacer el giro a la derecha. Se sugiere verificar las normas locales o nacionales para encontrar los signos correctos.



Una fase semafórica verde más larga para el corredor de autobuses incrementa la capacidad de pasajeros para el sistema de autobuses. Sin embargo, esto tiene una desventaja, sobre todo para las estaciones con un elevado número de abordajes y bajadas. Una fase verde más larga para el corredor principal significa una fase de color rojo más larga para los pasajeros que salen de la estación y en espera de cruzar la calle. En algunos casos, existe el riesgo de que el área de espera peatonal llene rápidamente su capacidad. Esto puede resultar en la gente que espera en los carriles de autobús o cruza en rojo, los cuales son serios riesgos de seguridad para los peatones..

La desventaja de prohibir giros a la derecha en el acceso a la estación es que se re-direcciona el tráfico por el barrio y simplemente se puede trasladar el riesgo a otras calles. Otra manera de lidiar con los conflictos de giro a la derecha es el uso de un carril dedicado de giro a la derecha con una fase dedicada de giro. Esta solución ha sido aplicada con éxito en Nueva York y Washington DC.



Zona peatonal llena en la salida de la estación de la Calle 72 de TransMilenio. Foto de EMBARQ.

SEGURIDAD VIAL

Con el objeto de mejorar la seguridad en las estaciones, se recomienda adaptar su diseño a la conducta observada en los peatones. Específicamente, los diseñadores deben limitar las oportunidades para el cruce de la vía a través del diseño de estaciones cerradas y con el uso de vallas de seguridad que guíen a los peatones a cruces semaforizados.

La característica de seguridad más importante recomendada es el uso de estaciones cerradas. Esto es independientemente de si el sistema de autobús utiliza un sistema de cobro de tarifas interno o externo. La estación debe tener puntos de acceso situados sólo en los cruces de peatones semaforizados o puentes peatonales.

Otra adición importante a la seguridad peatonal, es la inclusión de una valla de seguridad a lo largo del divisor de carriles entre los carriles de autobús y los carriles de tráfico mixto. Esta valla de seguridad debe ayudar a evitar que los pasajeros atraviesen los carriles de autobús hacia y desde la estación.

Las inspecciones de seguridad vial realizadas indican que muchos peatones cruzan a lo largo de la mediana cuando salen de una estación situada en el centro de la calle. Este tipo de comportamiento es muy frecuente y difícil de evitar. Esto no es necesariamente peligroso, ya que normalmente no hay movimientos en conflicto cuando los peatones cruzan en la fase verde para autobuses.

Se recomienda instalar un cruce con señales para peatones para hacer posible este movimiento, siguiendo el ejemplo del sistema Macrobus en Guadalajara. Es importante asegurarse que los giros que pueden entrar en conflicto con peatones que cruzan aquí estén prohibidos (como por ejemplo giros a la izquierda desde el corredor del autobús). Se requiere también señalar adecuadamente el cruce peatonal en el otro extremo de la intersección, para que ellos crucen el corredor de forma segura.

OPERACIONES

El problema clave en los accesos a la estación es el eventual hacinamiento de peatones en la mediana y en algunas islas de refugio

Una estación típica en una vía de un solo sentido de un sistema BRT como el Metrobus en la Ciudad de México comúnmente tiene en cualquier lugar entre 2.000 y 12.000 pasajeros diarios que salen de la estación, equivalentes a 200 a 1,200 pasajeros por hora (EMBARQ México, Encuesta de Metrobus, 2007). Los resultados de una auditoría de seguridad vial en un corredor de BRT propuesto en Río de Janeiro indican que algunas de las estaciones más ocupadas pueden tener hasta 100 pasajeros saliendo durante un ciclo de la señal en la hora pico.

En estos casos, la ruta de acceso a la estación debe ser estudiada en conjunto con la señal de tráfico, para asegurarse de que grandes volúmenes de peatones no queden atrapados en medianas estrechas que no pueden darles cabida.



Un componente de seguridad clave en el diseño de la estación consiste en colocar una barrera o valla de protección entre el carril del autobús y los carriles de tráfico. Esto debería ayudar a evitar que los pasajeros intenten caminar a través de los carriles de autobús para entrar o salir de la estación.

Las puertas de andén en la interface entre los autobuses y la estación son una buena característica de seguridad para las estaciones de BRT. Las puertas deben estar alineadas con las puertas del autobús y estar diseñadas para abrirse sólo cuando un autobús se acople a la plataforma de la estación. Sin embargo, el mecanismo para la apertura de las puertas necesita ser cuidadosamente diseñado para asegurar que no se puedan activar accidentalmente por otros autobuses.



Peatones corriendo a través de los carriles de bus para entrar en una estación de TransMilenio. Foto de EMBARQ.



Plataforma de pantalla en una estación BRT en Curitiba. Las puertas están abiertas aunque el autobús no está presente. Este es un riesgo para la seguridad en una estación llena de gente, ya que los pasajeros pueden caer accidentalmente en los carriles de autobús. Foto cortesía de EMBARQ Brasil.

SEGURIDAD VIAL

Las estaciones situadas en la mediana deben, en lo posible, ser diseñadas como espacios cerrados - rodeada de paredes de vidrio o vallas de protección altas que dirijan a los peatones a puntos de acceso específicos situados en cruces señalizados. Las estaciones deben seguir estos principios de diseño, independientemente del sistema de cobro de tarifas utilizado (a bordo o exterior), o el tipo de vehículos.

VALLA DE PROTECCIÓN ALTA ENTRE EL CARRIL DE AUTOBÚS Y LOS CARRILES DE TRÁFICO MIXTO

Este es un elemento de seguridad muy importante en el diseño seguro de la estación, ya que ayuda a eliminar los movimientos peatonales más peligrosos – cortar camino a través de los carriles de autobús para entrar o salir de la estación de forma ilegal. Esta barrera de protección debe ser de al menos 1,7 metros de altura, y posiblemente superior, para asegurar que los peatones no puedan pasar por encima de ella fácilmente. También debe ser resistente, ya que las barandas son a menudo dañadas por las personas que desean ir al otro lado. Debe extenderse por toda la longitud de la estación, sin ningún hueco.

PUERTAS DESLIZANTES EN LAS PLATAFORMAS

Las puertas deslizantes en las plataformas previenen que los peatones crucen la vía y también aseguran que los pasajeros que esperan en la plataforma se mantengan alejados de los autobuses, disminuyendo riesgos, especialmente en plataformas con alta ocupación. Las puertas deslizantes también protegen a los pasajeros de los elementos –lluvia, viento, y salpicaduras de los buses. Sin embargo, las puertas deslizantes pueden plantear varios problemas. Aparte de los problemas con la apertura accidental ya mencionada, también existe el problema de las personas que fuerzan a las puertas a mantenerse abiertas. A veces, esto se debe al intento de entrar o salir de la estación de manera ilegal y correr a través de los carriles de autobús. Pero en otros casos, se han observado pasajeros simplemente evitando que se cierren las puertas de pantalla de andén mientras esperan el autobús, especialmente en estaciones muy llenas.

CONEXIÓN ENTRE PLATAFORMAS DE ESTACIONES GRANDES



TransMilenio 2006: conexión entre dos plataformas en la misma estación. Observe las barandas bajas, de aproximadamente 1 metro de altura. Debido a que eran tan bajas, la gente podía saltar sobre ellas con facilidad y esto generaba un riesgo de seguridad mayor para los peatones. Foto de EMBARQ.

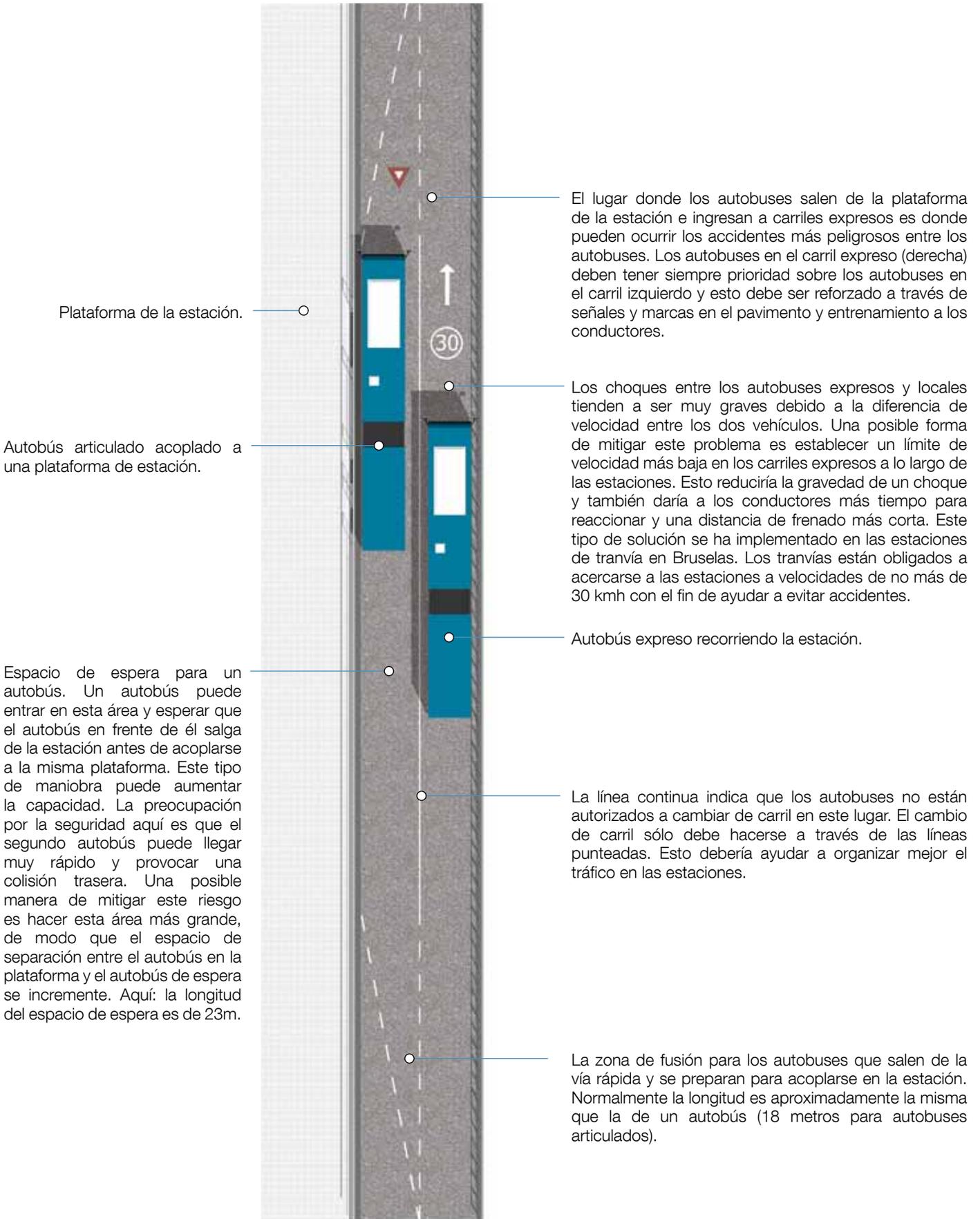


TransMilenio 2011: las barandas de protección a lo largo de las conexiones entre plataformas fueron elevadas para que sean más difícil de escalar. Se recomienda de este tipo más alto de barandilla en las conexiones entre plataformas al interior de la estación. Foto de EMBARQ.



Pasajeros de TransMilenio forzando una puerta deslizante de la plataforma, para mantenerla abierta mientras esperan el autobús. Foto de Lucho Molina.

ESTACIONES-CARRIL CENTRAL BTR/CARRIL PARA BUS DISEÑO DE LA ESTACIÓN: CARRILES EXPRESOS



SEGURIDAD VIAL

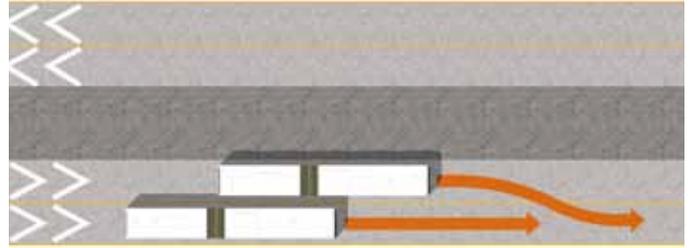
Para las estaciones de alta capacidad con carriles rápidos y múltiples plataformas de parada, hay riesgos de seguridad adicionales. El más serio es la posibilidad de colisiones entre los autobuses locales y expresos, que pueden ser graves e incluso fatales.

Cuando los sistemas de autobús necesitan alcanzar picos de carga de 30.000 o incluso 40.000 pasajeros por hora por sentido, esto se hace generalmente a través de una combinación de varios carriles, múltiples plataformas en las estaciones con acceso a nivel y prevalidadcción de pago, y una mezcla de los servicios locales y expresos. Esto también ocasiona una densidad mucho mayor en el tráfico de autobús. La sección más ocupada de TransMilenio, por ejemplo, tiene hasta 350 autobuses por hora por sentido. Esto significa que los conflictos entre los autobuses son mucho más frecuentes y la posibilidad de colisiones entre los diferentes autobuses es mayor.

Los choques por la parte posterior representan el tipo más frecuente de los accidentes registrados entre los autobuses de TransMilenio y también en el BRT Metropolitano de Lima, que tiene un diseño similar. La mayoría de los choques se producen lejos de las estaciones, pero las que ocurren en las estaciones tienden a ser más graves, porque por lo general implican un movimiento rápido del autobús expreso que choca con un autobús local que sale de la estación. Las tres colisiones más graves en las estaciones de TransMilenio entre 2005 y 2011 representaron en conjunto más de 170 heridos. La única víctima fatal registrada en TransMilenio hasta el 2011 al interior de un autobús como resultado de un choque entre buses del sistema, fue ocasionada por un choque por la parte posterior.

Otro tipo de accidente común en las estaciones son colisiones laterales o golpetazos laterales entre los autobuses que maniobran dentro y fuera de la estación. Estos accidente rara vez resultan en lesiones y en su mayoría dañan los espejos laterales de los autobuses.

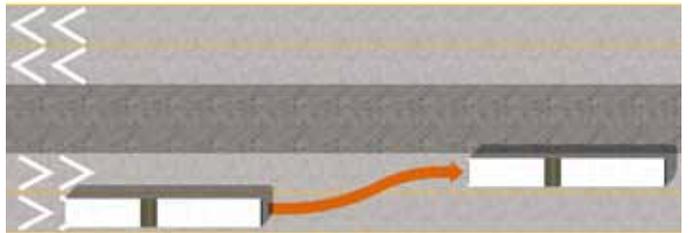
CHOQUES ENTRE AUTOBUSES EN LAS ESTACIONES



Escenario de accidente grave en una típica estación de TransMilenio: un autobús local está dejando la plataforma de la estación y se dispone a entrar en la vía rápida, cuando es golpeado por detrás por un autobús expreso que viaja a través de la estación. Este tipo de choque ha resultado en heridos graves y al menos una muerte.



Choque de baja severidad en una típica estación de TransMilenio: un autobús local dejando la plataforma de la estación choca con un autobús intentando acoplarse a otra plataforma. Estos accidentes suelen ocurrir a baja velocidad, por lo que rara vez resultan en lesiones.



Escenario de accidente en una típica estación de TransMilenio: un autobús es acoplado a una plataforma de estación y un otro autobús llega muy rápido y provoca una colisión trasera.

ESTACIONES-CARRIL CENTRAL PARA BUS ACCESO Y DISEÑO DE LA ESTACIÓN



Peatones saliendo de una estación de bus alimentador de TransMilenio a través de un punto de salida no autorizado.

Se recomienda la colocación de una valla de protección después del final de la plataforma de la estación y continuar por lo menos 10 a 12 metros. Del mismo modo, la valla de protección entre los dos carriles de autobús también debería extenderse más allá de la plataforma de la estación. Esto debería contribuir a desalentar a los peatones de cruzar la calle hacia la estación en la mitad de la cuadra y dirigirlos hacia el punto de salida correcto.



Recomendamos el uso de una pared continua a lo largo del borde de la estación, preferiblemente transparente. Esto debería dirigir a peatones que entran y salen de la estación hacia un cruce señalizado y también les permitiría ver los vehículos en los carriles de tráfico mixto.

Una característica de seguridad importante es la valla de seguridad entre los dos carriles para autobuses. Esto evitará que los peatones traten de tomar atajos a través de los carriles de autobús desde la plataforma de la estación a la acera de enfrente y los dirigirá hacia un cruce señalizado.

SEGURIDAD VIAL

Los carriles para autobús suelen tener estaciones abiertas, estaciones de plataforma baja y sistemas de cobro al interior de los buses. Esto a menudo significa que el acceso peatonal a la estación está mal regulado y hay una alta incidencia peatonal que cruzan la vía por diversos puntos. Un estudio realizado en Porto Alegre, Brasil, encontró que las estaciones de carriles de autobús tuvieron una mayor incidencia de accidentes de peatones que otros lugares, después de considerar las diferencias en el diseño de las calles, tráfico y volúmenes peatonales (Diógenes y Lindau 2009). La solución es diseñar éstos de una manera que controle mejor el acceso peatonal.

El control del acceso peatonal se puede hacer mediante el uso de muros pantalla y/o barandas de protección. La clave es tener en cuenta todos los movimientos posibles de peatones desde y hacia la estación y asegurarse de que son permitidos aquellos que cruzan a través de cruces semaforizados o puentes peatonales.



Peatones cruzando la vía de una estación en un corredor BRTS en Delhi. Foto de EMBARQ.



Peatones cruzando la vía a través de los carriles de autobús para alcanzar la plataforma de la estación en el corredor BRTS en Delhi. Foto de EMBARQ.

OPERACIONES

Las características de seguridad del diseño que se recomiendan aquí (muros pantalla y barandas de protección para controlar el movimiento peatonal) no tienen ningún impacto en las operaciones. Dado que el concepto de diseño ilustrado en la página 58 implica un sistema de cobro interno, la capacidad de pasajeros sería muy baja. Con esta distribución de estación y sin múltiples plataformas de parada, la capacidad no sería superior a 6.000 pphpd (Wright y Cook, 2007).

Una cuestión importante es la interferencia de estación a intersección. Si un autobús ha terminado de cargar pasajeros y debe esperar en un semáforo en rojo, esto puede impedir que otro autobús detrás de él acceda a la plataforma de la estación. Esto puede ser resuelto proporcionando espacio suficiente para un autobús que espera en un semáforo en rojo, mientras que otro autobús sirve a la estación detrás de él. Esto también puede ser resuelto asegurando que la proporción entre la duración de la fase de la luz roja y el tiempo promedio de parada en una estación se mantenga tan bajo como sea posible. Un ciclo más corto de la señal puede ayudar a lograr esto.



Autobús maniobrando alrededor de vehículo detenido en un carril con acera lateral en una estación de Transantiago, Santiago de Chile. Foto de Darío Hidalgo.

La colocación de la estación en un corredor de autobús con acera lateral después de un cruce, en lugar de antes, puede ayudar a eliminar algunos de los conflictos entre los autobuses y vehículos que giran a la derecha. En particular, se puede reducir la probabilidad de que un vehículo que los esperaba en una luz roja bloquee la parada de los autobuses.

Debe haber suficiente distancia entre la estación y la intersección para dar cabida al número de autobuses que podrán hacer cola en la estación sin tener que bloquear la intersección.



SEGURIDAD VIAL

Los peatones pueden intentar cruzar a mitad de cuadra para acceder a la estación - especialmente si ven acercarse a un autobús en los casos en que los tiempos de espera en rojo para los peatones son largos (mas de 60 segundos). Este riesgo puede ser mitigado mediante la colocación de una barrera o valla de protección a lo largo de la estación, que se extienda por lo menos 10 a 12 metros más allá del final de la plataforma de la estación. Esto puede ayudar a reducir el cruce de la vía y a dirigir a los peatones al cruce señalizado en la intersección.

El riesgo de accidentes de peatones en los carriles priorizados de autobuses o rutas convencionales de autobuses es elevada en ausencia de mejores características de seguridad. Se recomienda utilizar una mediana con barreras de protección a lo largo de la ruta para disuadir a los peatones de cruzar la vía y proveerles islas de refugio en el centro de la calle.



SEGURIDAD VIAL

En el caso de las vías priorizadas de autobús o servicio de autobús convencional, las mejoras en la seguridad tienen que ver más con el diseño vial y de la intersección en general que con la propia estación.

El objetivo es el mismo que en el caso de las otras estaciones: prevenir que los peatones caminen por la vía hacia y desde la estación y dirigirlos hacia intersecciones semaforizadas. Esto puede hacerse mediante la colocación de una valla de protección en la mediana que se extienda por toda la longitud de la cuadra donde la estación esté presente.

Además, se recomienda abordar todos los problemas de seguridad identificados en los apartados

anteriores (segmentos de calles e intersecciones), con una especial atención al cruce de la vía. Puesto que los riesgos son altos para los peatones en los corredores de buses convencionales, es importante centrarse en la mejora de la seguridad de peatones a lo largo de ellos.

CONEXIONES Y TERMINALES

TEMAS CLAVES DE SEGURIDAD VIAL

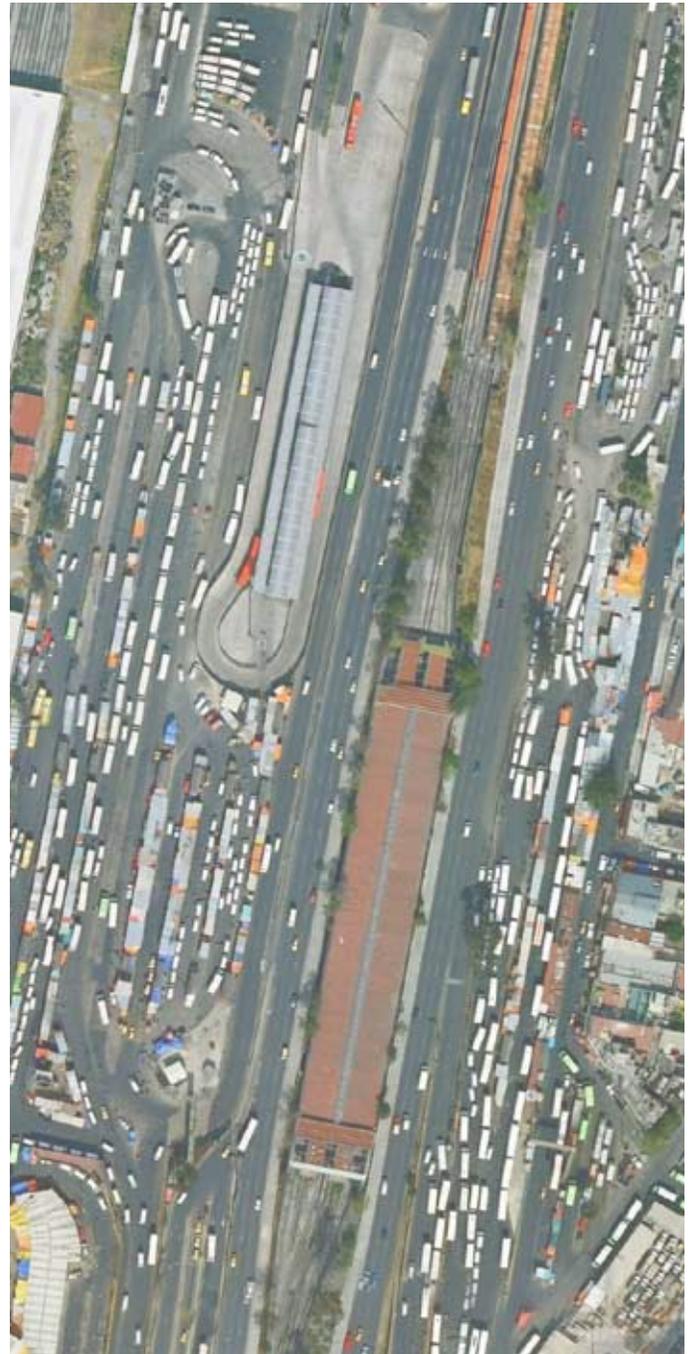
On En la mayoría de los sistemas de transporte público utilizados como referencia en estas guías, tienen alta incidencia de accidentes en las estaciones de integración y terminales. De los diez primeros lugares con el mayor número de accidentes en Av. Caracas, en TransMilenio, tres - incluyendo el número uno - son o bien terminales o bien estaciones de conexión principales (Av. Jiménez, Portal de Usme y Santa Lucía). En la Línea Sur, en Curitiba, los tres primeros lugares con el mayor número de accidentes son terminales (Pinheiro, Raso y Portao).

La principal razón es el nivel de exposición. Las estaciones de integración o conexión y los terminales son los sitios de mayor flujo de autobuses y peatones. Como resultado, cualquier problema de seguridad en una estación de conexión mayor puede resultar en un mayor número de accidentes y lesiones que en cualquier otro lugar.

Para estos puntos la cuestión principal de es la seguridad del peatón. Los datos indican que las personas están mucho más seguras cuando están en el autobús o en la plataforma de la estación que cuando caminan hacia y desde la estación. Los tipos de conexiones más seguros entre las dos rutas principales son aquellos en los que los pasajeros siempre están en áreas peatonales, y no tienen interferencia con ningún tipo de tráfico vehicular.

Esto no siempre es posible y depende de los tipos de vehículos y estaciones utilizadas por las diferentes rutas de transporte público y también depende del contexto urbano. Terminales de conexiones grandes e integradas en los que todas las conexiones se hacen con conexiones peatoneles directas entre plataformas son la solución ideal, pero tienden a ocupar mucho espacio. Por lo general, éstas se pueden construir en el extremo de una línea, cerca del límite de la ciudad. Un ejemplo es TransMilenio, que cuenta con terminales integrados en el extremo de cada corredor principal. Las líneas troncales y alimentadoras se encuentran en estos terminales.

En otros casos, especialmente en las zonas densas del centro de la ciudad, es posible que no haya espacio para un terminal grande, por lo que las conexiones usualmente tendrán lugar en una intersección. En este caso, aplican todos los conceptos de seguridad que han sido presentados para el caso de intersecciones y estaciones, con algunas consideraciones adicionales para posibilitar los giros de los autobuses.



Vista aérea de Indios Verdes, Ciudad de México, punto de conexión entre el Metrobús BRT, el Metro y minibuses que conectan norte al Estado de México. Imagen de Google Earth.

En las siguientes páginas, se presentan varios conceptos de diseño para estaciones de integración y terminales que se ocupan de temas clave de seguridad descritos en la página anterior.

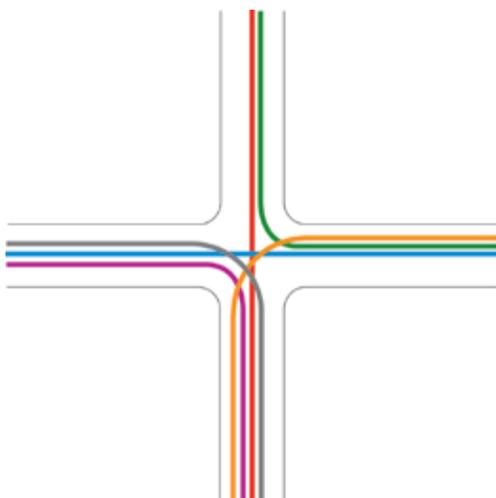
Empezamos con las conexiones entre líneas de BRT o corredores de autobús y luego pasamos a las conexiones entre las líneas troncales y alimentadoras, así como las conexiones entre el BRT y servicios de autobuses locales.

En términos de seguridad, hay dos maneras de evaluar los méritos relativos de diferentes configuraciones de conexión. La primera es la seguridad de los pasajeros en tránsito. Desde este punto de vista, las mejores opciones son las conexiones peatonales que conectan directamente las plataformas de los distintos servicios de autobús.

El segundo aspecto es la seguridad general del lugar donde se produce la conexión - no sólo para los pasajeros en tránsito, sino para todos los usuarios, lo cual incluye la circulación de los buses dentro de la estación de conexión o terminal, y los carriles de tráfico mixto fuera de la estación. Desde este punto de vista, los problemas son los mismos que para las intersecciones y las estaciones en general: intersecciones estrechas, restricciones de giro, pasos peatonales cortos y un buen diseño de acceso a la estación para limitar las oportunidades de cruzar la calle en sitios inadecuados

LISTA DE ILUSTRACIONES

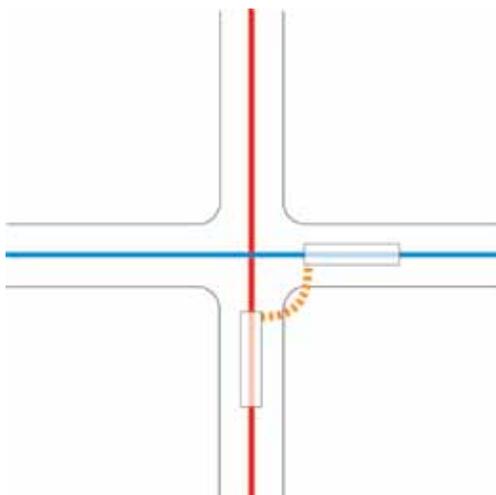
Revisión de los principales tipos de conexión.....	64
CONEXIONES ENTRE LÍNEAS TRONCALES	
Dirigir rutas a todas las direcciones.....	66
Conexión a través de una intersección.....	68
Desvío en una línea para asegurar conexiones a través de las plataformas.....	70
CONEXIONES ENTRE LÍNEAS TRONCALES Y ALIMENTADORAS	
Terminal de conexión integrado.....	72
Conexiones a través de una intersección.....	76
Integrando un BRT con una red de ciclovías.....	77



DIRIGIR RUTAS A TODOS LOS DESTINOS

EJEMPLO: TRANSMILENIO

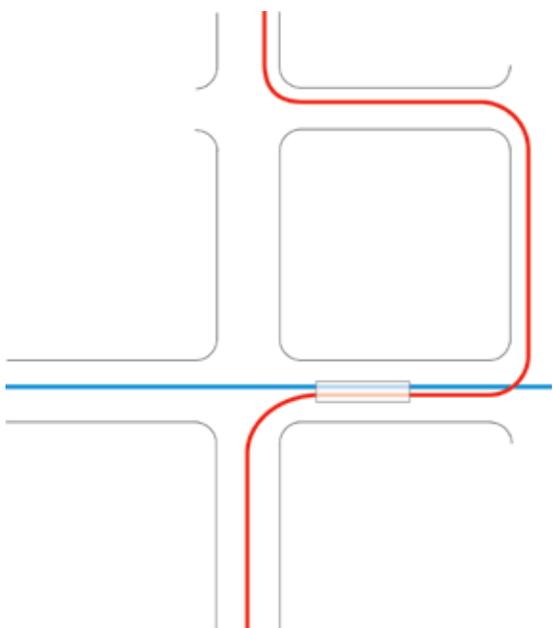
En este escenario, hay diferentes rutas de autobús en cada corredor y existe una ruta por cada destino posible. Los pasajeros simplemente necesitan esperar el bus que tomarán en la dirección correcta, de modo que en la realidad no haya trasbordo. Esta es la opción más segura, pero también la más compleja desde el punto de vista operativo. El diseño de la intersección requiere incluir carriles de giro separados y reservar fases de semáforo para los diferentes movimientos de autobús, para evitar demoras, o además el uso de pasos elevados o subterráneos. Esto se desarrolla con mayor detalle en las páginas 66 y 67.



CONEXIÓN A LO LARGO DE UNA INTERSECCIÓN

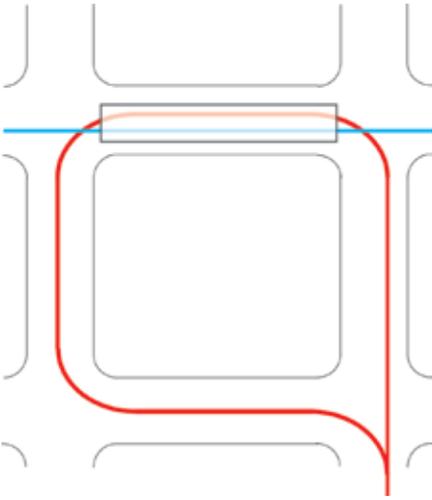
EJEMPLO: METROBÚS DE LA CIUDAD DE MÉXICO

En este caso, hay una sola ruta por cada corredor. Los pasajeros en conexión deben salir en una de las estaciones, cruzar la calle y tomar la otra ruta en otra estación. Esta es la opción menos segura, ya que los pasajeros deben cruzar varios carriles de tráfico para llegar a la otra estación. Esto también puede desalentar a los pasajeros usen el sistema, ya que la conexión es más difícil y puede requerir que ellos paguen la tarifa de nuevo al entrar a la segunda estación. Todos estos problemas podrían ser evitados conectando dos estaciones con un puente o paso a nivel. Este tipo de conexión se describe en las páginas 68 y 69.



OPCIÓN HÍBRIDA

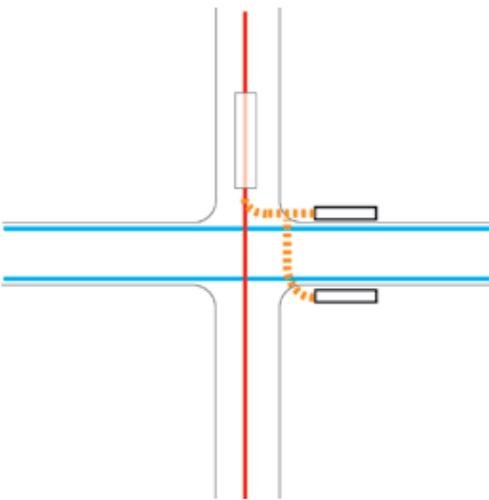
Es posible realizar trasbordos entre rutas en la misma plataforma entre dos rutas, mediante el desvío de una de las rutas. de modo que los autobuses de ambas rutas puedan detenerse en la misma estación. Para pasajeros en conexión, esta podría ser una opción más segura y también ahorrar tiempo. La desventaja de esta opción es que el incremento de los tiempos de viaje para los pasajeros que continúan en la ruta roja. El diseño de las intersecciones es también complicado debido a los diferentes giros del autobús y la necesidad de mantener buenas condiciones de seguridad. Esta opción puede ser viable en casos donde la configuración de la red de calles o la estructura de dos rutas de autobuses reduciría los desvíos requeridos para llevar a los autobuses a la misma estación. Esta opción es presentada con mayor detalle en las páginas 70 y 71.



TERMINAL INTEGRADO

EJEMPLOS: TERMINALES DE TRANSMILENIO, TERMINAL SAN JERÓNIMO EN EL BRT OPTIBÚS, LEÓN

Este es un típico terminal de conexión para un servicio integrado troncal y alimentador, como TransMilenio. El terminal tiene una plataforma central y autobuses con puertas a la derecha y a la izquierda que puedan acoplarse a ambos lados, de modo que los pasajeros realicen el trasbordo de forma directa. Esto requiere una buena integración entre los diferentes servicios, pero en teoría puede funcionar también con servicios completamente independientes. El lado BRT de la estación puede cerrarse y tener un sistema de cobro externo, mientras que el otro lado puede estar abierto. Esto se desarrolla con mayor detalle en las páginas 72 a 75. La conexión por sí misma es bastante segura, pero existe riesgo de colisión entre los buses en los puntos de acceso a la terminal.



CONEXIÓN A SERVICIOS DE AUTOBÚS LOCALES A LO LARGO DE UNA INTERSECCIÓN

EJEMPLO: MACROBÚS, GUADALAJARA

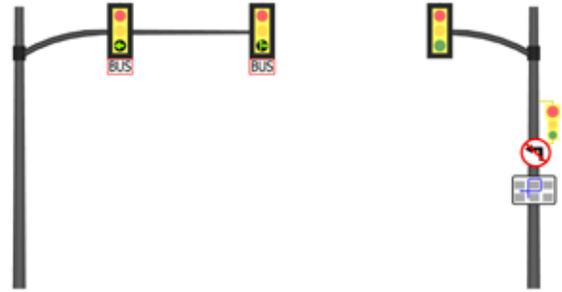
Este es un caso donde un BRT o corredor de autobús cruza una calle que tiene un servicio de autobús local. Los diferentes servicios de autobús no están integrados (como en el caso de un sistema troncal y alimentador), pero algunos pasajeros pueden hacer conexión entre diferentes líneas. Los objetivos aquí son llevar las diferentes estaciones tan cerca como sea posible, para hacer la intersección tan segura como sea posible para los peatones y también disponer la conexión de una forma que minimice la distancia de cruce.

Esta no es la opción más segura para los peatones, ya que involucra conexiones entre carriles de tráfico, pero es la más fácil de implementar y no requiere integración entre diferentes servicios. Este tipo de conexión es descrito en las páginas 76 y 77.

CONEXIONES ENTRE LÍNEAS TRONCALES EN EL MISMO SISTEMA DIRIGIR RUTAS A TODOS LOS DESTINOS



Es bastante difícil en la práctica permitir a los buses hacer todos los giros posibles en una intersección, ya que esto podría resultar en hasta seis fases de señal. Esto puede resultar en una reducción de la capacidad de ambas vías. En la práctica, es común permitir sólo a algunos autobuses girar, dependiendo de los patrones de viaje y la demanda. En la imagen a continuación, el que se aproxima a la intersección puede hacer giros en el cuarto, o seguir recto. Bajo este tipo de configuración, hay la necesidad de colocar múltiples señales de bus para cada movimiento de giro con una fase separada.



SEGURIDAD VIAL

Para los pasajeros en tránsito, esta es la opción más segura, ya que no se produce trasbordos y los pasajeros simplemente eligen el autobús que los lleva a su destino.

Debido a la necesidad de dar cabida a múltiples giros de autobuses, existe un riesgo de que esta distribución resulte en un área de intersección grande, lo que podría plantear problemas para los peatones. Este riesgo puede mitigarse mediante el uso de los radios de giro más estrechos posible para giros de autobuses y mediante la adición de islas de refugio peatonales en el centro de la calle.



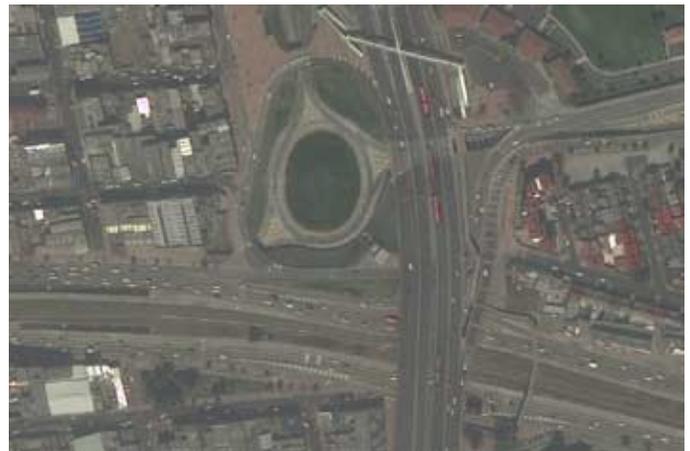
Diagrama de choque ilustrando el conflicto entre buses girando a la derecha y vehículos que van en línea recta. Este tipo de choque ha sido registrado en TransMilenio.

OPERACIONES

Este tipo de conexión permite una gran flexibilidad en la organización de rutas de autobús. Ofrecer a los pasajeros de BRT una conexión directa a su destino - en lugar de obligarlos a caminar hasta otra estación de conexión - puede ayudar a atraer más usuarios al sistema BRT. Sin embargo, el inconveniente es que el lugar donde se cruzan dos corredores de BRT puede convertirse en un cuello de botella importante.

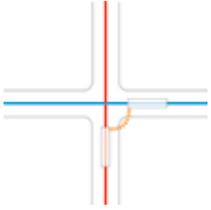
Un corredor de varios carriles de BRT puede tener una capacidad máxima de hasta 43,000 pphpd (Hidalgo y Carrigan, 2010). En este caso, es muy difícil conseguir esta capacidad en ambos corredores donde los dos corredores se unen en una intersección. Debido a que todos los movimientos de autobús diferentes necesitarían su propia fase de la señal (con la excepción de giros a la derecha, que pueden compartir una fase con otros movimientos), la relación g/C para cada movimiento será baja y ninguno de los corredores será capaz de llevar a más de 50,000 pphpd.

Esto podría ser abordado priorizando uno de los dos corredores o uno de los movimientos de autobuses, aumentando la cantidad de tiempo de luz verde disponible para tal movimiento y decreciendo el tiempo para los demás. Sin embargo, para la mayoría de los movimientos de autobús, esta intersección tendrá una capacidad considerablemente menor que la capacidad práctica del sistema. Si ambos corredores tienen una demanda de pasajeros alta, se podría considerar la creación de un paso elevado o subterráneo para conectar los corredores, como en el caso de la unión entre NQS, Avenida Suba y Calle 80 en TransMilenio.

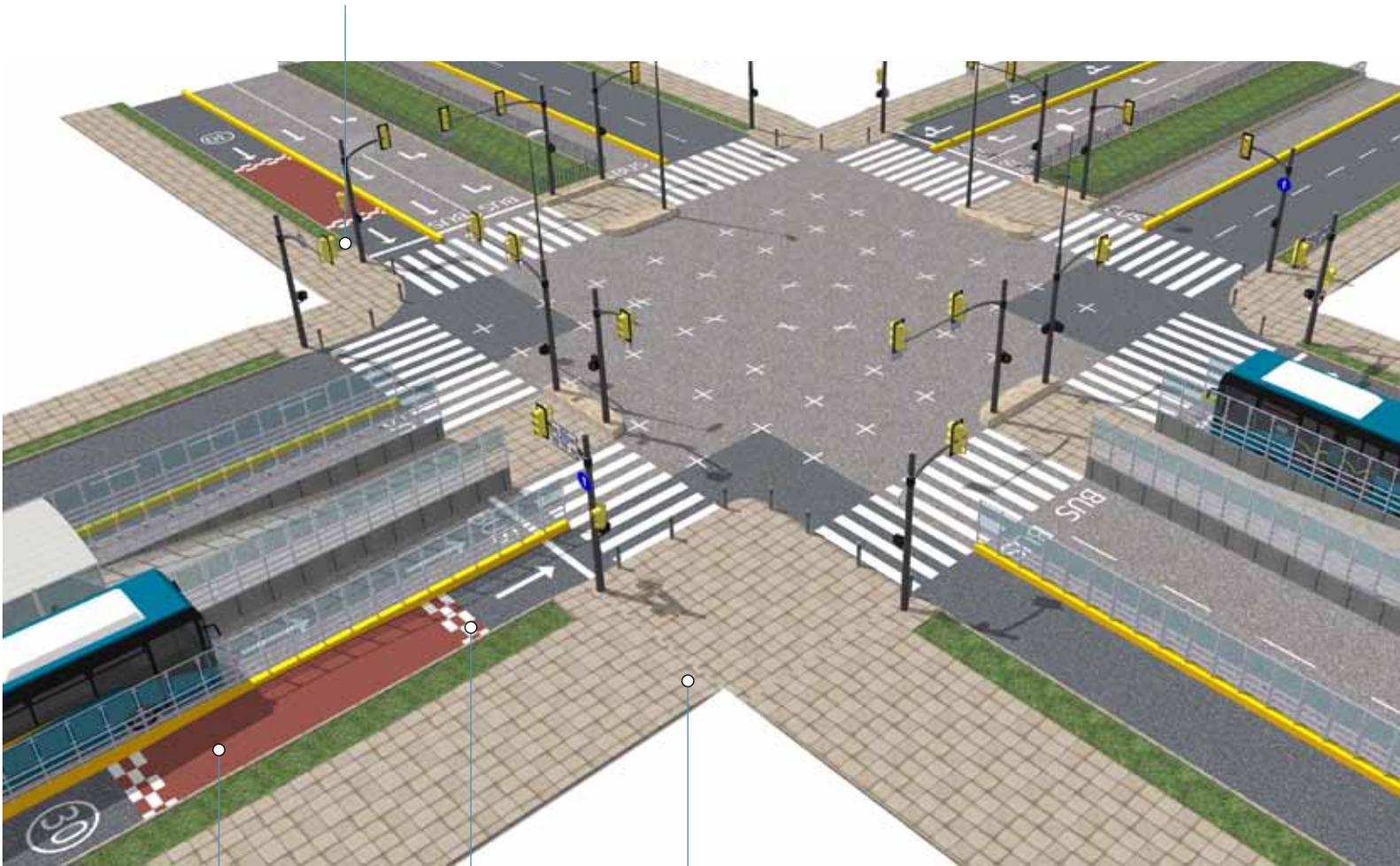


Intersección entre tres corredores de TransMilenio NQS, Calle 80, y Avenida Suba. Conexiones de autobús entre los tres corredores se realiza a través de pasos superiores e inferiores, lo que maximiza la capacidad de todos los movimientos y reducir al mínimo los posibles conflictos entre los autobuses. Imagen Google Earth.

CONEXIONES ENTRE LÍNEAS TRONCALES EN LE MISMO SISTEMA CONEXIÓN A LO LARGO DE UNA INTERSECCIÓN



También es posible utilizar la combinación de las conexiones a través de la intersección y giros de autobuses. Esto se utiliza en el caso de la estación Av. Jiménez en TransMilenio, donde algunas conexiones se realizan por los autobuses conectando los dos corredores, mientras que otras conexiones se realizan por los pasajeros caminando de una estación a otra a través de un paso inferior (túnel). Este tipo de solución puede ayudar a reducir el número de fases de señales requeridas para la intersección.



Recomendamos el uso de topes reductores de velocidad por lo menos en las dos aproximaciones que cruzan la ruta de conexión para los peatones.

Todos los giros que entran en conflicto con el acceso peatonal a las estaciones deberían estar prohibidos. La señal de “no girar” debe ir acompañada de un cartel que indique el circuito que sustituye el giro a la izquierda. El circuito que sustituye el giro a la derecha debería haber empezado antes de la intersección y no debería figurar aquí.

Volúmenes muy elevados de peatones pueden esperarse en esta esquina de la intersección. Además del tráfico de peatones existente, los pasajeros que acceden a cualquiera de las dos estaciones, así como los pasajeros en tránsito entre las dos estaciones pasarán por aquí. Se recomienda tomar el carril con acera lateral a ambos lados y ampliar la vereda para proporcionar más espacio a los peatones. Una pequeña plaza o parque cerca de esta esquina en la calle también funcionaría bien.

SEGURIDAD VIAL

Esta es la forma más sencilla de organizar una conexión entre rutas, pero también la que pone en el mayor riesgo a los pasajeros en tránsito. Hay varias maneras de mitigar este riesgo.

MEJORAS EN LA SEGURIDAD DE LOS PEATONES EN LA INTERSECCIÓN

Esta es la solución que se ilustra en la imagen a la izquierda. Se retira un carril por cada una de las dos aproximaciones que cruzan el sendero de los pasajeros en tránsito y se usan topes reductores de velocidad para disminuir el tráfico. También se recomienda no permitir ningún movimiento de giro que pueda entrar en conflicto con el tránsito de los peatones entre las dos estaciones.

Si hay un gran volumen de pasajeros en tránsito, se podría considerar incluir una única fase de señal peatonal para permitir que los pasajeros crucen entre las dos estaciones en una fase.

PUENTE PEATONAL O PASO INFERIOR QUE CONECTA LAS DOS ESTACIONES

También es posible conectar las dos estaciones con un puente peatonal o paso inferior. Esto haría que la conexión sea menos riesgosa para los peatones y tenga algunas ventajas operativas. Si las estaciones son conectadas, podrían funcionar como una sola estación y no habría ningún problema que los pasajeros en tránsito entren y salgan de la estación.

Este tipo de solución se ha implementado en la Avenida Jiménez y la Estación Ricaurte, las cuales cuentan con túneles peatonales de conexión. Un paso inferior tiene la ventaja de requerir rampas más cortas. Cuando se construye un puente entre las estaciones, es importante proporcionar una altura suficiente para permitir que los autobuses y camiones grandes pasen por debajo. Un paso superior requeriría una altura de 4,8 metros o más.

Un paso a desnivel sólo necesita tener una altura suficiente para el paso de una persona, lo general se puede fijar en 3 metros. La diferencia de 1,8 metros se traduciría en rampas que son de aproximadamente 18 metros más cortas, para una pendiente de 10%. La elección entre un paso inferior y un paso superior dependerá del espacio disponible dentro de la estación para incluir la rampa y el costo de construcción de una estructura subterránea, en oposición a un puente peatonal. Otras cuestiones a tener en cuenta en el diseño de un paso subterráneo son los niveles de iluminación y seguridad.

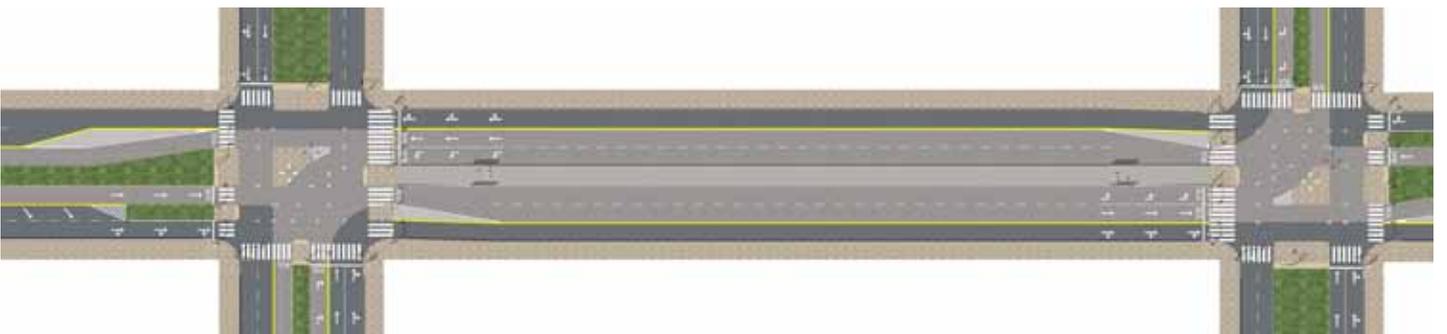
OPERACIONES

Sin un paso superior o inferior, este tipo de traslado exige que los pasajeros salgan en una estación y vuelvan a entrar en la siguiente. Para ello, será necesario tomar una decisión sobre cómo esto impacta en la tarifa que pagan los pasajeros en tránsito por su viaje.

Si bien esta opción plantea algunos problemas en cuanto al cobro de las tarifas de los pasajeros en tránsito y tiene el riesgo de que los pasajeros en tránsito puedan elegir otros modos de transporte debido a la dificultad de la conexión, ofrece una ventaja desde el punto de vista de la capacidad. A diferencia del ejemplo anterior, esta opción no constituiría un cuello de botella, ya que la capacidad de la intersección sería mayor que la de las dos estaciones. Con esta configuración, los dos corredores pueden manejar un mayor volumen de pasajeros por carril en comparación con el escenario en el que las conexiones son realizadas por rutas directas de intersección a nivel.

La elección entre este tipo de conexión y la anterior también se puede hacer dependiendo de la necesidad de incrementar la capacidad versus facilitando las conexiones.

CONEXIONES ENTRE LÍNEAS TRONCALES EN EL MISMO SISTEMA
DESVÍO EN UNA LÍNEA PARA ASEGURAR CONEXIONES ENTRE PLATAFORMAS



SEGURIDAD VIAL

Esta opción permitiría conexiones de plataformas cruzadas entre dos corredores, a pesar de que sólo hay una compañía que opere en cada pasillo. Esto tendría las ventajas de seguridad de la opción de rutas directas y la simplicidad operativa de un sistema con una ruta por corredor.

Hay más combinaciones posibles. Esta conexión podría ser rediseñada de manera que algunos autobuses sigan adelante en una sola línea, mientras otros hagan un desvío por la otra línea. Esto permitiría un ahorro de tiempo a través de los pasajeros, así como los pasajeros en tránsito.

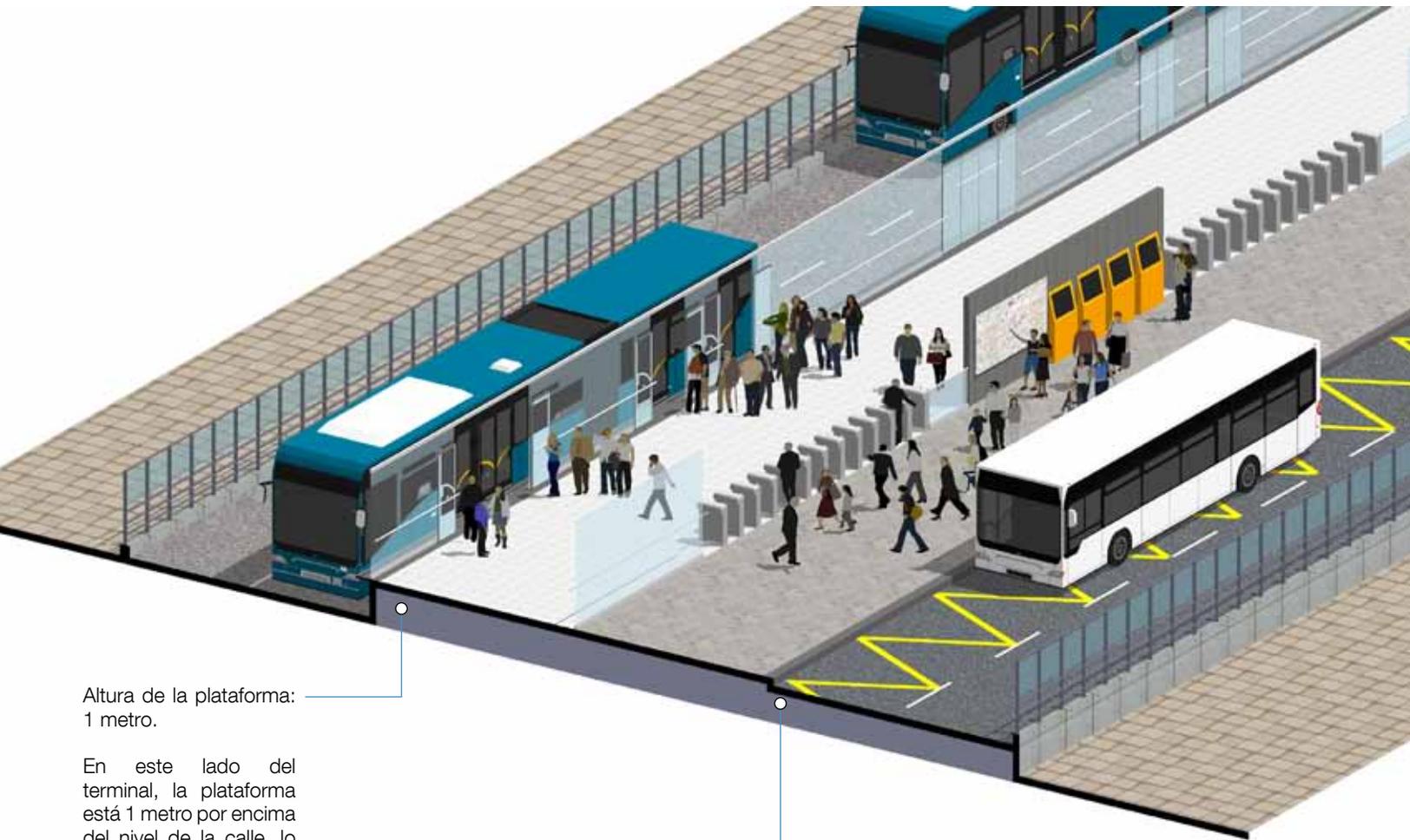
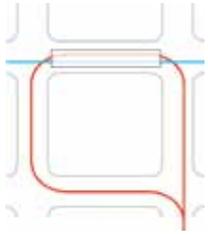
El principal problema de seguridad a considerar es el diseño de las intersecciones donde uno de los corredores de BRT toma el desvío. En el segmento donde ambas líneas comparten la misma calle, es importante proporcionar carriles separados para cada movimiento de giro en la intersección para evitar retrasos. Este es un problema operativo, pero la implicación de la seguridad es que el equilibrio y la alineación de carril deben mantenerse durante todos los movimientos a través de la intersección. Esto será algo complejo y requerirá el uso de medianas de ancho variable, islas fantasmas, marcas de sombreado, etc. El riesgo es que si las intersecciones están mal diseñadas, esto compensaría los beneficios de seguridad de las conexiones entre plataformas.

OPERACIONES

En este tipo de conexión, la capacidad está probablemente limitada por la intersección, en lugar de la estación. La estación también necesita contar con múltiples subestaciones y carriles de adelantamiento para asegurar que los autobuses de los dos corredores puedan acoplarse en la estación al mismo tiempo. Este tipo de configuración de la estación, teóricamente, puede manejar hasta 55,000 pphpd. La intersección donde las dos líneas de BRT convergen, sin embargo, puede no ser capaz de manejar los mismos volúmenes de pasajeros.

La intersección necesita tres fases, una para giros de autobuses de un corredor a otro y dos para el tráfico continuo en cada corredor. Recomendamos no permitir ningún giro a la izquierda realizado por el tráfico mixto, ya que esto podría incrementar el número de fases de señal requeridas y podría disminuir la capacidad de ambos corredores BRT.

TERMINAL INTEGRADO



Altura de la plataforma:
1 metro.

En este lado del terminal, la plataforma está 1 metro por encima del nivel de la calle, lo cual podría permitir un típico muelle de piso alto para autobuses con puerta a la izquierda.

Este lado del terminal debe ser utilizado por vehículos BTR de piso alto. Probablemente el terminal será cerrado y contará sistema de cobro externo.

Altura de la plataforma: 30 cm.

Los carriles de autobús en este lado del terminal están elevados 70 cm. por encima del nivel de la calle, de modo que de este lado la plataforma central puede dar servicio a autobuses de piso bajo.

Este lado del terminal debe ser utilizado por autobuses convencionales con puerta derecha. El terminal puede estar abierto y contar con recolección de tarifas dentro del vehículo, pero debe haber barreras de protección en el exterior del terminal para evitar que los peatones crucen los carriles de autobús.

SEGURIDAD VIAL

Esta es una opción de conexión muy segura para los pasajeros. El riesgo principal de seguridad a considerar es el punto de acceso al terminal para los autobuses. Es importante evitar los cuellos de botella y separar claramente las diferentes direcciones de tráfico. TransMilenio registró un accidente fatal en el terminal de Portal de Usme, cuando una línea principal y una línea de alimentación chocaron frontalmente a la entrada del terminal, hiriendo a varios pasajeros y matando a uno.

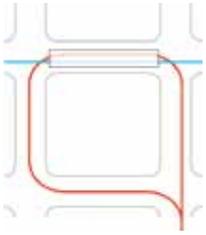
Para las plataformas de terminales, la cuestión clave de seguridad es proporcionar suficiente ancho para incluir los volúmenes esperados de los pasajeros. Si las plataformas se sobrecargan de personas, existe el riesgo de que los pasajeros terminen caminando en los carriles de autobús -particularmente en el lado del terminal con plataformas bajas.



Imágenes mostrando un diseño típico de un terminal de TransMilenio. Arriba: Autobuses alimentadores verdes paran en el lado izquierdo de la plataforma. Abajo, Autobuses articulados de la línea troncal roja en el lado superior derecho de la misma plataforma. Fotos de EMBARQ.

CONEXIONES ENTRE BTR Y OTROS SERVICIOS DE AUTOBÚS

TERMINAL INTEGRADO: PUNTOS DE ACCESO



En áreas del centro de la ciudad, muchos de estos pasajeros pueden comenzar o terminar su viaje en el terminal, en lugar de hacer conexión entre líneas. Los puntos de acceso peatonales deben ser capaces de recibir los volúmenes esperados de pasajeros por ciclo de la señal.



SEGURIDAD VIAL

El diseño de los puntos de acceso al terminal debería tratar de reducir al mínimo los conflictos entre los diferentes buses y también garantizar el acceso seguro de los peatones.

La imagen de la izquierda muestra una posible solución de diseño para uno de los contextos más difíciles para los terminales: un terminal en una zona del centro de la ciudad, con acceso a nivel tanto para los autobuses como para los peatones. Los conflictos entre los autobuses son tratados permitiendo el acceso de los autobuses troncales y alimentadores en el terminal en diferentes fases de señales. Los peatones cuentan con un amplio espacio de espera y cruces peatonales anchos. Es, sin embargo, muy recomendable proveer acceso peatonal al terminal a través de un paso inferior o paso elevado para eliminar los conflictos entre peatones y autobuses.

OPERACIONES

La capacidad en esta intersección sería ligeramente superior a la capacidad práctica del sistema, lo que significa que esto no constituiría un cuello de botella. Sin embargo, esta configuración puede dar lugar a elevados retrasos de peatones y una probabilidad de que los peatones crucen en rojo. Esto podría ser abordado garantizando el acceso de peatones a través de un túnel o paso elevado.

EJEMPLOS DE CONFIGURACIONES DE TERMINAL



PORTAL DEL NORTE, TRANSMILENIO

Situado en la reserva central de la Carretera Norte. Los autobuses tienen los puntos de acceso a nivel directamente desde la carretera, mientras que los peatones acceden al terminal a través de un paso a desnivel. Cuenta con dos plataformas paralelas, con troncos y alimentadores de frenado a ambos lados de cada plataforma. Los puntos de acceso para los autobuses en la terminal no están señalizados, dependiendo de los conductores el ceder el paso uno al otro. Imagen de Google Earth.



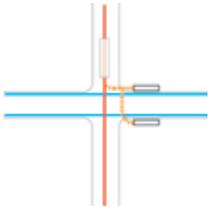
PORTAL TUNAL, TRANSMILENIO

Situado al costado de una arteria urbana, con acceso a nivel para autobuses y por medio de un paso elevado de peatones. Cuenta con una sola plataforma, con los autobuses de acoplamiento en ambos lados. Imagen de Google Earth.



PORTAL DEL SUR, TRANSMILENIO

Se trata de un mejor diseño para la seguridad y las operaciones, aunque es considerablemente más costoso: se encuentra justo al lado de una carretera y se accede a ella por los autobuses en ambas direcciones a través de pasos a desnivel. Esto elimina muchos de los conflictos de las otras dos configuraciones que se muestran arriba. Imagen de Google Earth.



SEGURIDAD VIAL

Este tipo de conexión por lo general ocurre entre los servicios de autobuses que no son operados por la misma agencia. Siempre es difícil coordinar los traslados en estos casos, pero la cuestión clave de seguridad es reducir al mínimo la distancia a pie para la conexión de pasajeros y para hacer la ruta de conexión lo más segura posible.

La estación de BRT debe estar situada lo más cerca posible a la intersección con el corredor de otro autobús. Se recomienda no permitir ningún giro en esta intersección que pueda entrar en conflicto con el camino de los pasajeros en tránsito. El cruce de peatones a lo largo de la mediana que se mostró en los anteriores diseños de la estación de

BRT es particularmente importante aquí. Si los servicios de autobuses locales no tienen más afluentes de cabecera, hay un riesgo de que los pasajeros en tránsito que salen de la estación de BRT puedan cruzar en rojo para coger el autobús. Proporcionar una mediana en el cruce otorga a los pasajeros la oportunidad de cruzar durante ambas fases de la señal.



SEGURIDAD VIAL

Este concepto de diseño muestra una posible forma de integrar un corredor de BRT con una red de ciclismo sin proporcionar infraestructura para bicicletas en el propio corredor. En este caso, la calle de cruce cuenta con ciclovías y estacionamientos para bicicletas en las cuatro esquinas.

Los ciclistas que acceden a la estación BRT podrían dejar su bicicleta en uno de los lugares de estacionamiento para bicicletas y luego cruzar a pie a la estación. El giro a la derecha de la calle transversal que está en conflicto con el acceso peatonal a la estación está prohibido. Obsérvese que las vías de ciclismo se colocan en una calle transversal menor con sólo un carril por sentido y no en una arteria urbana.

Si el estacionamiento se proporciona en el cruce de calles, se recomienda colocar la vía para ciclistas entre la fila de estacionamiento en la calle y la acera, con un espacio de protección pequeño (un bordillo o una mediana) para proteger a los ciclistas de la apertura de las puertas del vehículo.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto de investigación fue financiado con el apoyo de Bloomberg Philanthropies.

Los autores desean reconocer todos aquellos que participaron en la recopilación de datos y el esfuerzo de análisis, así como aquellos que compartieron sus conocimientos, proporcionaron comentarios, o participaron en inspecciones de sitio.

Rebecca Jaffe contribuyó a la recopilación y análisis de datos de Porto Alegre, Ciudad de México, y Bogotá.

Saúl Alveano Aguerrebere, Marco Tulio Priego Adriano, y Yorgos Voukas, de EMBARQ México, coordinaron los esfuerzos de recopilación de datos para el sistema de BRT Metrobús en la Ciudad de México y para el corredor de BRT Macrobús en Guadalajara. Jesús Alberto Leyva Gutiérrez y Diego Monraz Villaseñor, de la Secretaría de Vialidad y Transporte de Jalisco nos proporcionó datos de accidentes para la zona metropolitana de Guadalajara, y Joel Iván Zúñiga Gosálvez de EPS (Estudios, Proyectos y Señalización Vial SA de CV) compartió conteos de tráfico de la ciudad de Guadalajara.

Jorge Coxtinica Aguilar, Director de Operaciones para Metrobús en la Ciudad de México, junto con Director Técnico Jorge Casahonda Zentella y David Escalante Sánchez se reunieron con personal de EMBARQ y compartieron sus experiencias sobre accidentes en el sistema de Metrobús.

Mario Valbuena, Director de Operaciones, junto con el Director de Seguridad Carlos Gutierrez, así como Martín Salamanca, y Jaison Lucumí de TRANSMILENIO S.A. compartieron con nosotros su base de datos de accidentes para el sistema de BRT TransMilenio en Bogotá y acompañaron al personal de EMBARQ en una inspección de un corredor de TransMilenio.

Myriam Haidee Carvajal Lopez y Beatriz Elena Jurado Flóres, del Ministerio de Transporte de Colombia, nos dieron acceso a la información de la base de datos de seguridad vial de Colombia, incluyendo las ciudades de Bogotá, Cali, y Pereira.

Brenda Medeiros y Marta Obelheiro de EMBARQ Brasil coordinaron los esfuerzos de recopilación de datos para ciudades en Brasil. Empresa Pública de Transporte e Circulação (EPTC) y Matricial Engenharia Consultiva Ltda nos proporcionó datos de accidentes y conteos de tráfico para la ciudad de Porto Alegre. Urbanização de Curitiba S.A. (URBS) proporcionó datos de accidentes para corredores de BRT en la ciudad de Curitiba. Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte S.A. (BHTrans) proporcionó datos de accidentes para varios corredores de buses in Belo Horizonte, mientras Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CETSP) proporcionó datos de accidentes para vías de autobús en la ciudad de Sao Paulo.

Madhav Pai y Binoy Mascarenhas de EMBARQ India coordinaron los esfuerzos de recopilación de datos para ciudades en India, incluyendo los corredores de BRT en las ciudades de Delhi y Ahmedabad.

Judy Raski de Insurance Corporation of British Columbia (ICBC) compartió con nosotros un conjunto de datos de accidentes en la ciudad de Vancouver, incluyendo los carriles exclusivos para autobuses de las Rutas 97 y 99 de TransLink.

Rob McInerney de International Road Assessment Programme (iRAP) nos proporcionó datos sobre los accidentes de peatones en la vía de autobuses en el sureste de la ciudad de Brisbane, Queensland, Australia.

Ricardo Rivera Salas y Vladimir Americo García Valverde del Instituto Metropolitano Protransporte de Lima compartieron con nosotros una base de datos de accidentes en el BRT Metropolitano de la ciudad de Lima.

Los autores también desean reconocer los valiosos comentarios de Fred Wegman y Jacques Commandeur (SWOV – The Dutch National Institute for Road Safety Research), Steve Lawson (iRAP), Tony Bliss, Sam Zimmerman, y Said Dahdah (Banco Mundial), Gerhard Menckhoff (Institute for Transportation and Development Policy), Juan Carlos Muñoz Abogabir y Luis Ignacio Rizzi (Pontificia Universidad Católica de Chile), Alexandra Rojas y Claudia Puentes (Fondo de Prevencion Vial de Colombia), Holger Dalkmann, Clayton Lane, Benjamin Welle, Aileen Carrigan, Aaron Minnick, Heshuang Zeng, y Katherine Filardo (EMBARQ), Janet Ranganathan, y David Tomberlin (World Resources Institute).

- Almonte, A.M., M.A. Abdel-Aty. *Exploring the Level of Service and Traffic Safety Relationship at Signalized Intersections*. Institute of Transportation Engineers Journal, vol. 80, no. 6, June 2010.
- CERTU. *Bus à haut niveau de service : du choix du système à sa mise en œuvre*. Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme, et les constructions publiques, Lyon, 2009.
- Chias Becerril L., A. Cervantes Trejo. *Diagnóstico Espacial de los Accidentes de Tránsito en el Distrito Federal*. Secretaría de Salud, Mexico City, 2008.
- Dumbaugh, E., R. Rae. *Safe Urban Form: Revisiting the Relationship Between Community Design and Traffic Safety*. Journal of the American Planning Association, 75: 3, 309-329, 2009.
- Diogenes, M.C., L.A. Lindau. *Evaluating Pedestrian Safety at Midblock Crossings in Porto Alegre, Brazil*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, no. 2193, pp.37-43, 2009.
- Duduta, N., C. Adriaola, D. Hidalgo, L.A. Lindau, R. Jaffe. *Understanding the Road Safety Impact of High Performance BRT and Busway Design Features*. Transportation Research Record, forthcoming 2012.
- EMBARQ. *Bus Karo. A Guidebook on Bus Planning and Operations*. EMBARQ Center for Sustainable Transport, Mumbai, 2011.
- FTA. *Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making*. Federal Transit Administration, Washington DC. 2004.
- Gardner, G., P. Cornwell, J. Cracknell. *The Performance of Busway Transit in Developing Countries*. TRRL Research Report 329, Crowthorne UK, 1991.
- Hidalgo, D., A. Carrigan. *Modernizing Public Transportation. Lessons learned from major bus improvements in Latin America and Asia*. World Resources Institute Report. Washington DC, 2010.
- Hidalgo D., G. Lleras, E. Hernandez. *Passenger Capacity in Bus Rapid Transit Systems - Formula Development and Application to the TransMilenio System in Bogota, Colombia*, presented at Thredbo 12 Conference, Durban, 2011
- Ladrón de Guevara, F., S.P. Washington, and J. Oh. *Forecasting Crashes at the Planning Level. Simultaneous Negative Binomial Crash Model Applied in Tucson, Arizona*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1987, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 191-199, 2004.
- Levinson, H., et al. *Bus Rapid Transit: Case Studies in Bus Rapid Transit*. Transit Cooperative Research Program – Report 90, Vol. I, Transportation Research Board, National Academies, Washington DC, 2003.
- Lindau, L.A., D. Hidalgo, D. Facchini. *Curitiba, the Cradle of Bus Rapid Transit*. Built Environment 36, 274-283.
- Lindau, L.A., B.M. Pereira, R.A. de Castilho, M.C. Diogenes, J.C. Herrera. *Impact of design elements on the capacity and speed of Bus Rapid Transit (BRT): the case of a single lane per direction corridor*, presented at Thredbo 12 Conference, Durban, 2011.
- NACTO. *Urban Bikeway Design Guide*. National Association of City Transportation Officials. 2011
- NTU. *Conceitos e Elementos de Custos de Sistemas BRT*. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, Brasília, 2010.
- Transportation Research Board. *Highway Capacity Manual 2010*. Washington DC, 2010.
- Rickert, T. *Bus Rapid Transit Accessibility Guidelines*. 2007.
- Viola, R., M. Roe, H. Shin. 2010. *The New York City Pedestrian Safety Study and Action Plan*. New York City Department of Transportation, 2010.
- Vuchic, V. *Urban Transit. Systems and Technology*. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons, 2007.
- Wright, L., W. Hook, Eds. *Bus Rapid Transit Planning Guide*, 3rd edition. Institute for Transportation and Development Policy (ITDP), New York. 2007.



EMBARQ es el Centro de Transporte Sostenible de WRI. A través de su red cataliza soluciones de transporte sostenible tanto a nivel ambiental como económico, con el propósito de mejorar la calidad de vida en las ciudades, reducir la contaminación, mejorar la salud pública y crear espacios públicos urbanos seguros, accesibles y atractivos.

EMBARQ

10 G Street, NE,
Suite 800
Washington, DC 20002
USA
+1 (202) 729-7600

EMBARQ ANDINO

Palacio Viejo 216, Oficina 702
Arequipa, Perú
+51 54283393

EMBARQ MEXICO

Calle Belisario Dominguez #8, Planta Alta
Colonia Villa Coyoacán, C.P. 04000
Delegacion Coyoacán, México D.F.
+52 (55) 3096-5742

EMBARQ INDIA

Godrej and Boyce Premises
Gaswork Lane, Lalbaug
Parel, Mumbai 400012
+91 22 24713565

EMBARQ BRAZIL

Rua Luciana de Abreu, 471/801
90570-060 Porto Alegre/RS
Brasil
+55 51 3312 6324

EMBARQ CHINA

Unit 0902, Chaowai SOHO Tower A
Yi No. 6
Chaowai Dajie, Chaoyang District
Beijing 100020, China
+86 10 5900 2566

EMBARQ TURKEY

Tersane Cad. No:104 K:5 Ozdalli Is Merkezi 34420
Karakoy, Beyoglu ISTANBUL
+90 (212) 244 74 10