SOCIEDAD CHILENA DE
INGENIERÍA DE TRANSPORTE

RECOMENDACIONES DE BUENAS PRÁCTICAS PARA PRIORIDADES A BUSES EN PAÍSES EN DESARROLLO

Santiago, Junio de 2022

Recomendaciones de Buenas Prácticas para Prioridades a Buses en Países en Desarrollo

Rodrigo Fernández – Sebastián Seriani – Alejandra Valencia

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA DE TRANSPORTE
Filial Instituto de Ingenieros de Chile
www.sochitran.cl
Fidel Oteíza 1916 Oficina 706, Providencia
Santiago, CHILE

La Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte (SOCHITRAN) tiene por misión crear, estudiar, estimular, promover, coordinar y difundir toda clase de iniciativas que tiendan a desarrollar la investigación en Ingeniería de Transporte y a fomentar la aplicación de nuevas tecnologías en el sector transporte nacional.

Promover, organizar y colaborar en la realización de congresos, jornadas, seminarios, cursos y simposios, de carácter nacional e internacional, sobre materias de transporte. Debatir y elaborar documentos que ayuden a detectar y solucionar los grandes problemas del sector transporte en el país.

Este documento "Recomendaciones de Buenas Prácticas para Prioridades a Buses en Países en Desarrollo" es de distribución gratuita y abierta. Se prohíbe su venta o comercialización.

Diseño: Margarita Valenzuela.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento del proyecto FONDECYT Regular Nº1120219 para la redacción de este documento. Se reconoce, además, el uso de tablas y figuras de fuentes externas, las que se mencionan en las referencias de cada capítulo. No obstante, los errores y omisiones que puedan existir son de exclusiva responsabilidad de los autores de este texto.

Presentación

Este documento trata sobre la gestión de la infraestructura vial instalada para mejorar la circulación de los buses en países donde la tasa de motorización es creciente, pero, por múltiples razones, una proporción no menor de la población es cautiva del transporte público. Hay dos razones que motivan presentar las recomendaciones aquí expuestas. En primer lugar, los buses son el medio predominante de transporte público en cualquier ciudad; todas tienen algún sistema de buses, pero solo unas pocas disponen de sistemas de metro. En segundo término, con una inversión relativamente baja se puede ofrecer un sistema de buses eficaz para sus usuarios.

El objetivo de este texto es presentar medidas de ingeniería y gestión de tránsito que mejoren la circulación de los buses. Varias de las recomendaciones fueron extraídas de experiencias de países desarrollados. Otras provienen de investigaciones realizadas en Chile y difundidas en libros, congresos nacionales y conferencias internacionales.

El primer capítulo se refiere a la movilidad en transporte público definiéndola como la capacidad de moverse lejos y rápido por este medio desde un origen a un destino final. Este concepto incluye la caminata a los paraderos, la subida y bajada de los pasajeros en estos y circulación de los buses por las calles. De aquí nace el concepto de nivel de servicio del transporte público que incluye tanto variables cuantitativas como cualitativas.

En el segundo capítulo se revisan las prácticas de priorización a los buses, para lo cual se hace una revisión de la literatura atingente. En anexos se muestran casos de sistemas de buses de alta capacidad y sus características de funcionamiento, tanto de Latinoamérica como de otras latitudes. Además, se trata el tema de cómo modelar el tráfico de buses mediante modelos analíticos, de simulación y experimentación a escala real.

Cómo otorgar preferencia a los buses en tramos de vía, esto es, entre paraderos y/o intersecciones semaforizadas es el objetivo del capítulo 4. Se abordan los criterios para instalar diversos tipos de carriles exclusivos, desde pistas solo bus a calles solo bus cuyo objetivo es proteger a los buses de la congestión producida por el resto del tráfico.

El capítulo 5 aborda las soluciones para que los buses puedan salvar intersecciones semaforizadas reduciendo sus demoras. Se presentan contenidos como la programación de semáforos en función del flujo de buses, evasión de colas en semáforos, pistas solo bus cortas, entre otros.

El principal cuello de botella de cualquier sistema de transporte público son sus lugares de parada. Por lo tanto, el capítulo 6 trata lo que denominamos "prioridad en paraderos". Esto es, cómo determinar el espaciamiento, capacidad, tipos y layout de paraderos, de modo de hacer más eficiente la interacción entre buses y pasajeros en las paradas.

Índice

Capítulo 1
EL PROBLEMA DEL TRANSPORTE PÚBLICO **8**
- **1.1** Componentes del sistema de transporte público 8
- **1.2** Nivel de servicio del transporte público 9
- **1.3** Espiral de deterioro del transporte público 10
- **1.4** Referencias 11

Capítulo 2
REVISIÓN DE LA TEORÍA Y PRÁCTICA PRIORIDAD A BUSES **13**
- **2.1** Revisión de medidas de prioridad a buses 13
- **2.2** Necesidad de modelación y experimentación 15
  - **2.2.1** Por qué y cuándo modelar 15
  - **2.2.2** Qué modelar o estimar 16
  - **2.2.3** Cómo modelar 16
- **2.3** Referencias 17

Capítulo 3
PRIORIDAD A BUSES EN TRAMOS DE VÍA **20**
- **3.1** Pistas solo bus 20
- **3.2** Pista solo bus con setback 27
- **3.3** Pista solo bus doble 29
- **3.4** Pistas solo bus en hora punta e intermitentes 30
- **3.5** Pistas solo bus a contra flujo 30
- **3.6** Calles solo bus 30
- **3.7** Corredor segregado de buses o BRT (Bus Rapid Transit) 32
- **3.8** Traffic calming para buses 32
- **3.9** Referencias 35

Capítulo 4
PRIORIDAD A BUSES EN INTERSECCIONES **36**
- **4.1** Pistas solo bus cortas 36
- **4.2** Programación de semáforos para buses 36
- **4.3** Semáforos actuados por buses 37
- **4.4** Pre-semaforización 38
- **4.5** Evasión de colas 39
- **4.6** Prioridad al viraje de buses 40
- **4.7** Prioridades en Rotondas 40
- **4.8** Referencias 42

Capítulo 5
PRIORIDAD A BUSES EN PARADEROS **43**
- **5.1** Prioridad en el diseño de paraderos 43
- **5.2** Espaciamiento entre de paraderos 44
- **5.3** Capacidad y tipo de paraderos 45
- **5.4** Diseño en planta de paraderos 51
- **5.5** Referencias 58

Índice de Figuras

Figura 1.1: *Componentes de la movilidad en transporte público* 8
Figura 1.2: *Espiral de deterioro del transporte público* 11
Figura 3.1: *Demarcación de pista solo bus (CONASET, 2012)* 25
Figura 3.2: *Configuración típica de pistas solo bus lateral (TPB, 2011)* 25
Figura 3.3: *Configuración típica de pistas solo bus intermedia (TPB, 2011)* 26
Figura 3.4: *Configuración típica de pistas solo bus central (TPB, 2011)* 26
Figura 3.5: *Configuración típica de pistas solo bus en mediana (TPB, 2011)* 27
Figura 3.6: *Pista solo bus con setback* 29
Figura 3.7: *Configuración de pista solo bus reversible en pista central* 30
Figura 3.8: *Configuración de pista solo bus a contra flujo (TRB, 2003)* 31
Figura 3.9: *Configuración típica de calle solo bus (TRB, 2003)* 31
Figura 3.10: *Configuración típica de sistema BRT en vías urbanas* 32
Figura 3.11: *Configuración típica de sistema BRT en vías expresas o autopistas (VTA Transit, 2007)* 33
Figura 3.12: *Configuración típica de cojines en pistas para buses (TfL, 2005)* 34
Figura 4.1: *Pista solo bus corta en intersección de una vía unidireccional* 36
Figura 4.2: *Onda de verde a lo largo de una calle (Smith et al, 2005)* 36
Figura 4.3: *Semáforo actuado por buses utilizado en Londres (TfL, 2009)* 38
Figura 4.4: *Ejemplo de solicitud de semáforo actuado por buses (TfL, 2009)* 38
Figura 4.5: *Pre-semaforización facilita maniobras de buses (vía unidireccional)* 39
Figura 4.6: *Pista adicional para buses (vía bidireccional)* 39
Figura 4.7: *Pista adicional prolongada con paradero para buses (vía bidireccional)* 39
Figura 4.8: *Prioridad al viraje de buses en nueva pista adicional (A) y en pista "solo bus" existente (TRB, 2013)* 40
Figura 4.9: *Prioridad a buses antes de llegar a una rotonda (TSM, 2003)* 41
Figura 4.10: *Adecuado diseño de prioridad a buses en rotonda (TRB, 2010)* 41
Figura 5.1: *Diseño de rutas del transporte público* 44
Figura 5.2: *Componentes de un paradero de buses* 45
Figura 5.3: *Paradero dividido en línea* 46
Figura 5.4: *Capacidad de paraderos de sitios múltiples* 47
Figura 5.5: *Outputs de PASSION* 48
Figura 5.6: *Interfaz animada en PASION 5.0* 49
Figura 5.7: *Soleras especiales (TfL, 2006)* 50
Figura 5.8: *Diseño en planta y perfil de un paradero simple con 2 sitios* 50
Figura 5.9: *Aspecto del diseño de un paradero de un sitio* 51
Figura 5.10: *Cuñas de entrada y salida desde paraderos (London Transport, 1996)* 52
Figura 5.11: *Paradero dividido con pista de adelantamiento* 52
Figura 5.12: *Layout de un paradero dividido* 52
Figura 5.13: *Dimensiones de paraderos divididos de un sitio* 53
Figura 5.14: *Dimensiones de un embarcadero de buses de ancho completo* 53
Figura 5.15: *Dimensiones de un embarcadero de buses de medio ancho (IHT, 1997)* 54
Figura 5.16: *Dimensiones de una bahía para buses (IHT, 1997)* 54
Figura 5.17: *Rediseño de una bahía en media bahía (IHT, 1997)* 55
Figura 5.18: *Layout de paradero en diente de sierra* 55
Figura 5.19: *Dimensiones de embarcaderos en ángulo (TfL, 2006)* 56
Figura 5.20: *Dimensiones de embarcaderos en ángulo (TfL, 2006)* 56
Figura 5.21: *Paradero en isla en un BRT* 56
Figura 5.22: *Paraderos divididos en paralelo con isla de embarque (MIDEPLAN, 1998)* 56

Índice de Tablas

Tabla 3.1: *Flujo mínimo que justifica pista solo bus* 20
Tabla 3.2: *Flujo mínimo de buses que justifica pista solo bus en calle de 2 pistas [bus/h]* 21
Tabla 3.3: *Flujo mínimo de buses que justifica pista solo bus en calle de 3 pistas [bus/h]* 21
Tabla 3.4: *Valores que justifican los diferentes tipos de pista solo bus* 22
Tabla 3.5: *Valores que justifican los tipos de prioridad a buses* 23
Tabla 3.6: *Mínimos recomendables y absolutos para pistas solo bus en recta* 23
Tabla 3.7: *Anchos recomendables para vías exclusivas de buses [m]* 23
Tabla 3.8: *Máxima inclinación longitudinal para pistas solo bus* 24
Tabla 3.9: *Mínimo radio para pistas solo bus* 24
Tabla 3.10: *Ventajas y desventajas de diferentes ubicaciones para la pista solo bus* 28
Tabla 3.11: *Clasificación de corredores segregados de buses o BRT* 32
Tabla 5.1: *Parámetros del modelo exponencial de velocidad comercial* 43
Tabla 5.2: *Valores de Za para distintas probabilidades de falla de un paradero* 46
Tabla 5.3: *Eficiencia de sitios linealmente dispuestos en paraderos* 47
Tabla 5.4: *Variables de diseño del layout en dientes de sierra [m]* 55
Tabla A.1: *Principales sistemas de prioridad a buses en Latinoamérica* 59
Tabla A.2: *Otros sistemas de prioridad a buses en Latinoamérica* 60
Tabla A.3: *Principales sistemas de prioridad a buses en el resto del mundo* 61

Capítulo 1
EL PROBLEMA DEL TRANSPORTE PÚBLICO

1.1 COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO

La movilidad en cualquier sistema de transporte es la capacidad para moverse lejos y rápido. Por ende, en transporte público la movilidad es la posibilidad para ir lejos y rápido por este medio. Sus componentes son (Fernández, 2003):

» Accesibilidad al sistema.
» Acceso a los vehículos.
» Circulación de los vehículos.

Se define accesibilidad como la facilidad para alcanzar el sistema de transporte público desde el punto de origen, así como alcanzar el destino final desde el sistema. En transporte público estas etapas de viaje se hacen en la gran mayoría de los casos caminando. Por lo tanto, los elementos físicos que contribuyen a la accesibilidad serán las aceras (en su sentido genérico de senda peatonal) y los cruces peatonales con otras vías.

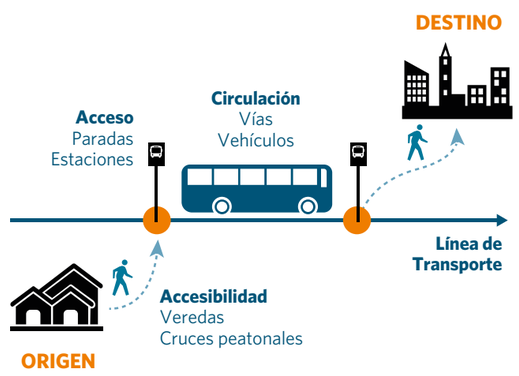
El acceso, por su parte, es la comodidad para ingresar y egresar del sistema de transporte público. Esto involucra esperar, identificar, subir y bajar de los vehículos en sus lugares de detención, ya sean paraderos o estaciones. Los elementos físicos que contribuyen a este proceso son la existencia de andenes para la espera, subida y bajada de pasajeros, áreas de parada adecuadas para la detención de los vehículos y un sistema de información que indique la oferta de servicios y sus características como rutas, horarios e itinerarios.

Por último, la circulación es la habilidad para que los usuarios, una vez en los vehículos de transporte público, se muevan fluidamente dentro del resto del tráfico. Sus elementos físicos coadyuvantes son los vehículos, las vías, las intersecciones y los sistemas de control de tráfico que regulan el uso de estas infraestructuras.

Las definiciones anteriores son genéricas a cualquier sistema de transporte público: ferrocarriles, metros, tranvía buses o similares. La Figura 1-1 ilustra las distintas componentes de la movilidad. De ella es claro ver que, si alguno de los elementos de la cadena de movilidad es deficiente o inexistente, todo el sistema de transporte público será imperfecto y viceversa.

Es conveniente aclarar que en la nomenclatura de modelos estratégicos de transporte se suele llamar "acceso" a la combinación de la accesibilidad y el acceso. Sin embargo, para el estudio a una escala de diseño de ingeniería es necesario diferenciarlos, ya que son procesos de distinta naturaleza que involucran diferentes infraestructuras.

Figura 1.1: Componentes de la movilidad en transporte público



1.2 NIVEL DE SERVICIO DEL TRANSPORTE PÚBLICO

En transporte público el Nivel de Servicio es la calidad experimentada por los usuarios durante un viaje, excluida la tarifa. El Nivel de Servicio se compone de seis variables de servicio; tres cuantitativas y tres cualitativas. Estas se describen a continuación.

» Componentes cuantitativas
» Tiempo de accesibilidad a la parada
» Tiempo de espera del vehículo
» Tiempo de viaje en el vehículo

Tiempo de accesibilidad. Es el tiempo entre el punto de origen y la parada más cercana, más el tiempo entre la parada más cercana al destino y el destino final. Sus componentes son el tiempo de caminata y las demoras en cruzar las calles intermedias y está relacionado con el espaciamiento entre paraderos o estaciones. La accesibilidad se calcula según la ecuación siguiente.

$$t_A = \frac{(D_o+D_d)}{v_p} + \sum_{i=1}^{NC} d_{ci} \qquad (1.1)$$

En que t_A es el tiempo de accesibilidad en un viaje en transporte público; Do es la distancia desde el origen del viaje al paradero más cercano; Dd es la distancia desde el paradero más cercano al destino y el destino final; v_p es la velocidad de caminata; dci es la demora en el cruce peatonal i; y NC es el número de cruces de calles durante toda la caminata. Las demoras en cruces se calculan mediante modelos analíticos de teoría de tráfico vehicular (Fernández, 2011).

Tiempo de espera. Es el lapso entre la llegada del pasajero al andén y la llegada del vehículo que le sirve. Depende del intervalo promedio entre vehículos de transporte público y de cuán variables son los intervalos. También puede ser función de los horarios de pasadas en servicios de baja frecuencia (por ejemplo, un vehículo cada 30 minutos), porque los pasajeros pueden acomodar su llegada al paradero. No obstante, si la frecuencia es mayor a un vehículo cada 15 minutos, es más importante conocer la frecuencia promedio que la hora exacta a la que pasará el servicio.

Una forma de calcular el tiempo de espera es ofrecida por Holroyd and Scraggs (1966). Para estos autores, dada una tasa constante de llegada de pasajeros a un paradero, el tiempo de espera de los pasajeros se puede calcular como:

$$TEP = \frac{\bar{h}}{2}(1+C_h^2) = \frac{\bar{h}}{2} + \frac{\bar{h}}{2}C_h^2 = \frac{\bar{h}}{2} + TEE \qquad (1.2)$$

Donde TEP es el Tiempo de Espera Promedio; TEE es el Tiempo de Espera Excedente; es el intervalo medio entre vehículos; Ch es el coeficiente de variación de los intervalos; y h es la desviación estándar de éstos. En inglés se le llama Average Waiting Time (AWT) al TEP y Excess Waiting Time (EWT) al TEE. Este último corresponde al tiempo extra que espera un pasajero producto de la irregularidad en el servicio. De la ecuación anterior se concluye que mientras más regular son los intervalos entre vehículos, menor es el tiempo de espera excedente y, por ende, el tiempo de espera promedio. Por ejemplo, el TEE del metro será menor que el de los buses, porque el metro no es afectado por la congestión de tráfico y, solo en sistemas complejos, sufre esperas en cruces con otras líneas.

Tiempo de viaje. Corresponde al tiempo que le toma a un pasajero, una vez dentro del vehículo viajar desde un paradero origen a otro paradero de destino. Sus elementos son el tiempo en movimiento, el tiempo consumido en paraderos intermedios, más las demoras en las intersecciones a lo largo de la ruta. Estas demoras intermedias dependen de la cantidad de veces que se detiene el vehículo. Como los vehículos de transporte público se detienen, además de en intersecciones, en paraderos, el tiempo de viaje se correlaciona con el espaciamiento entre estos. Luego, se puede calcular como sigue (Gibson et al, 1989).

$$t_T = \frac{L}{V_r} + \sum_{k=1}^{NI} d_{ik} + \sum_{k=1}^{NP} (d_{pk} + d_{ck}) \qquad (1.3)$$

Donde t_T es el tiempo total de viaje en un tramo de longitud L; V_r es la velocidad de recorrido entre detenciones; dik es la demora en la intersección k; d_{pk} es la demora por subida y bajada de pasajeros en el paradero k; y dck un tiempo perdido debido a congestión en el paradero k, si la hay. NI y NP son respectivamente el número de intersecciones y paraderos a lo largo del tramo. Como en todo sistema de transporte, las demoras, el número de detenciones y la longitud de cola en paraderos e intersecciones, son función de la capacidad de estos elementos. Luego, los términos di, dp y dc se calculan según la teoría del tráfico vehicular (Fernández, 2011).

En transporte público también suele usarse suele usarse la velocidad comercial (V_c) como indicador de rendimiento. Esta corresponde a la velocidad promedio del viaje, incluidas todas sus demoras intermedias; es decir, es el inverso del tiempo total de viaje en un tramo de longitud L:

$$V_c = \frac{L}{t_T} \qquad (1.4)$$

» Componentes cualitativas
» Comodidad durante el viaje
» Seguridad en tránsito
» Confiabilidad del servicio

Comodidad. En transporte público la comodidad se refiere a aspectos como la posibilidad de viajar sentado o, si es que se va de pie, de no ir hacinado. Si bien es una variable subjetiva, hay algunos indicadores cuantitativos que la miden, como la densidad de pasajeros en el vehículo. Por ejemplo, en períodos punta la densidad de pasajeros dentro del vehículo sea menor que 2 pasajeros/m^2 o que en períodos fuera de punta, entre el 5 y 25% de los asientos estén disponibles, de modo que los pasajeros puedan viajar sentados (TRB, 2010). También impactan aspectos como la existencia de asientos y refugio (techo) en los paraderos. Por ejemplo, que el refugio pueda contener al número promedio de pasajeros que suben a cada vehículo en el período de máxima demanda, y que la cantidad de asientos en el andén sea igual al promedio de pasajeros que espera en dicho período (Fernández, 2003).

Seguridad. Se refiere a la probabilidad de no sufrir un accidente en el trayecto del vehículo. Depende de la conducción del vehículo y de su interacción con el resto del tráfico. Por ejemplo, en sistemas ferroviarios, es función de la calidad del control del tráfico que evite colisiones. También se aplica a la seguridad en las estaciones o paraderos, como que los andenes no estén congestionados como para que exista la posibilidad de caer a la vía. Esto último se puede cuantificar mediante una densidad máxima recomendada en andenes que no supere 1,5 pasajeros/m2 (Fernández, 2003). Otro aspecto es la seguridad personal, es decir la posibilidad de no ser hurtado o molestado en el vehículo o paradero. A esto contribuye la vigilancia, visibilidad, iluminación y limpieza de vehículos y paraderos.

Confiabilidad. La confiabilidad en transporte público responde a la inquietud de en qué medida el servicio anunciado exista cuando se le requiera, que pase con la regularidad indicada y que, de pasar, se detenga en el paradero para tomar y dejar pasajeros de forma expedita. Contraejemplos son un sistema de metro que, debido a fallas repetidas, el servicio se suspende en horas punta, o un servicio de buses que, debido a la congestión o al mal manejo de la flota, no pase durante un lapso mayor a su tiempo de espera acostumbrado.

En conclusión, todas las componentes del Nivel de Servicio del transporte público son igualmente importantes. Si alguna de ellas es deficiente, todo el servicio será percibido como deficiente. En particular, los usuarios suelen dar importancia al tiempo de espera y a la comodidad.

1.3 ESPIRAL DE DETERIORO DEL TRANSPORTE PÚBLICO

Los sistemas de transporte público, en particular los servicios de buses, están amenazados con la llamada Espiral de Deterioro del Transporte Público. Este fenómeno se puede describir mediante el modelo conceptual de la Figura 1.2. (Orúzar and Willumsen, 2011).

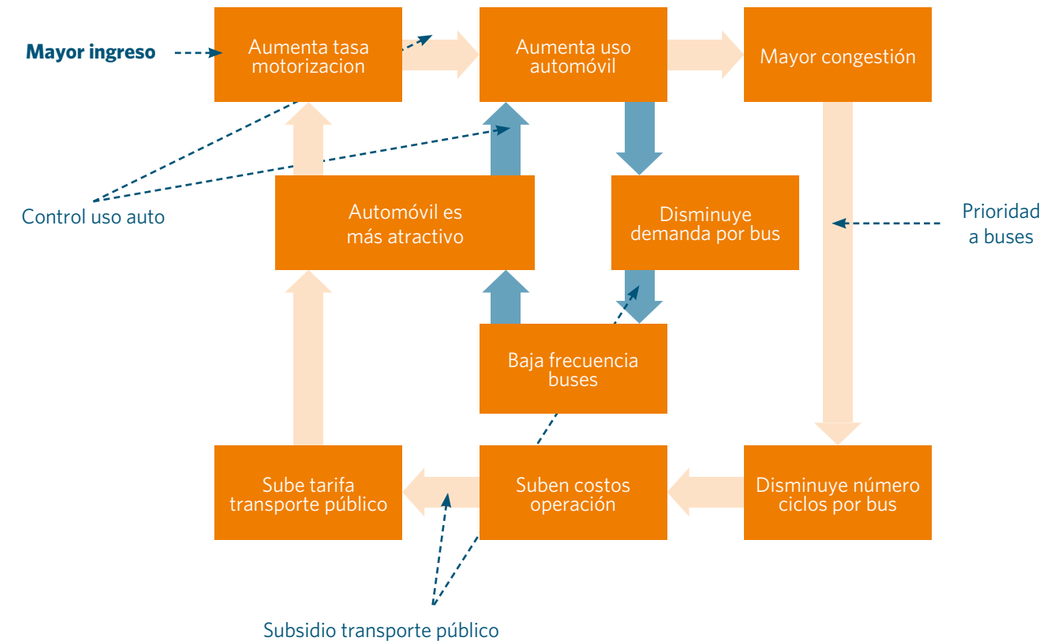
En todas las economías emergentes ocurre que, a medida que aumenta el ingreso, las personas adquieren automóviles, ya sea porque es un bien que confiere prestigio social, porque otorga libertad y comodidad para transportarse, para escapar de un sistema de transporte público deficiente, entre otras razones. Esto se traduce en un aumento de la tasa de motorización; es decir, en el número de vehículos por habitantes. Por ejemplo, en Chile se pasó de un PIB per cápita de aproximadamente US$ 4.600 en 2001 a US$ 15.200 en 2012 y la tasa de motorización aumentó de 140 a 228 vehículos por cada 1000 habitantes (SECTRA, 2012).

Cuando una persona tiene acceso al automóvil lo usará en sus viajes para justificar su inversión, aun cuando no sea imprescindible, lo que se traducirá en un mayor número de vehículos circulando por la misma infraestructura vial. Y aunque se construya más infraestructura, de todos modos, se producirá congestión vehicular, debido a que los flujos vehiculares tienen la propiedad de sobreponerse a cualquier aumento de capacidad vial (Goodwin, 1992). Esto afectará a los buses, los que se verán atrapados en la congestión causada por el resto del tráfico.

A consecuencia de la congestión vehicular, cada bus se demorará más y hará menos viajes de ida y vuelta al terminal (ciclos). Por lo tanto, el operador deberá aumentar su flota para mantener las frecuencias convenidas, lo que se traducirá en un incremento de sus costos de operación: combustible, conductores, mantención, amortización, financiación, y otros. Para mantener sus utilidades el operador subirá la tarifa del servicio. Tarifas más altas hacen que el automóvil sea más atractivo y la tasa de motorización vuelva a subir. Esto cierra y continúa el círculo de flechas oscuras de la Figura 1-2.

Por otra parte, haciéndose el automóvil más atractivo producto del incremento de las tarifas, quienes posean uno lo

Figura 1.2: Espiral de deterioro del transporte público



preferirán al transporte público. Ante la baja la demanda por los buses, los operadores, a veces con la venia de las autoridades, disminuirán las frecuencias, deteriorando el nivel de servicio. De nuevo, el automóvil se volverá más atractivo y el círculo de flechas claras se cerrará y continuará.

¿Cómo se puede frenar este deterioro? Las flechas segmentadas de la figura sugieren acciones para romper este círculo vicioso.

Unas son medidas de política de transporte, como los subsidios al transporte público, resistidos políticamente, pero a veces inevitables para sostener la tarifa y no perjudicar el nivel de servicio.

Otra alternativa es la gestión de la demanda de tráfico que apuntan a controlar el uso (no la tenencia) del automóvil en viajes que podrían hacerse en transporte público, **si y solo si el transporte público tiene un apropiado nivel de servicio.** En caso contrario estas iniciativas no tendrán efecto. Por ejemplo, restringir los estacionamientos en el centro de la ciudad, ya sea reduciendo los lugares para estacionar y/o aumentando su tarifa. Un remedio también políticamente impopular pero efectivo ha sido la tarificación vial de cordón, en que se cobra a cada vehículo el costo marginal por la congestión que produce al cruzar la frontera hacia una zona saturada por el tráfico.

Por último, están las medidas de prioridad a la circulación de los buses, que hacen más expedito el tráfico de estos en calles congestionadas. Ejemplo son las pistas solo bus, calles solo bus, corredores segregados para buses, prioridad a los buses en la programación de los semáforos, diseño de paraderos de alta demanda, entre varias otras medidas de gestión de tráfico.

En este texto nos enfocaremos en este último tipo de medidas de prioridad al transporte público, consideradas en un contexto de países en desarrollo. Esto quiere decir, economías en las cuales la tasa de motorización es creciente, pero, por múltiples razones, una proporción no menor de la población es cautiva del transporte para acceder a sus actividades.

1.4 REFERENCIAS

Fernández, R. (2003) Modelling bus stop interactions. PhD Thesis, University of London (Unpublished).

Fernández, R. (2011). Elementos de la teoría del tráfico vehicular. Fondo Editorial, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Gibson, J., I. Baeza and L.G. Willumsen (1989) Bus stops, congestion and congested bus stops. Traffic Engineering and Control 30(6), 291-196.

Goodwin, P.B. (1992). The quality margin in transport. Traffic Engineering and Control 33(12), 661-665.

Holroyd, E.M. and Scraggs, D.A. (1966) Waiting times for buses in Central London. Traffic Engineering and Control 8(3), 158-160.

Ortúzar, J.D. and Willumsen, L.G. (2011). Modelling Transport. Wiley.

SECTRA (2012). Encuesta Origen Destino de Viajes. Secretaría de Planificación de Transporte, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Gobierno de Chile.

TRB (2010). Highway Capacity Manual 2010. Transportation Research Board, Washington D.C.

Capítulo 2
REVISIÓN DE LA TEORÍA Y PRÁCTICA PRIORIDAD A BUSES

2.1 REVISIÓN DE MEDIDAS DE PRIORIDAD A BUSES

En países desarrollados existen diferentes instituciones dedicadas a implementar medidas de prioridad a buses. Es así como Reino Unido, Australia, Estados Unidos, Canadá, entre otros cuentan con diferentes manuales y guías que ayudan a los tomadores de decisión, decidir qué medidas de prioridad son más efectivas de implementar en cada caso.

En este sentido, Reino Unido lleva la delantera en el diseño e implementación de guías y manuales de prioridad a buses como el conocido "Bus Priority Systems" (NATO, 1976), el cual describe los diferentes tratamientos de prioridad a buses en tramos de vía e intersecciones. En el primer caso, las medidas son: pistas solo bus, pistas solo bus a contra flujo, reserva de pistas en autopistas, calles solo bus y corredores de buses. En el caso de las intersecciones la principal medida a implementar por este manual es la prioridad en la programación de semáforos a buses. El manual también entrega recomendaciones en la utilización eficaz del espacio vial urbano, la integración de las prioridades y la planificación y evaluación de los esquemas de prioridad. En el mismo periodo en los Estados Unidos se recoge una serie de prioridades a buses en autopistas en el documento "Bus use of highways: Planning and design guidelines" (Levinson et al, 1975) el cual contiene directrices de diseño de buses y las principales medidas de prioridad e infraestructura de autopistas para buses incluyendo avenidas y terminales.

Otras guías prácticas de información e implementación de medidas de prioridad a buses en cuanto a planificación, diseño de pistas, intersecciones y paraderos son:

- ***"Design guidelines for busway transit"*** (TRL, 1993), en este caso incluyen información de mediciones y estimaciones de rendimiento de pistas de buses, medidas especiales de operación y la efectividad de la capacidad versus el espaciamiento de paradas.
- ***"State Transit Bus Infrastructure Guide"*** (Transport State Transit, 2011) guía práctica de diseño de buses, diseño de paraderos, elementos de la ruta de buses y medidas de traffic calming para buses.
- ***"Bus Priority Treatment Guidelines"*** (TPB Metropolitan Washington, 2011) medidas de prioridad en tramos de vía, paraderos, intersecciones, refugios de paradas, veredas y estudios de casos.
- ***"Bus Infrastructure in Hertfordshire - A Design Guide"*** (Hertfordshire County Council, 2011) incluye medidas de infraestructura específica para el transporte público, infraestructura de acceso peatonal, traffic calming, estacionamientos, etc.
- ***"Keeping buses moving a guide to traffic management to assist buses in urban areas"*** (DfT, 1997). Prioridad a buses a través de la gestión de tráfico, prioridad en tramos de vía e intersecciones y diseño de paraderos.

- ***"Infrastructure Design Guidelines"*** (BC Transit, 2010) El propósito de este documento es la planificación y diseño de la infraestructura de tránsito, incluye dimensiones de diseño y ejemplos prácticos de diseños nuevos y existentes.
- ***"Bus and Rail Transit Preferential Treatments in Mixed Traffic"*** (TRB, 2010). Este documento incluye una revisión de la aplicación de una serie de diferentes tratamientos preferenciales de tránsito en el tráfico mixto y entrega ideas de como decidir qué tratamiento preferencial podría ser el más adecuado en un determinado caso.
- ***"Bus Rapid Transit Practitioner's Guide"*** (TRB, 2007). Este informe evalúa los costos y los impactos de diferentes componentes de Bus Rapid Transit (BRT), de una variedad de medidas de prioridad a buses en tramos de vía, prioridad en intersecciones, extensiones de aceras, y el espaciamiento de paradas limitadas en calles arteriales.
- ***"Designing local roads for ultra low floors buses"*** (Vicroads, 1999) diseño de tramos de vías, rotondas, paraderos e intersecciones para buses de piso bajo.
- ***"Public transport guidelines for land use and development"*** (DOT, 2008) el objetivo principal de esta guía es ayudar en la toma de decisiones en cuanto a la planificación y estrategias de diseño de los servicios de transporte público y el uso del suelo. Los modos de transporte incluidos son los buses, tranvías, trenes y el intercambio modal. Lo importante de este manual es la definición de nuevas rutas o la revisión de las actuales y su infraestructura, incluyendo infraestructura de estas nuevas rutas y de los buses, diseño de paradas, prioridad a buses, diseño de vías vecinales por donde pasan los buses y diseño para minimizar las demoras y cumplir con los indicadores de rendimientos propuestos.
- ***"Buses: bus lanes and priority measures"*** (Butcher, 2010). Aunque este no es un manual sino una nota, su importancia radica en recoger la legislación y la práctica en la introducción y aplicación de las pistas solo bus y otras medidas prioritarias a buses como las "rutas rojas" de Londres.
- ***"Bus lanes/bus rapid transit systems on highways: review of the literature"*** (Miller, 2009). Este documento presenta una revisión de la literatura de las pistas solo bus y sistemas BRT, centrándose en el uso de las vías convencionales y la práctica en los sistemas de BRT en California. El documento destaca la clasificación y funcionamiento de los BRT el tratamiento prioritario a buses; y la planificación y directrices de aplicación de las medidas. Los diferentes tipos de BRT examinados incluyen: flujo mixto de tráfico, pistas solo bus en sentido del tránsito y carriles de buses contra flujo.
- ***"Study of Bus Priority Systems for Less Developed Countries"*** (Craknell et al, 1990), este estudio recopila medidas que se han implementado en países en desarrollo como Brasil en la década de los 80, Colombia, Costa de Marfil y Perú de pistas solo bus, carriles contraflujo y calles solo bus. Se analiza el caso de Sao Paulo y la mala implementación de servicios expresos y locales, además de malos diseños y poco seguros, en este estudio también se hace referencia a la tendencia de las ciudades en planificar tranvías o metro sin considerar las verdaderas ventajas de las prioridades a buses en superficie.
- ***"Bus Rapid Transit Volume 2: Implementation Guidelines"*** (TCRP, 2003). Este informe presenta una guía de planificación e implementación de sistemas de BRT, abarca los principales componentes de BRT, corredores de transporte público, paraderos, controles de tráfico, vehículos, sistemas de transporte inteligentes, las operaciones de buses y financiamiento e implementación de BRT.

Ciertos manuales se han enfocado solo en algunos dispositivos de prioridad, por ejemplo, dentro de los orientados a tramos de vía están:

- "***Shared-Use Bus Priority Lanes on City Streets: Case Studies in Design and Management"*** (MTI, 2012). Este informe examina las políticas y estrategias que rigen el diseño y en especial, las operaciones de las pistas de bus en áreas congestionadas. Se centra en pistas de buses que operan en condiciones de tráfico mixto y a través de los estudios de caso.
- ***"Designing Bus Rapid Transit Running Ways"*** (APTA, 2010). Estas recomendaciones están orientadas para el diseño de corredores de buses (BRT) incluye circulación con derecho de vía en virajes a la derecha, pistas segregadas, pistas rápidas en autopista (HOV) vías exclusivas para buses en calle arteriales. También se incluye una guía sobre la geometría de las instalaciones BRT.
- ***"Bus priority guideline"*** (VicRoads, 2003). Guía de prioridades pistas solo bus, solo bus cortas y setback principalmente.
- ***"Bus Rapid Transit Options for Densely Developed Areas"*** (FHA, 1975). Este documento proporciona directrices para incorporar BRT en zonas densas sin autopistas. Incluye la aplicación de diferentes tipos de prioridades, además de la planificación y diseño de condiciones específicas.
- ***"Operational Analysis of Bus Lanes on Arterials"*** (TRB, 1997) Evalúa el funcionamiento de los buses en distintas prioridades en tramos de vía.
- ***"Traffic calming measures for bus routes"*** (TfL, 2005). Guía que resume distintas medidas de aquietamiento de tráfico principalmente en tramos de vía.

Las prioridades a buses en intersecciones están relacionados principalmente con programación de semáforos en función de los buses, como es el caso de:

- ***"Review of Bus Priority at Traffic Signals around the World"*** (TfL, 2009), incorpora sistema y estrategias de control de semáforos, prioridades a buses en intersecciones semaforizadas, ejemplos en el mundo y casos de estudio en Londres.
- "***The Tail of Seven Queue Jumps"*** (TRB, 2004). Reporte con medidas de prioridad para saltar la cola en intersecciones.

En el caso de prioridad en paraderos están:

- "***Public Transport Infrastructure Manual"*** (TransLink, 2012). Planificación y diseño de paradas de buses e infraestructura de estaciones, infraestructura de apoyo para acceso y señalización.
- ***"Bus Stop Design Guide"*** (Roads Service, 2005). Manual enfocado en infraestructura de paraderos, información a los usuarios y diseño de calzada de paraderos.
- ***"Bus stops guidelines"*** (Trimet, 2010). Diseño, ubicación, operación y proceso de gestión y desarrollo de paradas de buses.
- ***"Bus stops design guidelines"*** (Omnitrans, 2006). El manual incluye política de parada de buses, ubicación de paradas, servicio a pasajeros en paradas y diseño y elementos de paradas.
- ***"Shoulder Bus Stop Guidelines"*** (VicRoads, 2007). Esta guía intenta dar información de ubicación, diseño y operación de paradas.
- ***"Bus stop guideline"*** (VicRoads, 2006). Diseño y operación de paradas de buses y áreas de espera para pasajeros de buses.
- ***"Accessible Bus Stop Design Guidance"*** (TfL, 2006). Diseño de accesibilidad en paraderos para buses de piso bajo.
- ***"Guidelines for the Location and Design of Bus Stops"*** (TCRP, 1996), manual de diseño y ubicación de paradas para diferentes configuraciones.

Finalmente, algunos ejemplos de manuales de demarcación y señalización:

- ***"Traffic Signal Manual"*** (DfT, 2003), del Reino Unido.
- "***Manual de Señalización de Transito"*** (CONASET, 2012), de Chile.
- ***"Manual on Uniform Traffic Control Devices"*** (MUTCD, 2009), de EE.UU.

2.2 NECESIDAD DE MODELACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN

2.2.1 Por qué y cuándo modelar

La modelación tiene por fin estudiar y predecir el comportamiento de un sistema que representa la realidad. Entonces, el objetivo principal de modelar es predecir el comportamiento del sistema ante cambios en las variables que la controlan. Otras razones para modelar un sistema de cierta complejidad son:

- Porque no siempre podemos conocer de antemano las respuestas del sistema.
- Porque la intuición suele fallar y, hasta en sistemas simples, hay una probabilidad no despreciable de comportamientos contra intuitivos (Braess et al, 2005; Cairns et al, 2002).
- Porque, con los recursos computacionales actuales, modelar un sistema es más fácil que el método de ensayo y error para encontrar una solución satisfactoria a un problema real.
- Finalmente, porque la probabilidad de equivocarse al intervenir un sistema es alta y puede ser costosa en términos de recursos y molestias a las personas.

No obstante, hay condiciones que se deben dar para modelar un sistema. La principal que hemos mencionado es cuando el problema es complejo y la solución no es evidente. Otras condicionantes para realizar una modelación de un sistema son:

- Cuando hay datos o estos se pueden obtener (medir) para realizar la modelación; modelar sin datos equivale al método del ensayo y error.
- Cuando no hay experiencia respecto del comportamiento del sistema que pueda sustituir a la modelación en la toma de decisiones; no obstante, la experiencia sólo es aplicable si se repiten las mismas condiciones en que esta se basa.
- Cuando se requiere una respuesta cuantitativa para tomar una decisión respecto del sistema; por ejemplo, si el ahorro de tiempo de viaje compensa una cierta inversión.
- Cuando hay que comparar y evaluar varias alternativas de intervención del sistema que pueden producir resultados equivalentes; en el caso de ahorros de tiempos de viaje, estos se pueden lograr con vehículos más rápidos (un metro) o vías más expeditas (un BRT).

Epstein (2008) explica con mayor profundidad otras dieciséis razones para modelar sistemas complejos: http://trazadigital.blogspot.com/2012/02/porque-modelar-la-respuesta-de-joshua-m.html

2.2.2 Qué modelar

Esperamos haber respondido satisfactoriamente las preguntas de por qué modelar. También esperamos que haya quedado claro que la modelación permite predecir el comportamiento de un sistema. En ingeniería de sistemas este comportamiento se expresa los denominados "outputs" o "salidas" del modelo.

En general, los outputs que interesan de la modelación de un sistema de transporte público son:

- Velocidad comercial o tiempo de viaje.
- Velocidad de recorrido entre detenciones.
- Espaciamiento entre paraderos o estaciones.
- Tiempo de espera del vehículo en paraderos y estaciones.
- Capacidad de paraderos e intersecciones.
- Demoras, número de detenciones y largos de cola en paraderos o intersecciones.
- Densidad de pasajeros en vehículos y andenes.

2.2.3 Cómo modelar

La respuesta a la pregunta cómo modelar o predecir los outputs enumerados en la sección anterior serán dadas en los capítulos siguientes. En esta parte solo haremos referencia a la literatura y herramientas disponibles para realizar la modelación de la operación del transporte público.

a) **Modelos analíticos.** Los modelos analíticos son fórmulas que producen un resultado numérico exacto para tomar decisiones sobre la operación del transporte público. Una lista no exhaustiva de referencia donde se pueden encontrar es: EBTU (1982), Akcelik (1995), Tyler (2002), Vuchic (2005 y 2007), TRB (2000 y 2012), Fernández (2011 y 20014).

b) **Modelos de simulación.** Se ha desarrollado algunos modelos de simulación para modelar desde ejes arteriales con buses hasta el comportamiento de peatones en sistemas de transporte público. Algunos de estos son: CORBUS (Valencia, 2008 y 2012), PASSION (Fernández, 2001 y 2007), IRENE (Gibson et al, 1989), LEGION Studio (2006). También los distintos microsimuladores de tráfico permiten incorporar de alguna manera a los vehículos y pasajeros del transporte público (Burgos, 2004 y 2006).

c) **Modelos físicos.** Los modelos físicos constituyen representaciones del sistema a alguna escala (reducida o real) que sirven para hacer experimentos de operaciones simuladas con sujetos reales en ambientes del transporte público. La instalación más completa para realizar estos estudios es PAMELA (Pedestrian Accessibility Movement Environment LAboratory) de University College London (http://www.ucl.ac.uk/arg/pamela). Otro laboratorio que realiza experiencias similares en menor nivel es el Laboratorio de Dinámica Humana de la Universidad de los Andes (http://get-uandes.wix.com/get-uandes). También, la Delft University of Technology realiza experiencias similares orientadas a la dinámica peatonal, las cuales han incluido estudios relacionados con el transporte público (http://www.citg.tudelft.nl/en/about-faculty/departments/transport-and-planning/traffic-management-and-traffic-flow-theory/dynamisch-verkeers-management/special-projects/pedestrians/data-collection/boarding-and-alighting/). Hasta donde se ha reportado en la literatura científica, son los tres únicos laboratorios destinados a este tipo de experimentos.

2.3 REFERENCIAS

Amsterdam BRT (2005). Amsterdam BRT. Institute for Transportation & Development Policy. Recuperado el 21 de agosto de 2014 en http://www.worldbrt.net/en/cities/amsterdam.aspx

Akcelik, R. (1995). Traffic signals: capacity and timings analysis. Fifth Reprint. Research Report ARR 123. Australian Road Research Board Ltd.

APTA (2010). Designing Bus Rapid Transit Running Ways. APTA-BTS-BRT-RP-003-10. APTA Bus Rapid Transit Working Group. USA.

BCTransit (2010) Infrastructure Design Guidelines. Recuperado el 22 de abril de 2014. http://bctransit.com/servlet/documents/1403640670226

Braess, D., Nagurney, A. and Wakolbinger, T. (2005). On a Paradox of Traffic Planning. Transportation Science 39(4), 446–450.

Brisbane BRT (2008). Brisbane BRT. Institute for Transportation & Development Policy. Recuperado el 21 de agosto de 2014 en http://www.worldbrt.net/en/cities/brisbane.aspx

Burgos, V. (2004). Revisión de la incorporación del transporte público en modelos microscópicos de tráfico. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Santiago.

Burgos, V. (2006). Nuevo enfoque para modelar la operación del transporte público en microsimuladores de tráfico. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería mención Transporte, universidad de Chile, Santiago.

Butcher, L (2010). Buses: bus lanes and priority measures [briefing paper for U.K. MPs on measures in the U.K.] Standard note SN/BT/3 House of Commons Library.

Cairns, S., Atkins, S. and Goodwin, P. (2002). Disappearing traffic? The story so far. Municipal Engineer 151(1), 13-22.

China BRT (2011). Guangzhou BRT. Institute for Transportation & Development Policy. Recuperado el 21 de agosto de 2014 en http://www.worldbrt.net/en/cities/guangzhou.aspx

CONASET (2012). Manual de Señalización de Tránsito. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones de Chile.

Cracknell, J Cornwell, P and Gardner, G (1990). Study of Bus Priority Systems for Less Developed Countries, Report; TRB.

DfT (1997). Keeping buses moving a guide to traffic management to assist buses in urban areas. Local Transport Note 1/97. Recuperado el 22 de abril de 2014. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/329973/ltn-1-97__Keeping-buses-moving.pdf

DfT (2003). Traffic Signal Manual, Chapter 5 Road Marking, Department for Transport, UK Government. TSO. Recuperado el 14 de diciembre de 2014 en https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/223667/traffic-signs-manual-chapter-05.pdf

DOT (2008). Public transport guidelines for land use and development, Department of Transport State of Victoria, Australia.

DTPM (2013). Informe de Gestión 2013. Directorio de Transporte Público Metropolitano, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Santiago de Chile. Recuperado el 24 de abril de 2014 enhttp://www.dtpm.cl/archivos/Memoria%202013-Web_Final2.pdf

EBTU (1982). Tratamento preferencial ao transporte colectivo por onibus. Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos, Brasilia.

EPMTPQ (2011). Plan Estratégico 2011-2015. Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros de Quito. Ecuador. Recuperado el 24 de abril de 2014 en http://www.trolebus.gob.ec/documentos/plan_estrategico.pdf
http://www.trolebus.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=269:el-trolebus-cumple-su-mayoria-de-edad&catid=81&Itemid=482
http://ecovia.nl.gob.mx/about.html
http://www.worldbrt.net/en/cities/quito.aspx

Epstein, J. (2008). Why Model? The Second World Congress on Social Simulation (WCSS2008).July 14-17, 2008, George Mason University, Fairfax, USA.

Estambul BRT (2009). Estambul BRT. Institute for Transportation & Development Policy. Recuperado el 21 de agosto de 2014 en http://www.worldbrt.net/en/cities/istanbul.aspx

Fernández R. (2001). A new approach to bus stop modelling. Traffic Engineering and Control 42(7), 240-246.

Fernández, R. (2007). PASSION 5.0: A microscopic simulator of multiple-berth bus stops. Traffic Engineering and Control 48(7), 324-328.

Fernández, R. (2011). Elementos de la teoría del tráfico vehicular. Fondo Editorial, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Fernández, R. (2014). Temas de ingeniería y gestión de tránsito, RiL Editores, Santiago.

FHA (1975). Bus Rapid Transit Options for Densely Developed Areas: Prepared for U. S. Dept. of Transportation, Office of the Secretary,

Federal Highway Administration, Urban Mass Transportation Administration.

Gibson, J., Baeza, I. and Willumsen, L.G. (1989). Bus-stops, congestion and congested bus-stops. Traffic Engineering and Control 30(6), 291-302.

Hertfordshire County Council (2011). Bus Infrastructure in Hertfordshire - A Design Guide. www.hertsdirect.org/passengertransport.

Hodges, J. (2007). "Keeping London moving" bus priority in London. Transport for London, Actas del European Transport Conference 2007, Noordwijkerhout, Holanda.

Law, A.M. and Taylor, W.D. (1991). Simulation modelling and analysis. 2nded, McGraw-Hill, Singapore.

LEGION Studio (2006).Computer Models for Fire and Smoke, revisado el 7 de agosto de 2013 en: http://www.firemodelsurvey.com/pdf/Legion%20Studio_2007.pdf

Levinson H. S., C. L. Adams, and W. F. Hoey (1975). NCHRP Report155: Bus Use of Highways: Planning and Design Guidelines. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.

Los Angeles BRT (2010). Los Angeles BRT. Institute for Transportation & Development Policy. Recuperado el 21 de agosto de 2014 en http://www.worldbrt.net/en/cities/losangeles.aspx

Metrobus (2014). Plan de Movilidad Sustentable. Gobierno de la ciudad de Buenos Aires. Recuperado el 14 de mayo de 2014 en http://movilidad.buenosaires.gob.ar/metrobus/

Metrobús (2013). Sistema de Corredores de Transporte Público de Pasajeros del D.F.,

Metrobús, Gobierno del Distrito Federal, Ciudad de México. Recuperado el 24 de abril de 2014 en http://www.metrobus.df.gob.mx/docs/prontuario.pdf
http://www.worldbrt.net/en/cities/mexico.aspx

Metropolitano (2013). Instituto Metropolitano ProTransporte de Lima, Lima, Perú. Recuperado el 24 de abril de 2014 en http://www.metropolitano.com.pe/index.php/preguntas-frecuentes
http://www.metropolitano.com.pe/pdf/Boletines/Boletin_informativo_02_13.PDF
http://www.worldbrt.net/en/cities/lima.aspx

Miller, M (2009). Bus lanes/bus rapid transit systems on highways: review of the literature. California PATH working paper UCB-ITS-PWP-2009-1 Institute of Transportation Studies, University of Berkeley, California.

MTI (2012). Shared-Use Bus Priority Lanes on City Streets: Case Studies in Design and Management. MTI Report 11-10 (2012). USA.

MUTCD (2009). Manual on Uniform Traffic Control Devices, Federal Highway Administration (FHWA), Estados Unidos de América. Recuperado el 31 de diciembre de 2014 en http://mutcd.fhwa.dot.gov/index.htm

NATO (1976). Bus priority systems. NATO Committee on the Challenges of Modern Society, Report 45, Transport and Road Research Laboratory, Department of Environment, Crowthorne, UK.

Omnitrans (2006). Bus stop design guidelines. San Bernardino. California .USA.

Roads Service (2005). Bus Stop Design guide. Recuperado el 22 de abril de 2014. http://www.planningni.gov.uk/downloads/busstop-designguide.pdf

Shannon, R. and Johannes, J. D. (1976). Systems simulation: the art and science. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 6(10).723-724.

TCRP (1996). TCRP Report 19: Guidelines for the Location and Design of Bus Stops, Washington DC: Transportation Research Board, National Research Council. Recuperado el 21 de mayo de 2014. http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_rpt_19-a.pdf

TCRP (2003). Bus Rapid Tr*ansit Volume 2: Implementation Guidelines, Transit Cooperative Research Program Report 90, August 2003.*

TPB Metropolitan Washington (2011). Bus Priority Treatment Guidelines. National Capital Region Transportation Planning Board Metropolitan Washington Council of Governments. USA. Recuperado el 31 de marzo de 2014. http://nacto.org/docs/usdg/bus_priority_treatment_guidelines_national_capital_region_trans_planning_board.pdf

Transport State Transit (2012). State Transit Bus Infrastructure guide, NSW Government, Australia. Recuperado el 22 de abril de 2014. http://www.statetransit.info/publications/Bus%20Infrastructure%20Guidelines%20-Issue%202.pdf

TransLink Transit Authority (2012). Public Transport Infrastructure Manual. TransLink Transit Authority, Queensland, Australia. Recuperado el 22 de abril de 2014. http://translink.com.au/sites/default/files/assets/resources/about-translink/what-we-do/infrastructure-projects/public-transport-infrastructure-manual/2012-05-public-transport-infrastructure-manual.pdf

TfL (2005). Traffic calming measures for bus routes. Bus Priority Team technical advice note BP2/05. UK. Recuperado el 8 de mayo de 2014. http://www.tfl.gov.uk/cdn/static/cms/documents/trafficcalmingmeasuresleaflet-rev-final.pdf

TfL (2006). Accessible Bus Stop Design Guidance. Bus Priority Team technical advice note BP1/06. UK. Recuperado el 8 de mayo de 2014. http://www.tfl.gov.uk/cdn/static/cms/documents/accessibile-bus-stop-design-guidance.pdf

TfL (2009). Review of Bus Priority at Traffic Signals around the World. UITP Working Group on the Interaction of buses and signals at road crossings. Transport for London, UK. Recuperado el 1 de Diciembre de 2014 en https://www.tfl.gov.uk/cdn/static/cms/documents/interaction-of-buses-and-signals-at-road-crossings.pdf

TfL (2014). London Buses. Transport for London. Recuperado el 14 de diciembre de 2014 en http://www.tfl.gov.uk/modes/buses/

Transmetro (2014). Transmetro. Municipalidad de Guatemala. Recuperado el 24 de abril de 2014 en http://transmetro.muniguate.com/index.php/i

Transmilenio (2013). Informe de Gestión 2013. Transmilenio S.A. Sistema Integrado de Transporte Público. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Colombia. Recuperado el 24 de abril de 2014 en http://www.transmilenio.com.co/sites/default/files/informe_de_gestion_tmsa_2013_0.pdf

http://www.worldbrt.net/en/cities/bogota.aspx

TRB (1997). TCRP Report 26: Operational Analysis of Bus Lanes on Arterials.USA

TRB (2000) Highway Capacity Manual 2000 – HCM 2000. Transportation Research Board, Special Report 209, Washington D.C.

TRB (2004). The Tail of Seven Queue Jumps, Critical Factors Affecting Transit Signal Priority. Transportation Research Board, Washington D.C.

TRB (2007). TCRP Report 118: Bus Rapid Transit Practitioner's Guide. USA

TRB (2008). The Tale of Seven Queue Jumps. ITE 2008 Annual Meeting and Exhibit. Compendium of Technical Papers.

TRB (2010). TCRP SYNTHESIS 83: Bus and Rail Transit preferential Treatments in Mixed Traffic. USA.

TRB (2012). Transit capacity and quality of service manual, 2nd ed, Transportation Research Board, Washington D.C.

TRIMET (2010). Bus stops Guidelines. Bus Stop Development Projects. Portland. Oregon. USA

TRL (1993). Design guidelines for busway transit. Overseas Road Note 12, Transport Research Laboratory, Crowthorne.

Tyler, N.A. (2002). Accessibility and the bus system: from concept to practice. Thomas Telford, London.

URBS (2013). Sistema Integrado de Transporte (RIT). Urbanização de Curitiba S/A. Curitiba, Brasil. Recuperado el 24 de abril de 2014 en http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/transporte/rede-integrada-de-transporte
http://www.worldbrt.net/en/cities/curitiba.aspx

Valencia, A. (2008). Modelo para planificación, operación y diseño físico de corredores de transporte público de superficie. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería mención Transporte, universidad de Chile, Santiago.

Valencia, A. and Fernandez, R. (2012). A method to calculate commercial speed on bus corridors. Traffic Engineering and Control 53(6), 215-221.

VicRoads (1999). Designing local roads for ultra low floors buses. Department of Infrastructure, State of Victoria, Australia. Recuperado el 22 de abril de 2014. https://www.vicroads.vic.gov.au/business-and-industry/design-and-management/design-standards-and-manuals/guidelines-for-road-design/designing-roads-for-ultra-low-floor-buses

VicRoads (2003). Bus priority guideline. VicRoads Publication 01325. Department of Infrastructure, State of Victoria, Australia.

VicRoads (2006). Bus stop guideline. Department of Infrastructure, State of Victoria, Australia

VicRoads (2007). Shoulder Bus Stop Guidelines. Department of Infrastructure, State of Victoria. Australia.

Vuchic, V.R. (2005). Urban transit. Operations, planning and economics. Wiley & Sons, New Jersey.

Vuchic, V.R. (2007). Urban Transit.Systems and Technology. Wiley& Sons, New Jersey.

Capítulo 3
PRIORIDAD A BUSES EN TRAMOS DE VÍA

3.1 PISTAS SOLO BUS

Son pistas destinadas para la circulación de buses, separadas del resto del tráfico por señalización y demarcación. La demarcación puede ser desde pintura hasta elementos físicos discontinuos como tachas, tachones o separadores. Estas pistas pueden ser permanentes (todo el día) o transitorias (ciertos periodos), y ser usada por otros tipos de vehículos (taxis ocupados, bicicletas, buses interurbanos).

Para justificar la instalación de pistas solo bus existen los criterios empíricos y teóricos. Dentro de los empíricos los más conocidos son el criterio francés y el del Reino Unido, el criterio francés es uno de los primeros que justifica pista solo bus y se presenta en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: *Flujo mínimo que justifica pista solo bus. Fuente: Frebaut (1970)*

Estado del tráfico	Congestionado			No congestionado	
Tasa de ocupación de buses [pax/bus]	50	70	90	30	50
N° pistas calzada	Flujo de buses [bus/h]				
2	60	45	35	45	30
3	45	30	25	40	25
4	40	30	25	35	25
5	40	30	25	30	25

Como se ve, en una calzada congestionada de 2 pistas por sentido bastará un flujo de entre 35 a 60 buses por hora para reservar una de las pistas a éstos. En una típica calzada de una avenida de 3 pistas por sentido, en tanto, los flujos mínimos se reducen de 25 a 45 bus/h para reservar una pista exclusiva al transporte público.

A diferencia del criterio francés, el del Reino Unido (Oldfield et al, 1977) considera accesos de 2 y 3 pistas llegando a una intersección. En ellos se determina cuál es el flujo crítico en el cual se produce cero beneficios en términos de tiempo y ahorro de costos de operación; es decir, el flujo de buses en la pista sólo bus es tal que los beneficios de los usuarios de buses balancea las pérdidas del resto del tráfico. Para ello se consideró una tasa de ocupación fija de 60 [pax/bus]. En las siguientes tablas se muestran los flujos críticos de una calle de dos y tres pistas llegando a una intersección, respectivamente. En donde μ es la razón de verde efectivo para el acceso, χ su grado de saturación y el setback es la interrupción de la pista antes de la línea de detención para permitir el viraje a la derecha de los autos. Por desvío fácil o difícil debe entenderse qué tan complicado es prohibir el viraje a la derecha y encauzarlo por otra calle.

De las tablas puede observarse que, si no se provee un setback, los flujos que justifican una pista sólo bus son considerablemente altos, incluso algunos de ellos superan la capacidad de una pista solo bus. Para estos casos puede considerarse en el diseño pistas solo bus dobles o calles solo bus. Por el contrario, si se provee un setback de largo apropiado , para un acceso de un grado de saturación de 0,9 y razón de verde efectivo de 0,5, los flujos que justifican la pista solo bus varían entre 60 y 70 bus por hora.

Otro ejemplo que muestra un criterio teórico para decidir cuántas pistas dejar para el uso exclusivo de buses es el entregado por Hounsell y McDonald (1988) en el que proponen la siguiente ecuación de equilibrio.

$$T_a q_a = T_b q_b + T_{np} q_{np} \qquad (3.1)$$

Donde T_a, T_b y T_{np} son, respectivamente, los tiempos promedio de viaje de todos los vehículos, de los buses y de los vehículos no prioritarios y qa, qb y qnp, son respectivamente los flujos de la misma clase de vehículos. De la ecuación anterior se puede saber el flujo de buses que mantiene el equilibrio (q_b) y que, por lo tanto, justifica una pista sólo bus.

Por otra parte, Jepson y Ferreira (2000) basado en Austroads (1991) proponen el número mínimo de usuarios de buses que justifica una pista sólo bus, basados en las demoras de estos en un tramo de vía, mediante la siguiente expresión.

$$\text{Min } OCC_{bus} = \frac{d_{car1} V_{car} OCC_{car} - d_{car2} V_{car} OCC_{car}}{V_{bus} (d_{bus2} - d_{bus1})} \qquad (3.2)$$

Donde Min OCCbus es el la tasa de ocupación de los buses para justificar una pista sólo bus; d_{car1} y d_{car2} son las demoras medias de vehículos con y sin pista sólo bus, respectivamente; d_{bus1} y d_{bus2} son demoras promedio de buses con y sin pista sólo bus, respectivamente; Vcar y Vbus son los flujos de autos y buses, OCC_{car} es la tasa de ocupación media de los autos y de otros vehículos con exclusión de los buses. La fórmula indica que para justificar la aplicación de una pista sólo bus, el ahorro de tiempo de los pasajeros de buses después de la introducción de una pista sólo bus debe, al menos, compensar las pérdidas de tiempo de los ocupantes de automóviles.

Un criterio más general para determinar cuándo se debe uti-

Tabla 3.2: *Flujo mínimo de buses que justifica pista solo bus en calle de 2 pistas [bus/h]. Fuente: Oldfield et al (1977)*

Variable	Con *setback* óptimo			Sin *setback*					
				Desvío fácil			Desvío difícil		
χ \ μ	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5
0,7	65	65	65	90	105	115	110	130	150
0,8	50	60	70	95	120	135	130	165	190
0,9	25	50	70	85	120	150	130	180	220
0,95	10	20	40	65	100	130	155	165	210
0,97	5	5	15	55	85	110	105	150	195

Tabla 3.3: *Flujo mínimo de buses que justifica pista solo bus en calle de 3 pistas [bus/h]. Fuente: Oldfield et al (1977)*

Variable	Con *setback* óptimo			Sin *setback*					
				Desvío fácil			Desvío difícil		
χ \ μ	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5
0,7	55	55	55	90	95	105	90	95	105
0,8	45	50	60	110	125	145	125	150	175
0,9	30	45	60	105	145	175	155	200	240
0,95	15	30	45	90	130	170	140	195	245
0,97	5	15	25	75	115	150	125	185	235

lizar una pista solo bus, es aportado por Vuchic (2007). Este se basa en el principio que se justifica una pista sólo bus si el flujo de pasajeros por ella es mayor que el flujo de pasajeros en el resto de la calzada, lo que se puede resumir como:

$$q_b > q_a \left(\frac{n}{N-n}\right)\left(\frac{TOC_a}{TOC_b}\right) \qquad (3.3)$$

Donde q_b es el flujo de buses en un sentido [bus/h]; q_a es el flujo autos en el mismo sentido [veh/h]; TOC_b es la tasa de ocupación de los buses en el período punta [pax/bus]; TOC_a es la tasa de ocupación autos en el mismo período [pax/veh]; N es el número de pistas de la calzada; y n es el número de pistas sólo bus.

Ejemplo 3.1: Se quiere reservar una pista sólo bus en una calzada de 3 pistas por sentido, determinar el número mínimo de buses que la justifican si el flujo de autos es de 2000 vehículos por hora, con una tasa de ocupación de 1,5 pasajeros por vehículos y la tasa de ocupación de los buses es de 80 pasajeros por bus.

Los datos son directos n = 1, qa = 2000 [veh/h], TOCb= 80 [pax/bus] y TOCa = 1,5 [pax/veh]. Entonces:

$$q_b > \left(\frac{1}{3-1}\right)\left(\frac{1,5}{80}\right) 2000 = 19 \text{ [bus/h]}$$

Es decir, bastará un flujo de 20 bus/h para justificar la pista sólo bus.

Siguiendo con el mismo enfoque Vuchic (2007) entrega la siguiente expresión para calcular el flujo de buses mínimo por hora que justifica una pista sólo bus (qb).

$$q_b \geq \frac{q_A}{N-1} X \qquad (3.4)$$

Donde q_A es el flujo de automóviles; N es el número total de pistas por sentido, y X es la razón entre la tasa de ocupación promedio de los buses sobre la tasa de ocupación promedio de los automóviles.

Otros criterios de pista solo bus han sido propuestos en función de los tipos de pistas solo bus y volúmenes de pasajeros transportados. El TCRP (2003) propone los siguientes valores para justificar los distintos tipos de pista solo bus.

Por otro lado la investigación realizada por Booz and Hamilton (2006) entrega otras recomendaciones que se describen en la Tabla 3.5 postuladas por Levinson (1975). En donde se determina que, desde el punto de vista de la capacidad de pasajeros, 20 a 30 [bus/h] con capacidad de 800 a 1.200 [pax/h] puede transportar más pasajeros que la cantidad que se puede transportar en automóviles en una vía equivalente (600 a 700 [pax/h]). Con ello estableció los requisitos para las pistas solo bus mostradas a continuación.

Respecto al diseño, para asegurar la buena operación de las pistas solo bus se debe tener en cuenta un diseño adecuado de acuerdo a los distintos tipos de ésta. Según el Manual de Recomendaciones de Vialidad Urbana (MINVU, 2009) el ancho mínimo de una pista solo bus en recta debe ser el siguiente:

Design Guidelines for busway transit (TRL, 1993), señala que el ancho de una pista solo bus depende de la velocidad, el ancho de los vehículos y las características operativas, por lo tanto, éste valor no puede ser menor a 3 m de ancho. La siguiente tabla recomienda los anchos de pistas para una vía exclusiva de más de 60 bus/h.

Tabla 3.4: *Valores que justifican los diferentes tipos de pista solo bus. Fuente: TCRP (2003)*

Tipo de pista solo bus	Flujo de buses mínimo en hora punta por sentido [bus/h]	Flujo de pasajeros en hora punta por sentido [pax/h]
Pistas laterales, flujo normal	30 – 40	1.200 - 1.600
Pistas laterales en zonas céntricas	50 – 80	2.000 - 3.200
Pista a contraflujo corta	20 – 30	800 - 1.200
Pista a contraflujo normal	40 – 60	1.600 - 2.400
Corredor segregado	60 – 90	2.400 - 3.600
Calles solo bus	80 -100	3.200 - 4.000

Tabla 3.5: *Valores que justifican los tipos de prioridad a buses. Fuente: Booz and Hamilton (2006)*

Tipo de pista solo bus	Flujo en hora punta por sentido	
	Buses [bus/h]	Pasajeros [pax/h]
Pistas laterales en zonas céntricas	20 - 30	800 - 1.200
Pistas solo bus en zonas céntricas	30 - 40	1.200 - 1.600
Pista a contraflujo corta	20 - 30	800 - 1.200
Pista a contraflujo normal	40 - 60	1.000 - 2.400
Corredor segregado	60 - 90	2.400 - 3.600
Calles solo bus	20 -30	800 - 1.200

Tabla 3.6: *Mínimos recomendables y absolutos para pistas solo bus en recta. Fuente: MINVU (2009)*

Velocidad [km/h]	1 Pista solo bus		2 Pistas solo bus	
	Mínimo recomendado [m]	Mínimo absoluto [m]	Mínimo recomendado [m]	Mínimo absoluto [m]
30	3,50	3,25	6,75	6,25
40	3,50	3,25	6,75	6,25
50	3,75	3,50	7,00	6,50
60	3,75	3,50	7,00	6,50
70	4,00	3,75	7,25	6,75
80	4,00	3,75	7,25	7,00

Tabla 3.7: *Anchos recomendables para vías exclusivas de buses [m]. Fuente: TRL (1993)*

Velocidad de diseño [km/h]	Pista solo bus	Separador central entre pistas	Separador exterior entre pista de bus y resto del trafico	Calle solo bus
100	4,00	0,4	0,75	10,30
80	3,75	0,4	0,50	9,30
60	3,25	0,4	0,30	7,90
40	3,00	0,4	0,20	7,20

Del mismo modo, Las Tabla 3.8 y Tabla 3.9 muestran recomendaciones de alineación vertical y horizontal para mantener la regularidad de funcionamiento, el mínimo desgaste de los vehículos y la seguridad y comodidad del viaje.

Tabla 3.8: Máxima inclinación longitudinal para pistas solo bus. Fuente: TRL (1993)

Velocidad de diseño [km/h]	Pista normal [%]	Rampas o condiciones difíciles [%]
100	4,0	4,0
80	4,0	6,0
60	4,5	6,5
40	5,5	10,0

Tabla 3.9: Mínimo radio para pistas solo bus. Fuente: TRL (1993)

Velocidad de diseño [km/h]	Aceleración lateral [m/s2]	Pendiente		
		0%	5%	10%
		Radio (m)		
100	0,8	964	697	434
	1,0	771	517	390
80	0,8	617	388	278
	1,0	493	331	250
60	0,8	347	215	156
	1,0	278	186	140
40	0,8	154	96	69
	1,0	123	83	62

El manual de señalización (CONASET, 2012) recomienda que una pista solo bus debe:

- Estar delimitada por una línea continua. Su ancho mínimo es de 30 cm y debe ser interrumpida en los cruces con otras vías.
- Línea segmentada curva para indicar reinicio de la vía exclusiva después de un cruce donde se incorporan vehículos a la vía en que se encuentra la pista exclusiva. Su ancho mínimo debe ser 30 cm, con un patrón de 2 m y una relación demarcación brecha 1 a 1. Debe tener el mismo radio de giro de un vehículo que vira desde la calle lateral hacia la segunda pista de la vía con pista solo bus.
- Línea segmentada inclinada que indica inicio de la pista exclusiva. Ésta une la línea de borde descrita en el punto anterior y la solera u otro extremo lateral de la vía, con una inclinación máxima de 1:10. Su ancho mínimo debe ser 30 cm, con un patrón de 2 m y una relación demarcación brecha 1 a 1.
- Leyenda "SOLO BUSES" en el inicio de cada pista y después de cada cruce con otra vía. Si dos cruces consecutivos se encuentran a más de 300 m esta leyenda debe repetirse cada 150 m.
- Flechas de advertencia de la proximidad de una pista exclusiva para buses. Éstas se deben ubicar a 15 y a 30 m del inicio de dicha vía.
- Líneas segmentadas para indicar zonas mixtas, donde otros tipos de vehículos pueden ingresar a la vía exclusiva con el fin de virar en el cruce más cercano. Su ancho mínimo debe ser 30 cm, con un patrón de 2 m y una relación demarcación brecha 1 a 1.
- Flechas de incorporación a zonas mixtas.
- Línea segmentada para separar las pistas dentro de una vía exclusiva, cuando sea el caso. Su ancho mínimo debe ser 20 cm, con un patrón de 5 u 8 m y una relación demarcación brecha de 2 a 3 ó 3 a 5. En todo caso el ancho de las pistas debe ser de 3,5 m máximo.
- Cuando se utilice demarcación elevada para reforzar las líneas continuas o segmentadas, ella debe ser amarilla y ubicarse cada 5 u 8 m en el caso de las primeras y en la mitad de los tramos sin demarcar tratándose de las segmentadas.

En la Figura 3.1 se puede observar la demarcación de pista solo bus.

Respecto a la ubicación, las pistas solo bus pueden ser dispuestas en cualquier pista de una calzada. Cada disposición posee sus propias ventajas y desventajas, además de sus propias características de diseño. A continuación se muestra cada disposición junto con sus características de diseño básicas y posteriormente, en la Tabla 3.10, se explica en detalle las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

- **Pista lateral o Pista que da a la acera:** estas pistas son aquellas que están ubicadas junto a la acera, por lo que no permiten estacionamientos en la calle. Según NSW Goverment (2012) el ancho mínimo que permite a los buses utilizar la pista sin pasar por los sumideros es de 3.5 metros. En la Figura 3.2 se muestra la configuración tipo de las pistas solo bus lateral.
- **Pista intermedia:** las pistas intermedias circulan en la pista ubicada junto a los estacionamientos en la acera. Por lo que permite el estacionamiento en ésta. Según Transportation Planning Board (2011) estas pistas deben tener un ancho mínimo de 3.4 metros y se deben usar demarcaciones especiales para diferenciarlas del tráfico común. En la Figura 3.3 se muestra la configuración tipo de las pistas solo bus intermedias.
- **Pista central:** estas pistas están ubicadas a la izquier-

Figura 3.1: Demarcación de pista solo bus (CONASET, 2012)

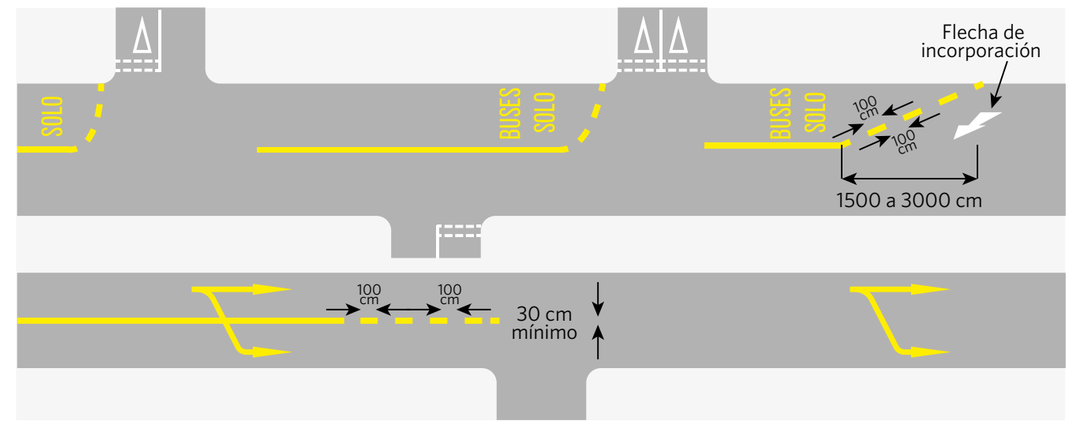


Figura 3.2: Configuración típica de pistas solo bus lateral (TPB, 2011) - cotas en pies

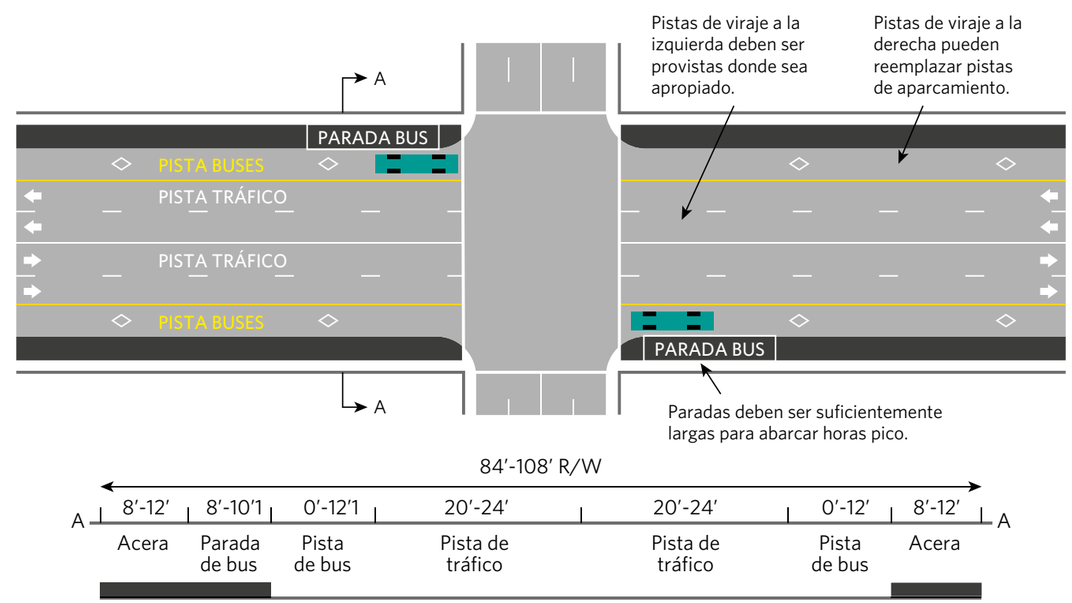


Figura 3.3: Configuración típica de pistas solo bus intermedia (TPB, 2011) - cotas en pies

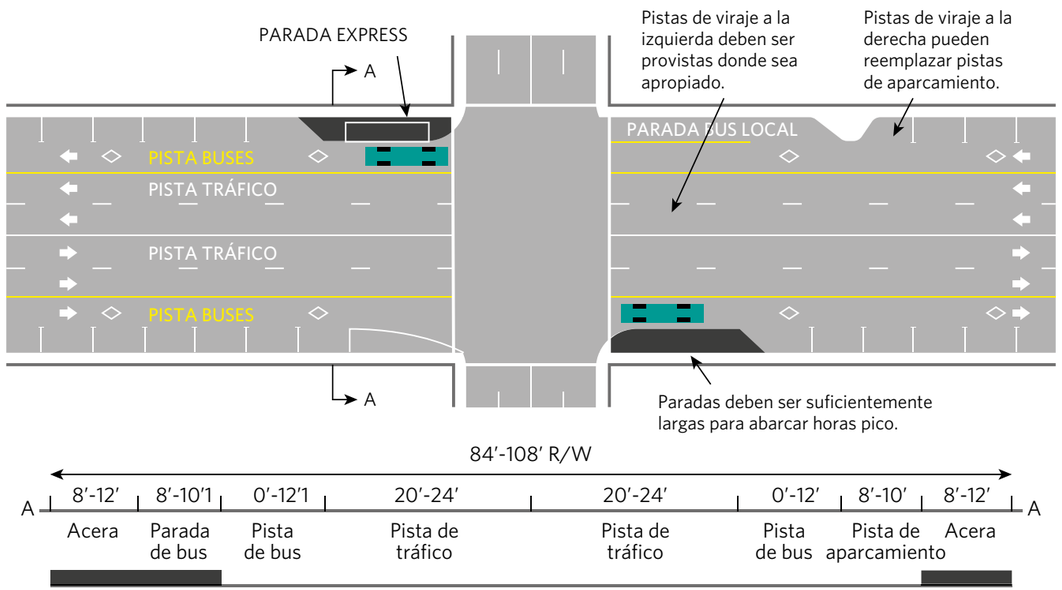
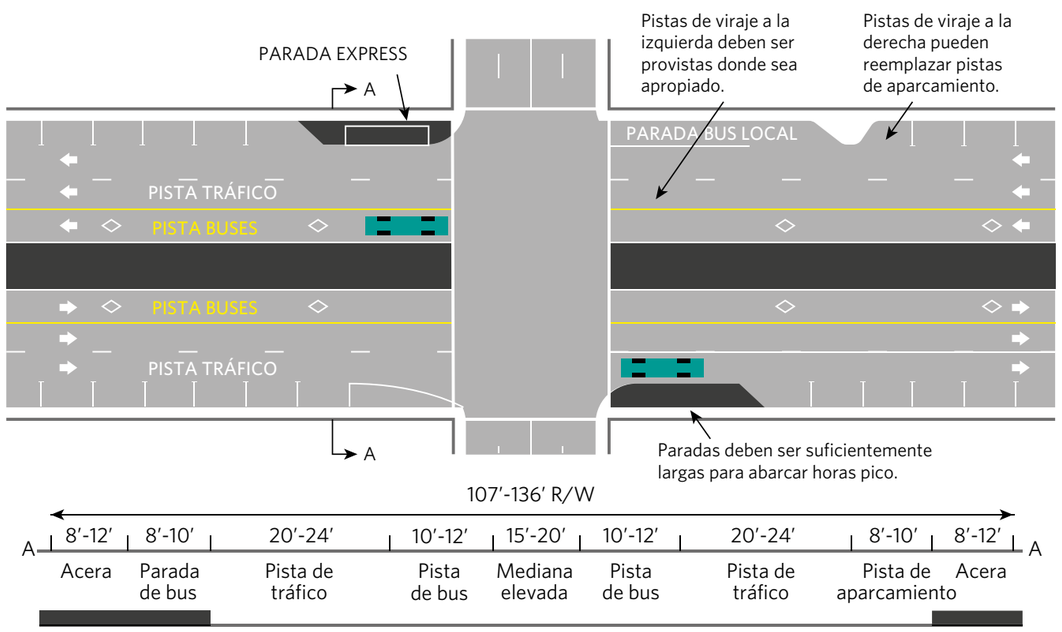


Figura 3.4: Configuración típica de pistas solo bus central (TPB, 2011) - cotas en pies



da de la calzada, junto a la mediana. Están segregadas del tráfico solo por demarcaciones, es decir, no tienen segregación física con el resto del tráfico. Al construir este tipo de pistas se debe considerar la ubicación de los paraderos y el tamaño de los buses. Debe considerar puertas a la izquierda o en ambos lados del bus (la mayoría es construido con puertas a la derecha). Otra alternativa es utilizar pistas a contra-flujo. la Figura 3.4 muestra la configuración tipo de las pistas solo bus centrales.

» **Pista en mediana o corredor segregado:** son similares a las pistas centrales pero están ubicadas en la mediana de la vía, separadas físicamente del resto del tráfico. Pueden ser con el flujo o a contraflujo sin necesidad de cambiar la infraestructura. Se debe tener en cuenta la ubicación de las puertas en el diseño de los buses. La Figura 3.5 muestra este tipo de pista solo bus.

3.2 PISTA SOLO BUS CON SETBACK

Para que una pista sólo bus funcione apropiadamente, se debe resolver el problema de los virajes a la derecha del resto del tráfico en la intersección aguas abajo. Para esto, la pista sólo bus se debe interrumpir unos metros antes de la línea de detención. A esta interrupción se le llama setback.

Para calcularlo, el criterio es que los vehículos que se almacenan en el setback puedan ser descargados durante el verde, para que no obstaculicen a los buses. Este principio se puede cuantificar como sigue.

$$L_s = \frac{L_v \, S_{vd} \, v_e}{3600n} \qquad (3.5)$$

Donde Ls es la longitud óptima del setback [m]; L_v es largo promedio que ocupa un vehículo en cola [m]; S_{vd} es el flujo de saturación del viraje a la derecha [veh/h]; n es el número

Figura 3.5: Configuración típica de pistas solo bus en mediana (TPB, 2011) - cotas en pies

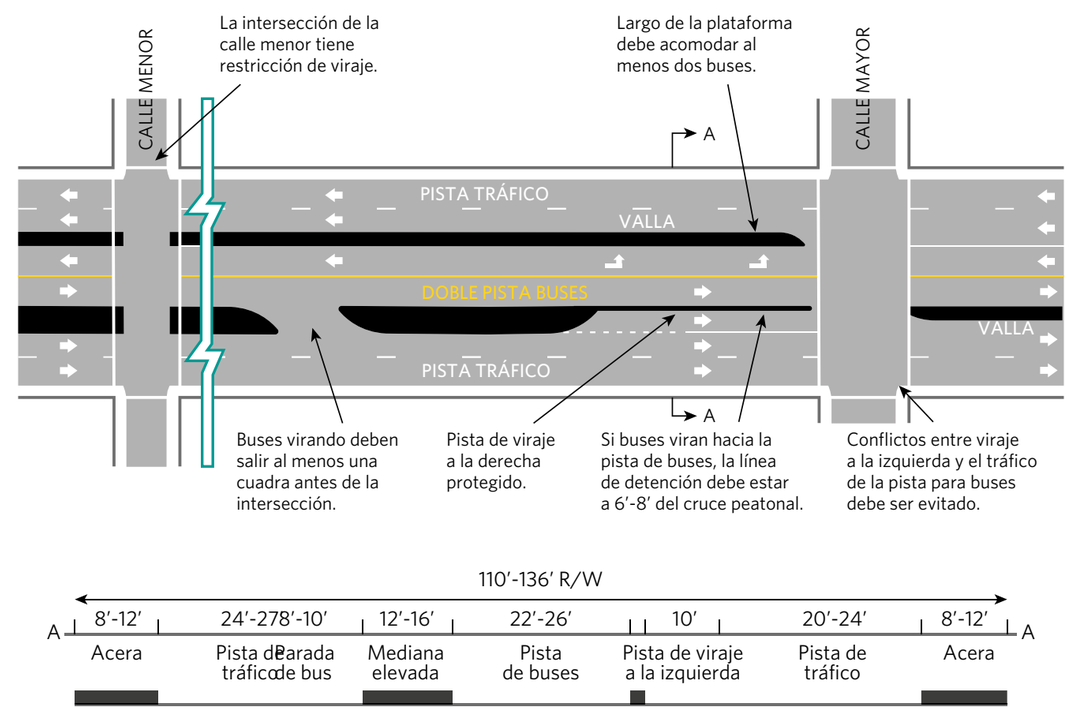


Tabla 3.10: Ventajas y desventajas de diferentes ubicaciones para la pista solo bus

Ubicación	Ventajas	Desventajas	Aplicación
Lateral	• Menor costo de instalación. • Típicamente usa menos espacio de la calle. • Menores costos asociados a las paradas de buses • Acceso a peatonas más fácil y seguro.	• Conflictos con los vehículos de reparto en la calle y otras necesidades de la acera. • Conflictos con los virajes a la derecha. • Conflictos con ciclovias. • Menores ahorros de tiempo de viaje. • Requiere la eliminación de estacionamientos en la calle. • Puede ser difícil de fiscalizar.	Pista de uso restringido, puede permitir vehículos con alta ocupación o HOV (High Occupancy Vehicles). A menudo se restringe solo en las horas punta.
Intermedia	• Permite el estacionamiento en la calle. • Elimina conflictos con vehículos estacionados ilegalmente. • Permite a los buses evitar demoras por vehículos que viran.	• Puede requerir infraestructura especial para el acceso de pasajeros (v.g., extensión de acera hacia calzada). • Necesita fiscalización estricta.	Pistas de uso restringido y HOV, vehículos que giran, y periodos punta permitiendo al mismo tiempo estacionar en la calle.
Central	• Opera lejos de la solera y de la acera.	• Conflictos con virajes a la izquierda. • Puede requerir medianas o islas con amplio espacio para acomodar a los pasajeros en espera. • Puede requerir buses con puertas en el lado del conductor para el embarque de pasajeros.	Pistas de uso restringido; puede permitir HOV, debe acomodar vehículos girando, a menudo restringida solo para horas punta.
En Mediana	• Separa claramente las paradas de bus de la actividad de la acera. • Provee una fuerte sensación de identidad a la prioridad de buses. • Permite operación de buses a contraflujo. • Mejor opción para la conversión futura a tranvías/Metro ligero (LRT)	• Dificulta el acceso peatonal. • Requiere más espacio y mayor ancho de la calle. • Consideraciones de seguridad incluyen vehículos infractores. • Conflictos con virajes a la izquierda. • Restringe la flexibilidad de la operación de los buses para el uso de pistas del tráfico general y la entrada y salida de la pista solo bus.	Pistas solo bus con separación física funcionando 24/7. Permite incorporar sistemas BRT (Bus Rapid Transit)

de pistas sólo bus; y ve es el tiempo de verde efectivo del semáforo aguas abajo [s].

Ejemplo 3.2: Si el largo promedio de los vehículos almacenados en el setback es de 6 m, el flujo de saturación para el viraje a la derecha de los autos es de 1200 veh/h y el verde efectivo de 30 segundos, el setback óptimo resulta de 60 metros. Esto significa una interrupción de una media cuadra antes de la línea de detención.

Oldfield et al (1977) justifica el uso de setback para que puedan ocurrir las siguientes situaciones.

» Durante el período de rojo los vehículos no prioritarios se filtran en el setback si este tiene la cola más corta, hasta que el espacio del setback se llene o todas las colas sean de la misma longitud, lo que ocurra primero.

» Cuando todas las colas son de igual longitud, los vehículos no prioritarios se unen a la cola más corta a medida que van llegando, hasta que el setback se llena; una vez que esto ocurre, los vehículos no prioritarios que llegan permanecen en las pistas no prioritarias.

» Cuando el período de verde comienza, los vehículos no prioritarios sólo ingresan al setback si las colas en las pistas no prioritarias son más largas que éste, permitiendo que las colas no sean tan largas.

Como aproximación, se puede considerar que el setback debe tener unos 2 metros de largo por segundo de verde del semáforo aguas abajo (IHT, 1997). La Figura 3.6 muestra un correcto layout para una pista sólo bus con setback. Notar que el paradero se ubica antes del inicio del setback.

Normalmente esta regla da buenos resultados para tiempos de ciclo de 60 a 80 [s]. No obstante, en intersecciones con semáforos de más de dos fases y/o tiempos de ciclo altos a máximos (100 a 120 [s]), como los usados en Santiago de Chile, su aplicación produce un setback exageradamente largo, cercano a los 100 m. Esto causa problemas cuando los paraderos se encuentran antes de la intersección, ya que deben desplazarse a la cuadra aguas arriba para que no bloqueen los setbacks, produciendo incertidumbre sobre el impacto en la accesibilidad al transporte público (Fernández y Valenzuela, 2009).

Por ello, Fernández y Valenzuela (2009) proponen la siguiente expresión para calcular la longitud óptima del setback.

$$L_o = q_{vd}\, C\, (1 - u)\, l \qquad (3.6)$$

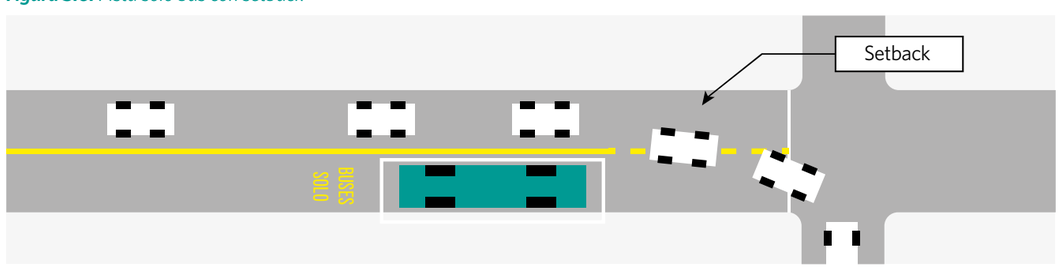
En donde, Lo representa la longitud óptima del setback en [m]; qvd es el flujo de vehículos que vira a la derecha en el setback; C es el ciclo del semáforo; u es la razón de verde efectivo del acceso de la pista sólo bus y l es el largo promedio que ocupa un vehículo en cola [m]. La experiencia en la aplicación de la ecuación (3.6) indica que se obtienen resultados de L0 razonables para valores de l =10 m.

Otras guías para el diseño de setback entregadas por PTA (2004) y citadas en Austroads (2012) establecen que, en el Reino Unido, el setback óptimo crece cuando el grado de saturación incrementa y es proporcional al tiempo de verde. Este debe aumentar aproximadamente en 1 [m] por segundo de verde cuando el grado de saturación es de 70% en la intersección y en 2,5 [m] cuando el grado de saturación es de 95%. Con ello el setback típico tendrá unos 50 [m] a 100 [m] de largo. Además, estipula que no se justifica un setback en una intersección semaforizada cuando el flujo de buses es menor a 120 [bus/h].

3.3 PISTA SOLO BUS DOBLE

Las pistas solo bus doble se pueden construir en donde el ancho de la vía lo permita. Estas permiten el adelantamiento de buses en circulación y de buses detenidos en paraderos.

Figura 3.6: Pista solo bus con setback



Además se utilizan en casos donde una pista solo bus no sea suficiente para satisfacer la demanda. Su diseño debe regirse por lo descrito en Sección 3.1.

Para las pistas solo bus doble se puede utilizar las recomendaciones entregadas por Miller (2009), el que establece que estas pistas se deben considerar cuando el flujo de buses máximo supera los 90 a 100 [bus/h] en hora punta, siempre y cuando el ancho de la calzada y los patrones de circulación lo permitan.

A su vez TRL (1993) indica que las pistas solo bus dobles pueden ser proporcionadas cuando se produce congestión de buses en los paraderos para permitirles el adelantamiento entre sí o en los casos que necesiten adelantar en sectores con alta pendiente. Por último, como ya se mencionó anteriormente, se puede considerar estas pistas en los casos en que los flujos que justifican una pista solo bus entregados por las Tabla 3.2 y Tabla 3.3 superen la capacidad máxima de una pista solo bus.

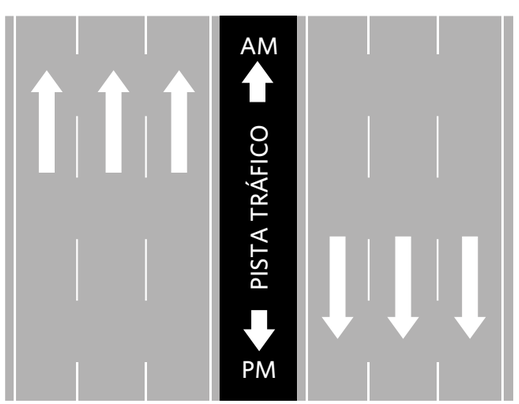
Por otro lado TRB (2000) recomienda pistas solo bus doble cuando el flujo de buses sea superior a 180 bus/h.

3.4 PISTAS SOLO BUS EN HORA PUNTA E INTERMITENTES

Corresponden a pistas solo bus que se activan cuando se está acercando un bus a su ubicación. Están demarcadas por luces que indican al resto del tráfico cuándo tienen prioridades los buses lo que permite que el bus tenga ventaja al avanzar por el tráfico. Su diseño debe regirse por lo descrito en Sección 3.1.

También en este tipo de configuración se puede considerar aquellas pistas reversibles según el sentido del tráfico en la hora punta, tal como se muestra en la Figura 3.7.

Figura 3.7: *Configuración de pista solo bus reversible en pista central*



3.5 PISTAS SOLO BUS A CONTRA FLUJO

Corresponden a pistas solo bus que operan en un solo sentido en contra al flujo normal de vehículos. El TRB (2000) recomienda una pista a contra flujo para tramos cortos con flujos de 20 a 30 bus/h en horas punta y de 40 a 60 bus/h para tramos más extensos. En este último caso es preferible que existan al menos dos pistas para el resto del tráfico e intersecciones semaforizadas distanciadas más de 150 m.

Respecto al diseño, se utilizan principalmente en calles de doble sentido. El ancho mínimo de las pistas debe ser de 3,6 m. Los virajes a la izquierda en el sentido opuesto de la marcha deben ser prohibidos a menos que exista pista de viraje y fases del semáforo especiales para esta situación. La gran ventaja de esta disposición es evitar que el resto del flujo ingrese a la pista de buses.

En este tipo de pistas es necesario prever seguridad a los peatones y reducir la probabilidad de accidentes. Los buses deben operar con sus luces encendidas en todo momento para ser vistos por los peatones. También se requiere implementar en estas vías medidas de:

- Señalización y demarcación de advertencia a los peatones "mirar a ambos lados" en los cruces designados.
- Dispositivos especiales de alerta visual o audibles instalados en las pistas a contra flujo.

En la Figura 3.8 se muestra la configuración de este tipo de pista.

3.6 CALLES SOLO BUS

Corresponden a calles de uso exclusivo para buses. Se utilizan cuando el número de pistas solo bus es igual al ancho de la calle. Generalmente esto ocurre cuando grandes volúmenes de buses (flujos de buses superiores a 60 [bus/h]) pasan por una calle angosta. También son utilizadas para permitir a los buses tomar rutas más directas que el resto del tráfico. Esta configuración se da cuando existe un flujo de distintos tipos de buses y las distancias involucradas son de más de 800 metros.

Respecto al diseño, las paradas de buses deben ser divididas para buses tipo BRT y buses locales. Las calles solo bus deben tener un ancho de 6,7 a 7 metros cuando circulan menos de 50 bus/h en hora punta. En el caso de más de 60 bus/h, es necesario generar una pista para buses que no se detengan en las paradas. En la Figura 3.9 se muestra una configuración típica de calles solo bus.

Figura 3.8: *Configuración de pista solo bus a contra flujo (TRB, 2003)*

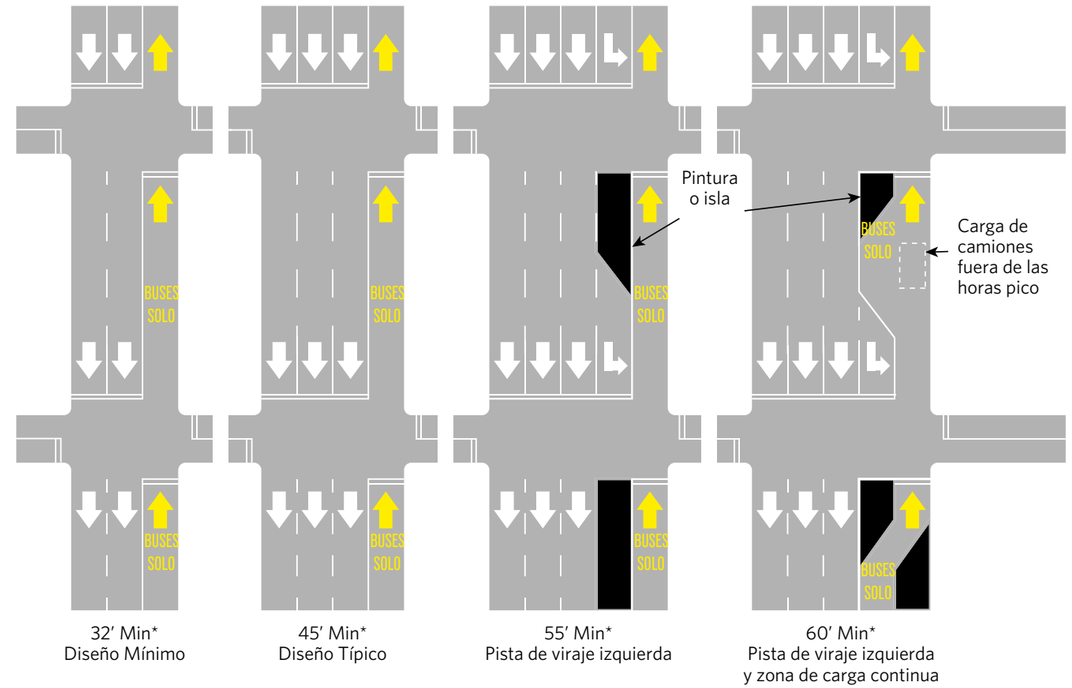
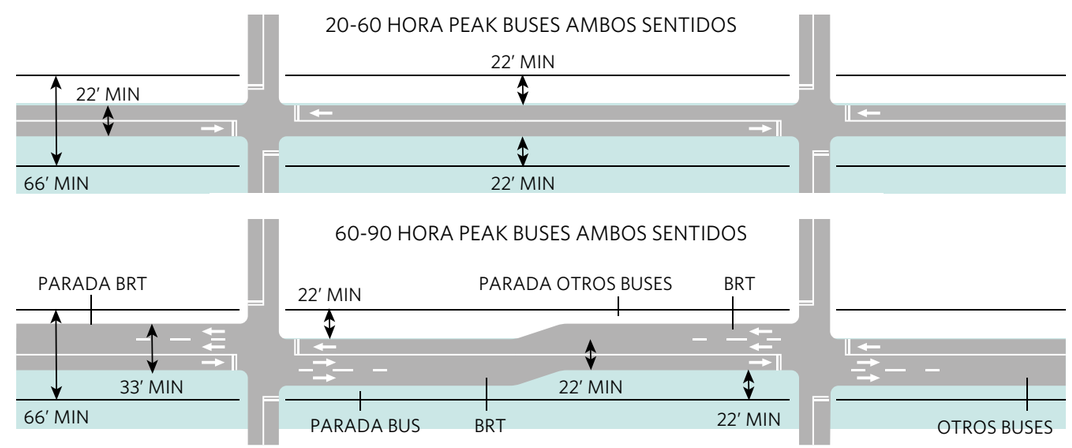


Figura 3.9: *Configuración típica de calle solo bus (TRB, 2003) - cotas en pies*

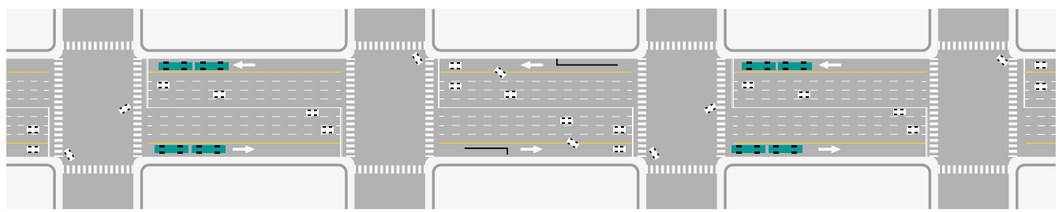


NOTA: Si hay sobre 50 buses en cada dirección, vías doble deben der consideradas

Tabla 3.11: Clasificación de corredores segregados de buses o BRT

Clase	Control de acceso	Tipo de facilidad
I	Flujo ininterrumpido y con control de acceso	Paso subterráneo para buses Corredor segregado a desnivel Pista reservada en autopistas
II	Control parcial de acceso	Corredor segregado a nivel
III	Pista físicamente separada lado derecho de la calle	Pista de buses en mediana
IV	Pista exclusiva o semi-exclusiva	Pistas de buses a favor y contra flujo
V	Operación de tráfico mixto	

Figura 3.10: Configuración típica de sistema BRT en vías urbanas



3.7 CORREDOR SEGREGADO DE BUSES O BRT (BUS RAPID TRANSIT)

Corresponden a pistas de uso exclusivo para buses que se encuentran físicamente separadas del resto de los demás vehículos a través de vallas o tachones.

El sistema BRT comprende un conjunto de elementos que ayudan a mejorar el transporte público a una escala más amplia que los tipos de pistas solo bus descritos en los puntos anteriores. Está compuesto principalmente de vías segregadas, vías alimentadoras que pueden o no tener pistas solo bus, paraderos especiales, sistema de cobro de tarifa especial, buses de gran capacidad y medidas de prioridad para dar preferencia a los buses en intersecciones.

Los BRT no poseen un diseño único pues pueden tener 1 o 2 pistas dependiendo del flujo de buses. Además estos cuentan con paraderos dentro de ellos que varían su espaciamiento según la demanda existente en cada lugar.

Una clasificación del grado de control de segregación desde tráfico mixto a carriles segregados a desnivel se presenta en la Tabla 3.11. Las características y ubicación de corredores segregados fueron descritas en la Sección 3.1, la configuración típica de BRT se puede observar en la Figura 3.10. (VTA Transit, 2007)

Otra operación del sistema BRT ocurre en las autopistas, donde se reserva una pista para vehículos de alta ocupación o High Occupancy Vehicles (HOV). Es similar a las pistas solo bus en horas punta y funciona con demarcación o barreras móviles. Su ventaja es permitir que los buses circulen a mayores velocidades en tramos largos y su operación es más segura que en vías mixtas. La entrada y salida de los buses debe ser de fácil acceso. Un diseño típico de pista HOV en AUTOPISTAS se muestra en la Figura 3.11.

3.8 TRAFFIC CALMING PARA BUSES

Corresponde básicamente a medidas de aquietamiento de tráfico para evitar excesos de velocidad en la circulación de los buses en zonas residenciales o alejadas de los centros de

Figura 3.11: Configuración típica de sistema BRT en vías expresas o autopistas (VTA Transit, 2007)

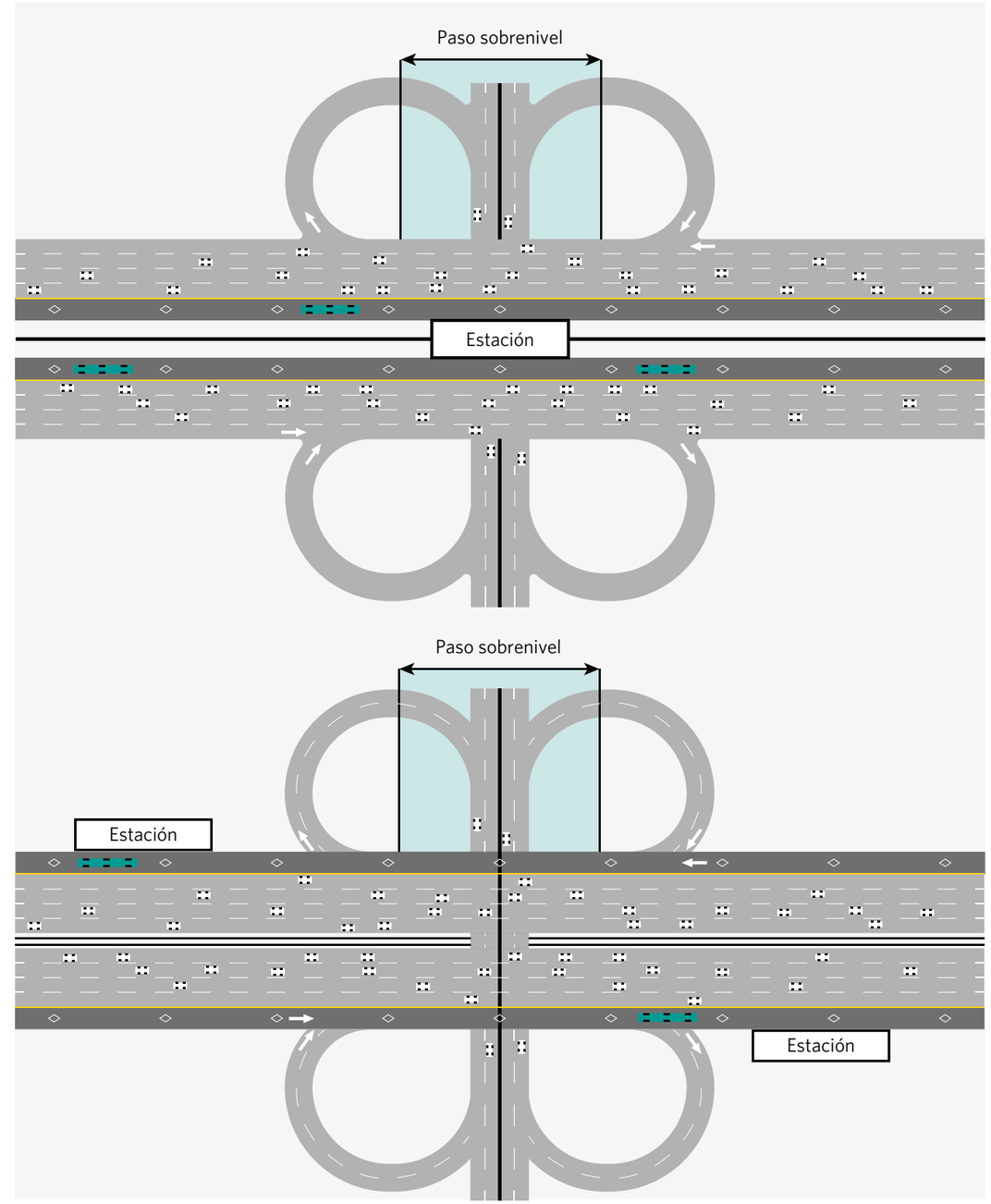
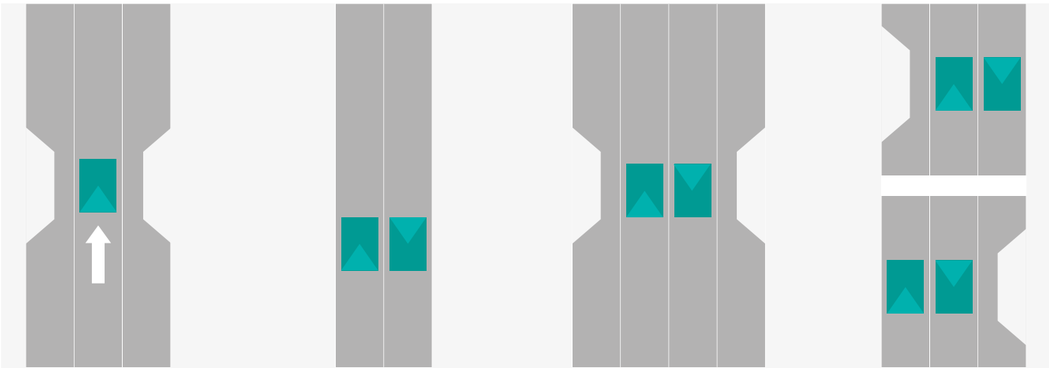


Figura 3.12: Configuración típica de cojines en pistas para buses (TfL, 2005)



actividad. En zonas residenciales se recomiendan velocidades entre 24 a 32 km/ h para buses que realizan servicios locales.

Para asegurar este tráfico calmado existen una serie de medidas que se pueden adoptar:

» **Medidas visuales:** corresponde a demarcación vial que permite generar la impresión de estrechamiento de las vías, también se pueden incluir cambios de textura y color del pavimento.

» **Cámaras y señales variables:** estas tecnologías permiten regular la velocidad mediante cámaras detectoras de velocidad y evitar colocar otras medidas físicas como cojines y deflectores verticales.

» **Medidas de control de acceso:** la idea de esta medida es la restricción de ancho para evitar el paso de determinados tipos de vehículos. En el caso de los buses se pueden abrir pistas solo bus con cámaras de circuito cerrados de televisión para evitar el acceso de otros vehículos a las pistas solo bus.

» **Cambios de prioridad:** acá encontramos prioridad en intersecciones y mini rotondas. La primera está enfocada principalmente a dar prioridad a los buses en los cruces para evitar que se queden en cola. Las mini rotondas permiten el paso alternado de todas las ramas, en el caso que haya flujo de buses se recomienda las pintadas principalmente cuando los buses deben virar o el tamaño de los buses es mayor.

» **Deflexión horizontal:** corresponde a medidas que permiten estrechar las vías. Acá encontramos las chicanas, islas centrales grandes, demarcación vial. Se debe evitar estacionamientos cercano a estas medidas que puedan impedir la libre circulación de los buses.

» **Deflexión vertical:** se utilizan cuando las medidas anteriores no pueden controlar la velocidad, en esta categoría se destacan los resaltos o lomos de toro, cojines de velocidad. Estos últimos son preferibles en las pistas de circulación de buses deben tener un máximo de 1700 mm de ancho, 75 mm de alto.

» La separación entre una serie de cojines debe ser como mínimo de 80 m. Algunas configuraciones de cojines se muestran en la Figura 3.12.

Otros deflectores verticales son las intersecciones elevadas, franjas alertadoras que solo se recomiendan para velocidades normales de buses y las mesas de velocidad que son una especie de resalto que cubre toda la calle con un ancho de 6 metros. Se recomienda en zonas de escuelas o centros comerciales.

3.9 REFERENCIAS

Austroads (1991). Guide to Traffic Engineering Practice: Part 9 (Arterial Roads). Austroads. Sydney.

Austroads (2012). The Use of Microsimulation Traffic Models for on-road PublicT ransport. Austroads. Sydney.

Booz, Allen and Hamilton (2006). International Approaches to Tackling Transport Congestion. Paper 10 (Final): Traffic Management – Road Space Reallocation. Victorian Competition and Efficiency Commission.

CONASET (2012). Manual de Señalización de Tránsito. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones de Chile.

Fernández, R. y Valenzuela, E. (2009). Cálculo de setback en pistas sólo bus en Chile. Nota técnica. Santiago. Chile.

Frebaut (1970). Les Transport Public de Surface dans les Villes. I.R.T. Paris.

Hounsell, N. and McDonald, M. (1988). Evaluation of bus lanes. TRRL Laboratory Report 87. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.

IHT (1997). Transport in the urban environment. The Institution of Highway and Transportation, UK.

Jepson, D. and L. Ferreira (1999). Assessing travel time impacts of measures to enhance bus operations. Part 1: Past evidence and study methodology. Road and Transport Research Journal 8(4), 41-54.

Levinson, H.S. et al. (1975). Bus Use of Highways Planning and Design Guidelines N.C.H.R.P. Report 155, Highway Research Board.

Miller, M. (2009). Bus Lanes/Bus Rapid Transit Systems on Highways: Review of the Literature. University of California, Berkeley, California.

MINVU (2009). Manual de vialidad Urbana. Recomendaciones para el diseño de elementos de infraestructura vial Urbana. Gobierno de Chile.

NSW Government (2012). Transport State Transit. Bus Infrastructure Guide. Issue 2. PROC 48.14.

PTA (2004). Bus priority measures: principles& design, report revision 1.00, Public Transport Authority, Perth, Western Australia.

Oldfield, R.H., Bly, P.H. and Webster, F.V. (1977). With-flow bus lanes: Economic justification using a theoretical model. Report LR809, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.

TCRP (2003). Transit Capacity and Quality of Service Manual, 2nd edition. Report 100. Transportation Research Board. Washington, D.C.

TfL (2005). Traffic calming measures for bus routes. Bus Priority Team technical advice note BP2/05

September 2005.

TRB (2000). Highway Capacity Manual. Special Report 209, Transportation Research Board, Washington, D.C.

TRB (2003). Bus Rapid Transit Volume 2: Implementation Guidelines, Transit Cooperative Research Program Report 90, August 2003

TRB (2007). Bus Rapid Transit Practitioner's Guide, Transit Cooperative Research Program Report 118.

TRL (1993). Design guidelines for busway transit. Overseas Road Note 12, Transport Research Laboratory, Crowthorne.

Transportation Planning Board (2011). Bus Priority Treatment Guidelines. National Capital Region, Metropolitan Washington Council of Governments, Washington, D.C.

VTA Transit (2007). Bus Rapid Transit Service Design Guidelines. VTA Transit Sustainability Policy.

Vuchic, V. (2007). Urban transit system and technology. John Wiley & Sons, Hoboken, N.J.

Capítulo 4
PRIORIDAD A BUSES EN INTERSECCIONES

A continuación, se describen las diferentes prioridades a buses en intersecciones. Según Fernández y Valenzuela (2003) se justifica una prioridad de este tipo cuando se cumpla una de las siguientes observaciones: a) las demoras (veh-s/s) son mayores a un cuarto del ciclo del semáforo aguas abajo; b) cuando las detenciones (det/veh) son mayores a 1,0; c) cuando las colas (veh) son mayores a la distancia entre el paradero y la línea de detención aguas abajo.

4.1 PISTAS SOLO BUS CORTAS

Este tipo de pista utiliza la misma definición de una pista solo bus (ver Sección 3.1), sin embargo su longitud es menor ya que se utiliza sólo al llegar a la intersección para evitar que los buses se vean afectados por las colas de vehículos livianos que llegan a esta. Se cuenta con las siguientes características:

Comúnmente se ubica en la pista derecha adyacente a la acera, sin embargo también se puede utilizar en la pista izquierda adyacente a una mediana (ver Figura 4.1).

Según Valenzuela (2009) el uso de una pista solo bus corta pierde efecto cuando el flujo de buses es mayor o igual a 90 bus/h y el tiempo de detención en paraderos es mayor o igual a 60 s, ya que el gran flujo de buses produce que se forme automáticamente una pista sólo bus más allá de la intersección.

4.2 PROGRAMACIÓN DE SEMÁFOROS PARA BUSES

Esta prioridad consiste en que una o varias intersecciones semaforizadas están programadas de forma aislada o en red, pero en función del flujo de buses en vez del flujo vehicular, así los buses tienen prioridad por sobre el resto del tráfico en cada intersección. Incluye las siguientes características:

Según Bullard y Nungesser (1985) este tipo de medidas se pueden implementar reduciendo el largo del ciclo del semáforo para favorecer a los buses o aumentando el tiempo de verde para la fase que contenga el mayor flujo de buses.

Además, TRB (2013) sugiere otras medidas tales como la incorporación de nuevas fases especiales para buses en la intersección.

Por otro lado, según el Bus Rapid Transit Practitioner's Guide (TRB, 2007) este tipo de medidas se justifica cuando la intersección se encuentra operando en un Nivel de Servicio D (LOS D), en donde existe una razón de flujo-capacidad (q/Q) de entre 0,8 y 1,0.

Asimismo, TfL (2009) menciona que este tipo de medida puede tener bajo efecto cuando el flujo de buses es muy variable, ya que todos los buses reciben beneficios de la programación del semáforo de forma similar y no individualmente.

El TCRP (2003) recomienda que los semáforos aislados deban contener el menor número de fases posible y el tiempo de ciclo debe ser lo más corto posible (idealmente entre 60 a 90 s).

En el caso de una programación en red, el TCRP (2003) recomienda utilizar "ondas verdes", las cuales permiten que un bus a cierta velocidad "v" pueda alcanzar la mayor cantidad de verdes en intersecciones consecutivas (ver Figura 4.2).

4.3 SEMÁFOROS ACTUADOS POR BUSES

Esta prioridad consiste en la modificación remota de la programación de un semáforo al momento en que un bus se aproxima a la intersección. Se utiliza por la misma razón que la prioridad de programación de semáforos para buses (ver Sección 4.2). Incorpora las siguientes características:

Cuando las unidades no son capaces de procesar la implementación de prioridad en el tiempo requerido se recomienda utilizar "semáforos inteligentes" de forma que el bus al aproximarse a la intersección pueda instantáneamente modificar la programación del semáforo (Airaksinen and Kuukka-Ruotsalainen, 2008).

Según TfL (2009) es necesario una tecnología adecuada y monitoreo tales como Global Positioning System (GPS) en

Figura 4.1: *Pista solo bus corta en intersección de una vía unidireccional*

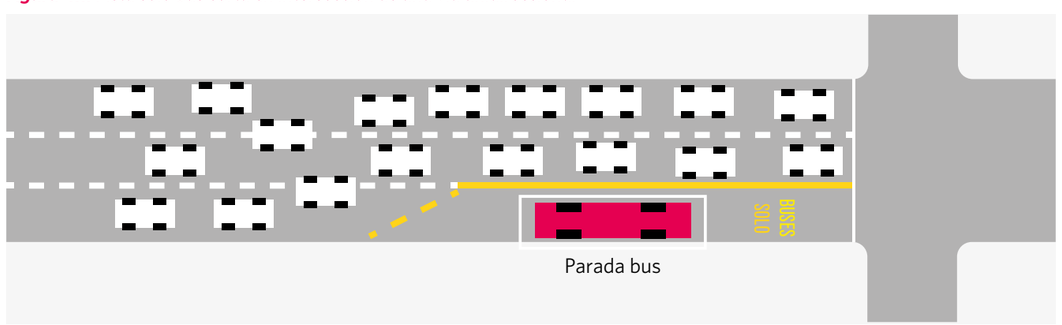


Figura 4.2: *Banda de verde a lo largo de una calle*

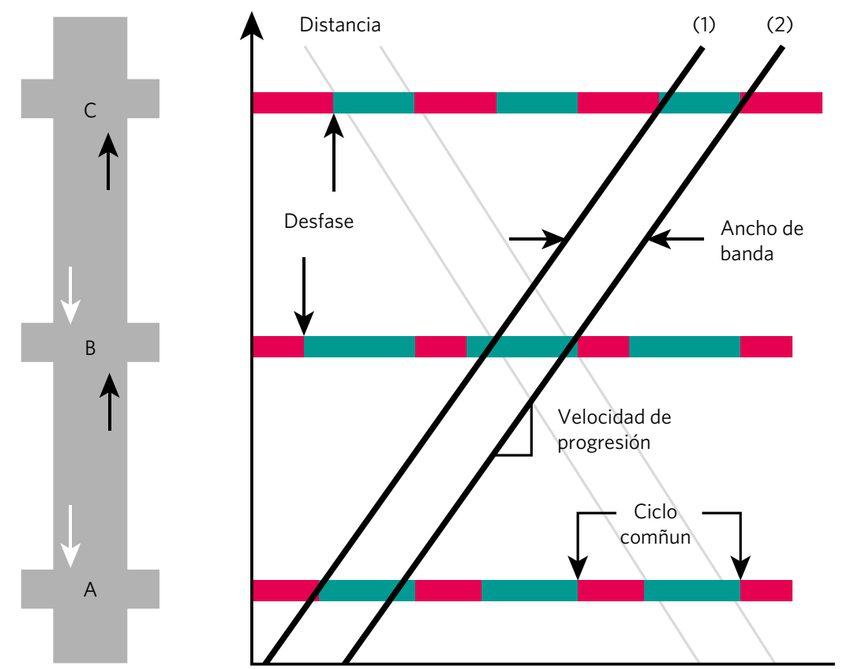
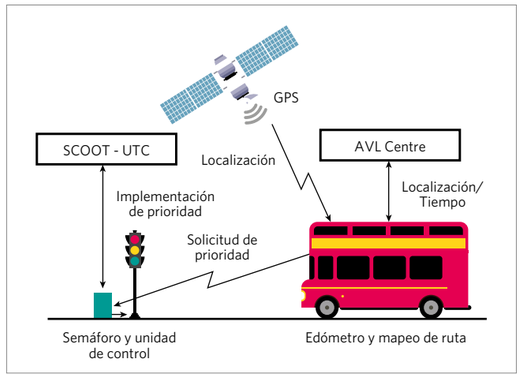


Figura 4.3: Semáforo actuado por buses utilizado en Londres (TfL, 2009)



buses o bien espiras en el pavimento (loops/transponders en inglés), entre otros (ver Figura 4.3).

Según TfL (2009) la solicitud de prioridad puede ser de tres maneras (ver Figura 4.4), en donde la extensión del tiempo de verde permite el mayor ahorro de tiempo para cada bus.

4.4 PRE-SEMAFORIZACIÓN

Este tipo de prioridad ("pre-signal" en inglés) consiste en crear un semáforo antes de la intersección para detener al resto de los vehículos y así los buses puedan ser los primeros en salir del verde para realizar cualquier maniobra. Esta prioridad cuenta con las siguientes características:

Según Valenzuela (2009) este tipo de medida no tiene efecto cuando el flujo de vehículos privados es mayor a 500 veh/h y la cantidad de buses que vira a la izquierda es mayor a un bus por cada ciclo.

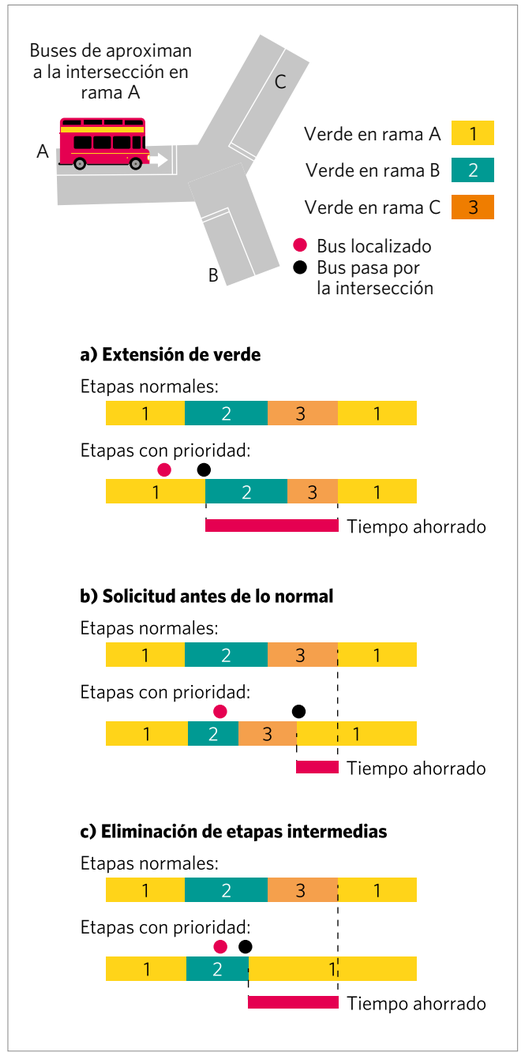
Además del pre-semáforo, se debe instalar un semáforo sólo para buses, ya que cuando se da verde para los buses el resto de los vehículos permanece en rojo.

La ubicación del pre-semáforo debe coincidir con el término de la pista solo bus (ver Figura 4.5). Esto creará una área de avance de los buses, la cual debe almacenar al menos a dos buses por ciclo (TCRP, 2003)

Según Wu y Hounsell (1998) la distancia L está determinada por la siguiente ecuación:

$$L=\frac{(v_d+v_{dB})}{N_m}\, r_m\, H \qquad (4.1)$$

Figura 4.4: Ejemplo de solicitud de semáforo actuado por buses (TfL, 2009)



Donde H es la cola promedio de vehículos, N_m es el número de pistas en el área de avance de los buses, r_m es el tiempo efectivo de rojo en la intersección, v_d es la tasa de demanda de tráfico (veq/s), y v_{dB} es la tasa de flujo de buses (veq/s). Es importante recordar que veq corresponde a vehículo equivalente liviano, por ejemplo, 1 bus equivale a 2 veq.

Figura 4.5: Pre-semaforización facilita maniobras de buses (vía unidireccional)

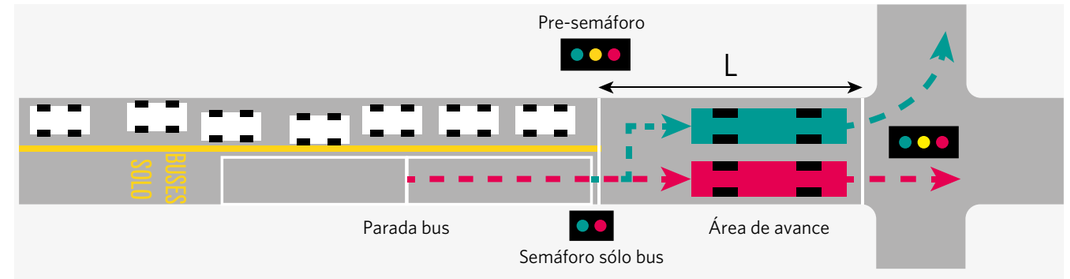


Figura 4.6: Pista adicional para buses (vía bidireccional)

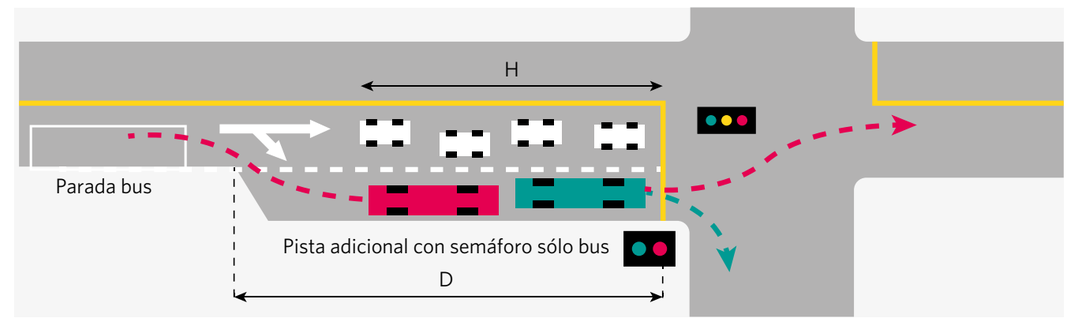
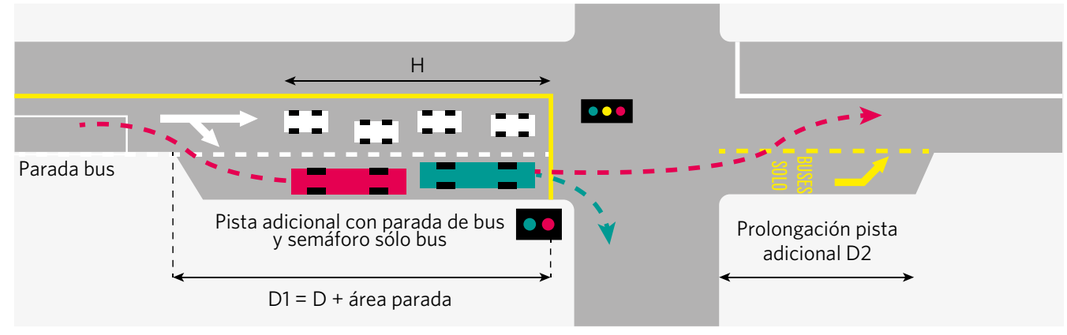


Figura 4.7: Pista adicional prolongada con paradero para buses (vía bidireccional)



4.5 EVASIÓN DE COLAS

La evasión de colas ("queue jumper" en inglés) consiste en crear una pista adicional solo para buses al llegar a la intersección, la cual posee un semáforo sólo para buses y así estos puedan ser los primeros en salir del verde y adelantar al resto del tráfico. Cuando existe un flujo bajo de vehículos que desean virar a la derecha, esta pista adicional se puede utilizar también como pista de viraje exclusivo. Se considera las siguientes características:

Según TRB (2012; 2013) el diseño principal de este tipo de prioridad es utilizar una pista adicional para buses que comience desde la línea de detención de la intersección hasta una distancia D aguas arriba (ver Figura 4.6). El valor de D debe ser mayor a la distancia H correspondiente a la cola

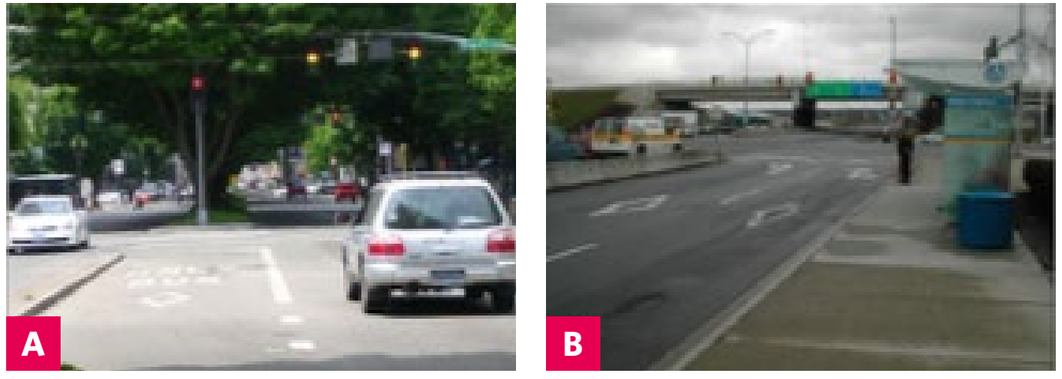


Figura 4.8: *Prioridad al viraje de buses en nueva pista adicional (A) y en pista "solo bus" existente (B) (TRB, 2013)*

de vehículos en la pista adyacente a la pista adicional. Además, se debe instalar un semáforo sólo buses en la línea de detención. El TCRP (2003) recomienda un tiempo de verde para el semáforo sólo buses de 5 a 10 s.

Otros diseños, sujetos a disponibilidad de espacio, es prolongar aguas abajo la pista adicional para buses y así los buses puedan reintegrarse al tráfico luego de pasar la intersección (ver Figura 4.7). Es importante que el paradero esté ubicado antes de la intersección para no obstruir la prolongación de la pista adicional para buses. La distancia D1 corresponde a la distancia D más el área de parada. Mientras que la distancia D2 corresponde a la distancia necesaria para que el bus se reintegre al resto del tráfico sin ser obstaculizado por otro vehículo. Por ejemplo, el TCRP (2003) recomienda valores aproximados de D1=55 m y D2=36 m.

4.6 PRIORIDAD AL VIRAJE DE BUSES

Esta prioridad se define como una medida que agrega una fase adicional a un semáforo existente para que un bus pueda realizar una maniobra exclusiva de viraje hacia la izquierda. También se puede crear un nuevo semáforo para dicha maniobra. Incorpora las siguientes características:

Según TRB (2013) no se recomienda este tipo de prioridad cuando implique una interrupción en la coordinación de semáforos programados en red o cuando no existe una coordinación con la unidad encargada de programar los semáforos. Además, en el caso de que la intersección se encuentra a capacidad, esta prioridad podrá generar mayores demoras y detenciones para el resto de los vehículos y peatones.

Esta prioridad se diseña de la misma manera que la prioridad de programación de semáforo para buses explicada en la Sección 4.2.

Respecto a la disponibilidad de espacio, la pista adicional de viraje exclusivo para buses hacia la izquierda deberá contar con el espacio necesario y su diseño debe regirse por lo descrito en Sección 3.1 (ver ejemplo en Figura 4.9).

4.7 PRIORIDADES EN ROTONDAS

La prioridad en rotondas se define como una medida que permite a todos los vehículos utilizar las pistas y realizar maniobras hacia la derecha. Además, se busca que el bus pueda aproximarse, circular y retirarse de la rotonda sin problemas.

Según el Traffic Signal Manual (DfT, 2003) del Reino Unido, esta prioridad se debe utilizar siempre que exista una rotonda, la cual puede ser semaforizada, poseer un cierto tamaño y cumplir una determinada función, sin embargo si se ve afectada la capacidad no deberá implementarse (DfT, 2003).

Cuando un bus alcanza una rotonda, la pista "solo bus" se descontinuará mediante un setback, para que así todos los vehículos puedan utilizar las pistas y realizar maniobras hacia la derecha (ver Figura 4.10 obtenida a partir de DfT, 2003). El setback se debe determinar según la Sección 3.2.

Según TRB (2010) es importante que la rotonda esté diseñada adecuadamente para que los buses puedan circular sin afectar al resto del tráfico: al ingresar a la rotonda, dentro de la rotonda y al salir de la rotonda (ver Figura 4.11).

Figura 4.9: *Prioridad a buses antes de llegar a una rotonda (TSM, 2003)*

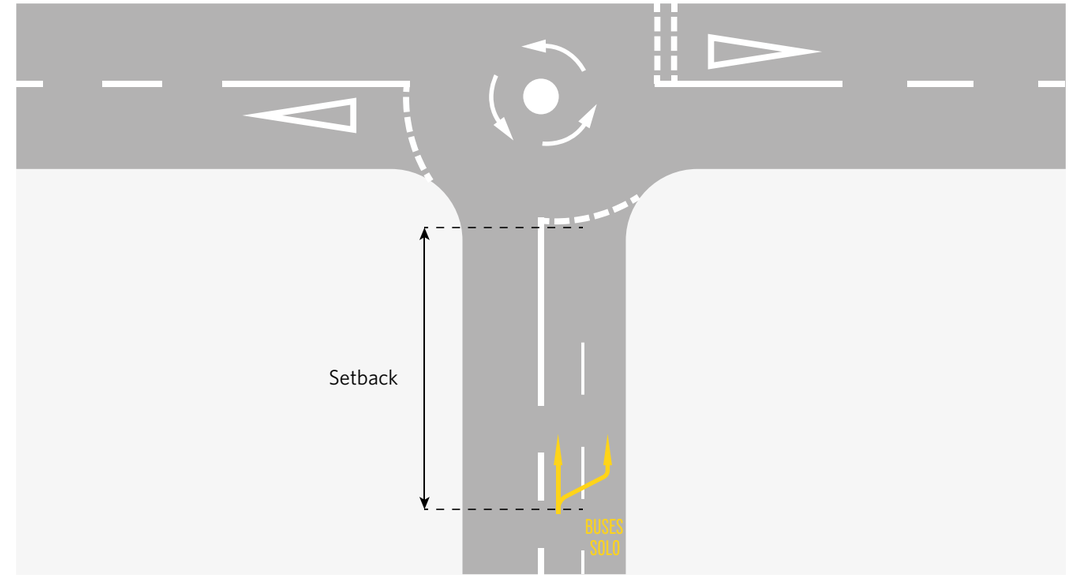
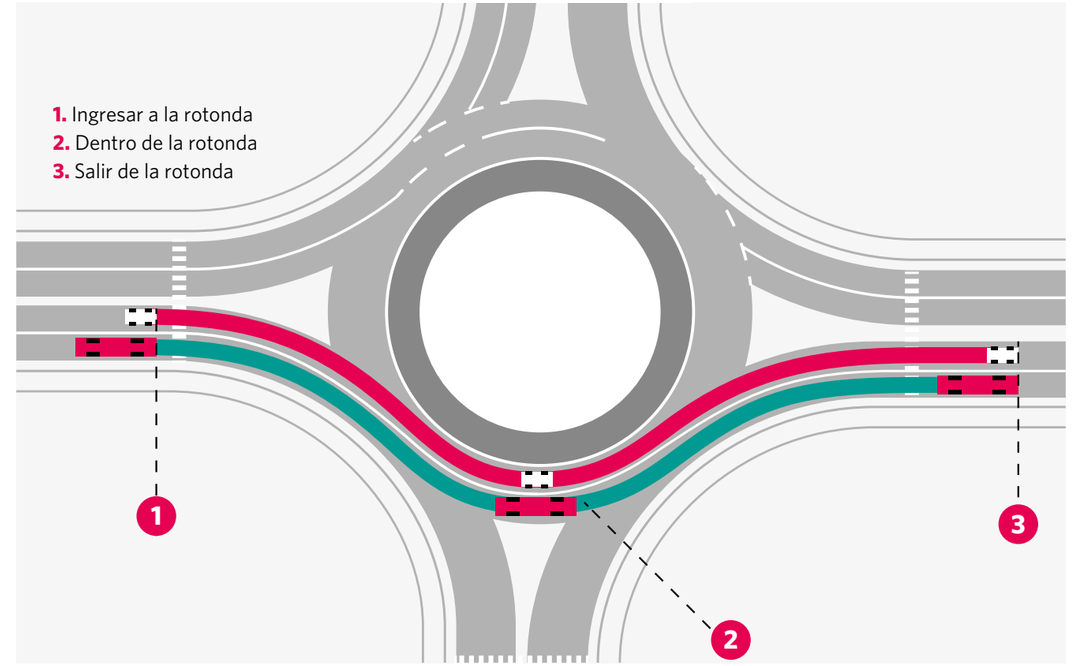


Figura 4.10: *Adecuado diseño de prioridad a buses en rotonda (TRB, 2010)*



4.8 REFERENCIAS

Airaksinen S. and Kuukka-Ruotsalainen V. (2008). Bus priority as a Competitive Factor. Recuperado el 1 de Diciembre de 2014 en file:///C:/Users/S%20Awad/Downloads/Buspriorityasacompetitivefactor.pdf

Bullard, D.L. and Nungesser L.G. (1985). Texas Public Transit Reference Manual. Technical Report 1082-1F. Texas State Department of Highway and Public Transportation, Austin.

DfT (2003). Traffic Signal Manual, Chapter 5 Road Marking, Department for Transport, UK Government. TSO. Recuperado el 14 de diciembre de 2014 en https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/223667/traffic-signs-manual-chapter-05.pdf

Fernández, R. and Valenzuela, E. (2003). A model to predict bus commercial speed. Traffic Engineering and Control 44(2), 67-71.

Smith, H. R., Hemily, B., and Ivanovic, M. (2005). Transit signal priority (TSP): A planning and implementation handbook. United States Department of Transportation

TCRP (2003). Bus Rapid Transit Volume 2: Implementation Guidelines, Transit Cooperative Research Program Report 90, August 2003.

TfL (2009). Review of Bus Priority at Traffic Signals around the World. UITP Working Group on the Interaction of buses and signals at road crossings. Transport for London, UK. Recuperado el 1 de Diciembre de 2014 en https://www.tfl.gov.uk/cdn/static/cms/documents/interaction-of-buses-and-signals-at-road-crossings.pdf

TRB (2007). TCRP Report 118: Bus Rapid Transit Practitioner's Guide. USA

TRB (2010). Roundabout: An Informational Guide, 2nd Edition, Transportation Research Board, Washington D.C.

TRB (2012). Bus preferential treatments, chapter 4. In Transit capacity and quality of service manual, 2nd Edition, 4-27, Transportation Research Board, Washington D.C.

TRB (2013). Bus transit capacity, chapter 6. In Transit capacity and quality of service manual, 3rd Edition, 6-40, Transportation Research Board, Washington D.C.

Valenzuela, A. (2009). Experimentos de micro simulación para la gestión del transporte público de superficie. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil en Obras Civiles, Universidad de los Andes, Santiago.

Wu, J., Hounsell, N. (1998). Bus priority using pre-signals, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 32(8), 563-583.

Capítulo 5
PRIORIDAD A BUSES EN PARADEROS

5.1 PRIORIDAD EN EL DISEÑO DE PARADEROS

La velocidad comercial es uno de los índices del nivel de servicio del transporte público; es el inverso del tiempo de viaje en el vehículo. La velocidad comercial en un tramo de la ruta (Vc) corresponde a la velocidad media de viaje entre un paradero o estación origen y otro destino, incluyendo todas las detenciones intermedias. De varias experiencias (Cohen, 1994; Gibson et al, 1989; Fernández, 1996) se ha llegado a establecer que la velocidad comercial del transporte público se relaciona de manera exponencialmente negativa con la frecuencia de detenciones. Estas se producen principalmente en paraderos o estaciones y es posible pronosticar la velocidad comercial de un sistema de transporte público mediante la expresión que sigue.

$$V_c = V_0 \, e^{-\alpha \cdot f_d} \qquad (5.1)$$

Donde Vc es la velocidad comercial [km/h]; V0 es la velocidad en movimiento de los vehículos de transporte público [km/h]; fd = Np/L es la frecuencia de detenciones en el tramo [det/km]; L es la longitud del tramo de ruta en estudio [km]; Np es el número de paraderos del tramo; y α es el efecto de cada detención sobre la velocidad comercial (sin dimensiones).

Tanto V_0 como α son específicos del tramo analizado y constituyen parámetros que pueden ser calibrados. Algunos valores obtenidos por los autores mencionados se indican en la tabla siguiente.

Tabla 5.1: *Parámetros del modelo exponencial de velocidad comercial*

Caso	V_0	α
Calle normal (Chile)	35 km/h	0,144
Pista sólo bus (Francia)	32 km/h	0,122
BRT (Chile)	36 km/h	0,140

De los valores de estos parámetros se pueden sacar algunas conclusiones respecto de la velocidad comercial. Los sistemas de metro o LRT (Light Rail Transit) logran una velocidad comercial de 30 km/h debido al espaciamiento entre sus estaciones (800 a 1000 m) y a la eficiencia en sus paradas. Aunque no es el objetivo de un sistema de buses, si la frecuencia de detenciones de los buses se iguala a la del metro o LRT (1,0 a 1,2 detenciones/km), la velocidad comercial de los buses sería similar a estos otros sistemas. No obstante, un sistema BRT (Bus Rapid Transit), es decir, buses con prioridad sobre el resto del tráfico con paraderos espaciados cada 400 m logran una velocidad comercial de hasta 25 km/h; es decir, solo un 20% menos que la velocidad de un metro o LRT. Más aun, buses operando en una pista solo bus y paraderos cada 300 m pueden superar los 20 k/m de velocidad comercial. Pero para ello es necesario que exista prioridad en el diseño de paraderos.

Se definirá prioridad en el diseño de paraderos como el adecuado diseño para procesar eficientemente un determinado flujo de buses y una cierta demanda de pasajeros. Este diseño

debe ser prioritario respecto del diseño de los dispositivos viales que atienden al resto del tráfico; de ahí el concepto de "prioridad en paraderos". Por ejemplo, si en una calle de dos pistas en el mismo sentido son necesarios paraderos divididos ("skip stops"), que requieren una pista para el adelantamiento para los buses, entonces la calle debería transformarse en una calle solo bus, aunque se tenga que prohibir al resto del tráfico usar dicha calle.

El diseño de paraderos se compone de tres etapas (Gibson y Fernández, 1995):

a) Calcular el espaciamiento entre paraderos.
b) Determinar la capacidad y el tipo de paradero requerido.
c) Diseñar la planta o "layout" del paradero en la plataforma vial.

5.2 ESPACIAMIENTO ENTRE DE PARADEROS

Para calcular el espaciamiento de paraderos se observan dos prácticas, ilustradas en la figura de más abajo:

» La práctica tradicional, cuyo paradigma es el trazado de vías ferroviarias. En ella se trata de unir los puntos extremos mediante un trazado lo más recto posible y con estaciones equidistantes entre sí que aseguren una alta velocidad (entre 500 y 1000 m). La accesibilidad a los centros de demanda realiza caminando hacia y desde la estación más cercana.

» La práctica contemporánea, por su parte, basada en sistemas rodoviarios, y por ende no limitados por el trazado de la vía, consiste en que el trazado conecte los puntos de demanda. El paradigma en este caso es otorgar el máximo de accesibilidad a esos puntos, por lo que se constituyen en los principales puntos de parada. El resto de los paraderos se ubican a lo largo de la ruta a una distancia que permita siempre ser alcanzados caminando una distancia apropiada. Por ejemplo, en un radio de 200 a 300 m; es decir, a no más de 5 minutos de caminata.

Al respecto, es destacable la política de Transport for London (TfL), que establece que todo hogar de Londres debe estar a no más de 400 m de una ruta de buses (IHT, 1997). Sin embargo, Tyler (1992) advierte que la referida política se refiere a la distancia de caminata hasta a la ruta de buses, pero no al paradero. El mismo autor hace una discusión detallada de este y otros aspectos de diseño de sistemas de buses.

El espaciamiento entre paraderos a lo largo de una ruta ha sido abordado de manera simplificada por varios autores. Al respecto se puede mencionar EBTU (1982), Vuchic (2005 y 2007), TRB (1996), que establecen rangos de espaciamiento según la zona dónde esté ubicado el paradero: residencial, comercial, suburbana, rural, etc.

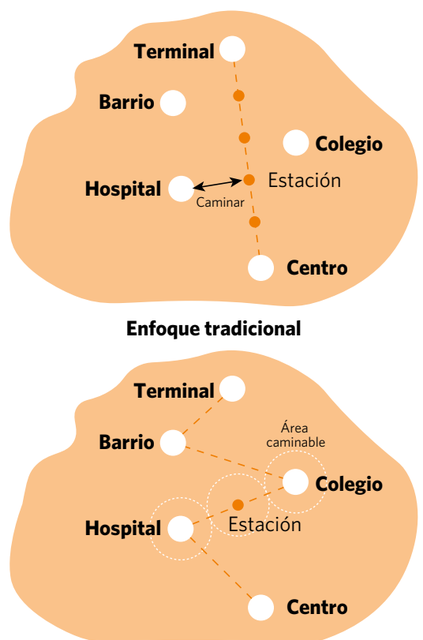
Un modelo analítico que integra las variables de accesibilidad y operación del sistema de buses es aportado por Gibson y Fernández (1995), a partir de Cade-Idepe (1988). Este modelo considera tres impactos de la localización de un paradero de transporte público:

» Tiempo de caminata al paradero
» Demora a los pasajeros que van en el bus
» Costo operación que causa la detención del bus

De esta forma, el costo social total que produce la detención de un vehículo de transporte público se puede expresar como:

$$C_T = \frac{D}{m} \cdot \frac{L_T P_d \alpha VT}{v_p} + \frac{1000 L_T}{D} \lambda q_b \, [2P_c C_d + d_p (2P_c C_r + TOC_b \cdot VT)] \quad (5.2)$$

Figura 5.1: Diseño de rutas del transporte público



Donde C_T es el costo total por detención en un paradero [$]; D es el espaciamiento entre paraderos [m]; LT es la longitud tramo estudio [km]; Pd es la densidad de demanda de pasajeros que suben y bajan [pax/h-km]; qb es el flujo de buses en tramo [bus/h]; TOC_b es la tasa de ocupación de los buses en tramo [pax/bus]; d_p es la demora media en cada paradero [s]; vp es la velocidad de caminata [m/s]; V_T es el valor del tiempo de pasajeros [$/s-pax]; Pc es el precio social del combustible [$/L]; Cd es el consumo de combustible por detención [L/det]; Cr es el consumo de combustible al relentí [L/s]. Parámetros de esta función son: λ, la proporción de buses que se detiene en paraderos; α, el ponderador del tiempo de caminata respecto al de viaje en el vehículo y m, un parámetro de la distancia media caminada.

El primer término de la ecuación es el costo de caminata al paradero. En el segundo están los costos correspondientes al doble del consumo de combustible, como aproximación al costo de operación del bus (SECTRA, 1982), y el costo por demoras a los pasajeros que van en el bus.

Se puede asumir que todos los buses paran en los paraderos; luego λ = 1. También, que los usuarios perciben el tiempo de caminata como 2,5 veces el tiempo de viaje en el vehículo (α = 2,5). Además, que la demanda de pasajeros se distribuye homogéneamente a lo largo de la ruta (m = 4); o sea, un pasajero que se encuentra sobre la ruta caminará una distancia que varía entre 0 y ½D para llegar al paradero. Su distancia media de caminata será entonces ¼D. Por último, se asume que la velocidad promedio de caminata de los pasajeros es de 1,2 m/s. Con estas simplificaciones, minimizando (derivando e igualando a cero) C_T con respecto a D se llega a:

$$D = 43{,}8 \sqrt{\frac{q_b}{P_d VT} \, [2P_c(C_d + d_p C_r) + d_p TOC_b \cdot VT]} \quad (5.3)$$

El valor de dp dentro del paréntesis redondo tiene poco peso con respecto al que multiplica a TOC_b. Por lo tanto, se asume constante e igual a 50 segundos. Según Gibson y Fernández (1995), su rango es 35 a 70 segundos. Luego, la ecuación queda:

$$D = 43{,}8 \sqrt{\frac{q_b}{P_d VT} \, [2P_c(C_d + 50 C_r) + d_p TOC_b \cdot VT]} \quad (5.4)$$

El resto de los parámetros son los consumos unitarios por detención y al relentí. Según SECTRA (1982) estos son: C_d = 0,029 [L/det] y C_r = 0,0006 [L/s]. Otros parámetros el valor social del combustible y del tiempo de los pasajeros. Según MDS (2020), P_c = 447 $/L (diésel) y VT = 2.372 $/h-pax o 0,659 $/s-pax. Reemplazando estos parámetros y aproximando a números enteros, el modelo de espaciamiento óptimo entre paraderos es:

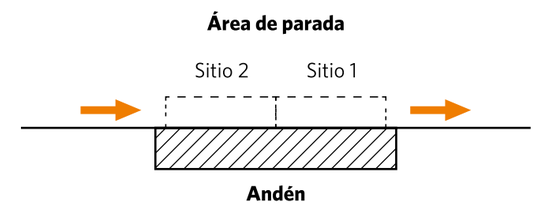
$$D = 44 \sqrt{\frac{q_b}{P_d} \, [75 + d_p TO_b]} \quad (5.5)$$

Los datos para calcular D son fáciles de obtener en terreno para un sistema existente o de supuestos de para uno hipotético; son: el flujo de buses, la demanda de pasajeros, la tasa de ocupación de los buses y el valor esperado de la demora en paraderos. Si este último no se conoce, se puede probar la fórmula con sus extremos del rango (35 y 70 segundos) y elegir un espaciamiento intermedio a criterio del ingeniero.

5.3 CAPACIDAD Y TIPO DE PARADEROS

Para calcular la capacidad del dispositivo vial llamado paradero de buses, en necesario formalizar sus componentes. Un paradero de buses puede definirse como un espacio de la plataforma vial compuesto por un área de parada y un andén (Figura 5.2).

Figura 5.2: Componentes de un paradero de buses



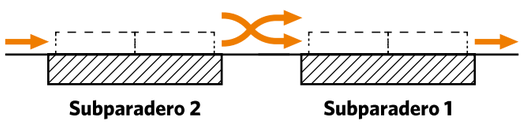
El área de parada es el lugar de la plataforma vial destinada a la detención de los buses. Se ubica sobre la calzada, en una bahía o en una isla y está compuesto de uno o más sitios o lugares de detención para los buses. El andén es el lugar de la plataforma vial destinado a la espera de los pasajeros y es donde las operaciones de subida y bajada tienen lugar. Puede ser parte de la vereda u otro espacio especialmente acondicionado, como una isla peatonal. El andén tendrá, al menos, el mismo largo del área de parada.

Andenes y áreas de parada pueden acomodarse en distintas disposiciones para atender la demanda de pasajeros y el flujo de buses. Si ambos son bajos, bastará un paradero

simple, como el de la Figura 5.3, compuesto por un andén y un área de parada con uno o más sitios. Por el contrario, si el flujo de buses y la demanda de pasajeros son mayores, se requerirá de un paradero dividido, compuesto de más de un área de parada con sus respectivos andenes. Cada uno de éstos se denominará subparaderos (Gibson y Fernández, 1995).

La Figura 5.3 muestra un paradero dividido en línea compuesto por dos subparaderos. La hipótesis de diseño es que cada uno funcionará independientemente del otro, duplicando la capacidad de todo el arreglo.

Figura 5.3: *Paradero dividido en línea*



Como los paraderos divididos se componen de paraderos simples, bastará conocer la capacidad de un paradero simple para obtener por adición la capacidad de uno dividido. Se ha desarrollado dos tipos de modelos para el cálculo de capacidad de paraderos simples: fórmulas analíticas y modelos de simulación (Fernández and Planzer, 2002). A continuación se verán cada tipo.

a) Fórmula del Highway Capacity Manual

El Highway Capacity Manual (HCM) ha dedicado desde su primera versión en 1965 un capítulo al cálculo de capacidad de paraderos de buses. La versión 2000 del HCM proporciona la siguiente ecuación (TRB, 2000):

$$Q_N = \frac{3600\,(g/C)N_{eb}}{t_c+(g/C)\,t_d + Z_a C_v t_d} \qquad (5.6)$$

Donde QN es la capacidad de un paradero de N sitios [bus/h]; g es el verde efectivo del semáforo aguas abajo del paradero [s]; C es el tiempo de ciclo del semáforo aguas abajo [s]; Neb corresponde al número efectivo de sitios; tc es el tiempo de despeje del paradero entre buses sucesivos [s]; td es el tiempo de servicio de pasajeros [s]; C_v es el coeficiente de variación de t_d; y Za corresponde a la abscisa de la curva normal de la probabilidad de falla "a" de que haya cola en el paradero.

Valores de los parámetros de la fórmula anterior son los siguientes (TRB, 2000):

- Si no hay semáforo aguas abajo, (g/C) = 1,0
- El tiempo de despeje t_c varía entre 10 y 15 segundos
- C_v varía entre 0,4 y 0,8; en ausencia de datos usar 0,6.
- Valores de Z_a se muestran en la Tabla 5.2.
- El número efectivo de sitios Neb se encuentra en la Tabla 5.3.

Una interpretación de la probabilidad de falla es el porcentaje del tiempo en que habrá un bus en la cola aguas arriba del paradero. El HCM 2000 sugiere usar una probabilidad de falla de diseño de 7,5 a 15% en paraderos ubicados en el centro de la ciudad. Para paraderos en bahía, se recomienda una probabilidad de falla de no más del 2,5%. Sin embargo, el HCM acota que, bajo circunstancias normales, la capacidad ocurre para un el 25% de probabilidad de falla; es decir, para calcular la capacidad del paradero debe usarse Za = 0,675.

La tabla indica que en un paradero de un sitio, este se ocupa en un 100%. Sin embargo, si se agrega un segundo sitio, su eficiencia disminuirá al 85% producto de las obstrucciones que provocan los vehículos del primer sitio. Y así sucesivamente. Este efecto es menos pronunciado si los buses pueden salir del paradero adelantando a otros. El HCM establece que en otro tipo de disposición los sitios son 100% efectivos (en paralelo o en dientes de sierra).

El tiempo de servicio de pasajeros o "dwell time" (td) es el tiempo durante el cual el bus permanece detenido para operaciones de subida y bajada de pasajeros. Depende de la cantidad de pasajeros que suben y bajan y de la rapidez con que lo hacen. El modelo que propone el HCM para estimarlo es:

$$t_d = P_a t_a + P_b t_b + t_{oc} \qquad (5.7)$$

Donde P_a y P_b corresponden al número de pasajeros que baja y sube por bus por la puerta más usada en los 15 minutos

Tabla 5.2: *Valores de Za para distintas probabilidades de falla de un paradero*

a [%]	1,0	2,5	5,0	7,5	10	15	20	25	30	50
Z	2,330	1,960	1,645	1,440	1,280	1,040	0,840	0,675	0,525	0,000

Tabla 5.3: *Eficiencia de sitios linealmente dispuestos en paraderos*

Nº de sitios	Sin adelantar en paradero		Adelantamiento en paradero	
	Eficiencia (%)	Neb	Eficiencia (%)	Neb
1	100	1,00	100	1,00
2	85	1,85	85	1,85
3	60	2,45	75	2,60
4	20	2,65	65	3,25
5	5	2,70	50	3,75

punta de la hora punta, respectivamente; ta y tb son respectivamente los tiempos de bajada y subida por pasajero [s/pax]; y toc es el tiempo de apertura más el de cierre de las puertas del bus [s].

Los parámetros de esta ecuación son t_{oc}, t_a y t_b. El HCM ofrece una variedad de valores según el número de puertas y forma de pago. Considerando todas las combinaciones de casos, sus rangos son:

- t_{oc}: 2 a 5 segundos
- t_a: 0,5 a 3,0 segundos por pasajero
- t_b: 0,5 a 4,0 segundos por pasajero

El modelo del HCM es bastante práctico para el cálculo de la capacidad de paraderos. Sin embrago, hay que hacer supuestos para dar valor a sus parámetros. Y algunos de estos parámetros provienen de estudios particulares realizados en terminales de buses en los Estados Unidos; por ejemplo, N_b.

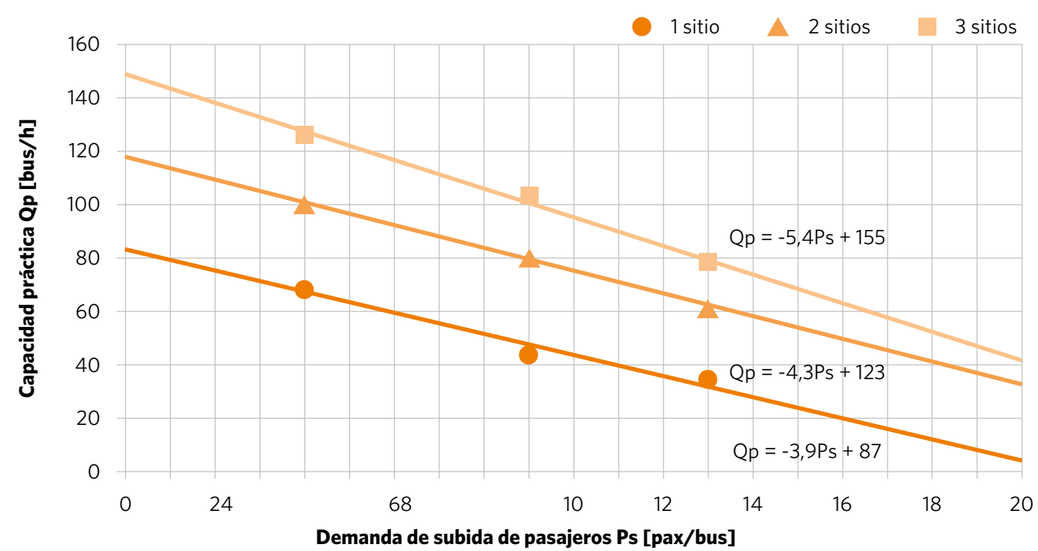
b) Sofware IRENE

Para poder estudiar casos más generales se han desarrollado modelos de simulación microscópica de operaciones en paraderos. Uno de estos el modelo IRENE (Gibson et al, 1989), desarrollado en Chile, el que simula un paradero como un mecanismo aislado; es decir, el entorno no interfiere en la operación, con excepción de los semáforos aguas arriba y aguas debajo de éste. Su formulación se puede encontrar en Fernández (2011). IRENE permite calcular los siguientes indicadores desde la perspectiva de los buses:

- Capacidad del área de parada y grado de saturación.
- Demoras a los buses y largo de cola aguas arriba del área de parada
- Porcentaje del tiempo en que el área de parada se encuentra vacía, a medio llenar o llena.

Experimentos de simulación realizados con IRENE han arrojados resultados como los mostrados en la Figura 5.4, que permite calcular la capacidad práctica de un paradero de 1, 2

Figura 5.4: *Capacidad de paraderos de sitios múltiples*



o 3 sitios linealmente dispuestos en función de la demanda de subida de pasajeros (Gibson y Fernández, 1995). En la figura se asume que la demanda de bajada es la mitad de la de subida y que el paradero opera en forma ordenada; es decir, con disciplina FIFO y detención única de los buses en el sitio libre más próximo a la salida del paradero. Para otras formas de operación, se puede hacer uso del modelo de simulación.

Gibson y Fernández (1995) definen la capacidad práctica o de diseño para un grado de saturación del paradero (razón flujo/capacidad) menor o igual a 0,6. En este nivel se espera que las demoras en el paradero sean menores a 1 minuto por bus y que el 50% del tiempo haya no más de 1 bus en cola tratando de entrar al paradero.

A partir de la Figura 5.4, se puede determinar cuándo requerirá un paradero simple (Figura 5.2) o dividido (Figura 5.3). Se requerirá un paradero dividido cuando la capacidad de un paradero simple de 2 o 3 sitios es insuficiente. De lo contrario, un paradero simple es suficiente. Gibson y Fernández (1995) recomiendan paraderos divididos cuando la demanda de subida es mayor a los 700 pax/h a nivel del paradero o mayor a los 1800 pax/h-km en un tramo de ruta.

Aunque con el modelo IRENE se llega a mejores aproximaciones que la fórmula entregada por el HCM en cuanto a la capacidad de un paradero, existen algunas limitaciones que es importante considerar al momento de modelar un paradero. En primer lugar, no considera el impacto de las operaciones sobre los pasajeros,

Figura 5.5: Outputs de PASSION

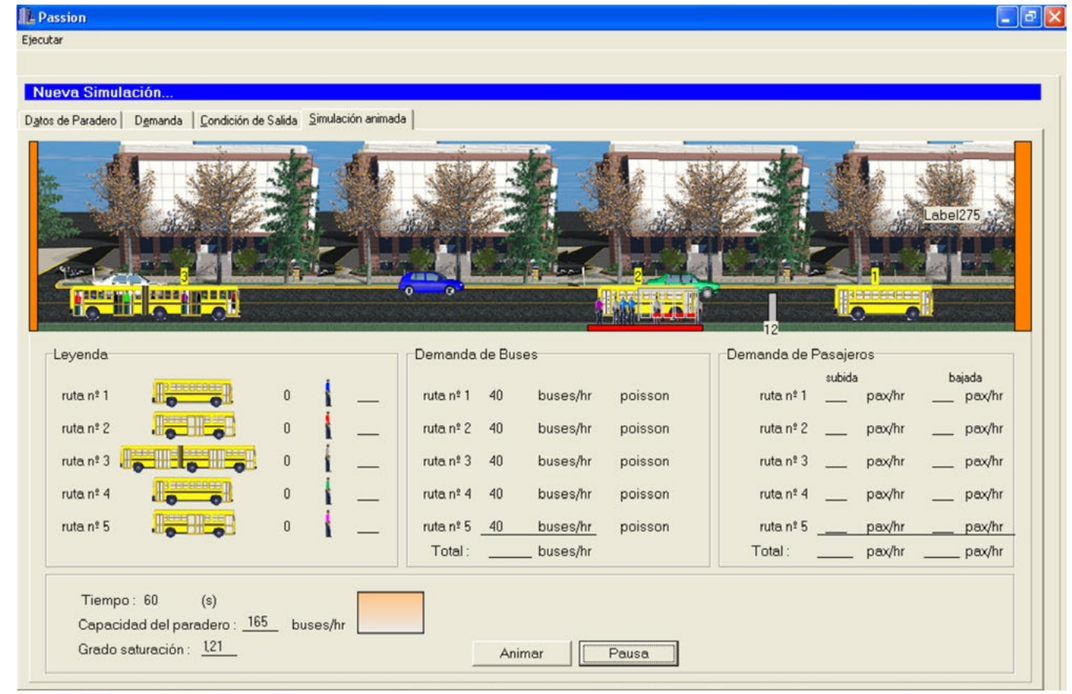
Datos de la simulación:

Nombre de la simulación:	Nuevo 1	
Rutas usando el paradero:	1 ruta	
Sitios de detención:	1	Disciplina de salida: FIFO
Tiempo simulado:	30 [min]	
Flujo de buses:	30 [bus/h]	(Dev. Est. llegada buses: 91,68)
Demanda de embarque:	238 [pax/h]	(Dev. Est. llegada pasajeros: 16,18)
Demanda de bajada:	30 [pax/h]	
Condición de salida:	Salida controlada por semáforo: ciclo de 100 [s], porcentaje de rojo 50%	

Resultados de la simulación:

Espera promedio por pasajero:	14,31 [min]	(máx: 17,90	Dev. Est: 10,20)
Pasajeros promedio en andén:	3,40 [pax]	(máx: 11,00)	
Demora promedio por transferencia por bus:	10,73 [s/bus]	(máx: 25,00	Dev. Est: 7,00)
Demora extra promedio por bus:	13,77 [s/bus]	(máx: 45,50	Dev. Est: 18,95)
Demora en cola promedio por bus: 2	0,13 [s/bus]	(máx: 74,50	Dev. Est: 26,54)
Demora total promedio por bus:	53,63 [s/bus]	(máx: 91,50	Dev. Est: 24,71)
Capacidad del paradero:	107,46 [bus/h]	(grado sat: 0,28)	
Largo promedio en cola por bus:	0,30 [bus]	(máx: 3,00)	
Desviación estándar del tiempo de salida:	80,08 [s]		

Figura 5.6: Interfaz animada en PASSION 5.0



tales como los tiempos de espera y la densidad en el andén. Además, es poco flexible en cuanto al tipo de llegadas tanto de pasajeros como de buses, no pudiendo modelar fenómenos que ocurren en la realidad como llegadas de buses en pelotones o "bus-bunching", llegadas en masa de pasajeros, llegadas según horario, entre otros. Estas limitaciones llevaron al desarrollo del software PASSION que se describe a continuación.

c) Software PASSION

PASSION (PArallel Stop SimulatION) es un modelo de simulación microscópica que fue desarrollado como una manera de estudiar la interacción en paraderos entre los buses, pasajeros y el tráfico en el ambiente cercano (Fernández, 2001). Para modelar el funcionamiento de un paradero, PASSION lo divide en tres partes: el andén, el área de parada y el área de salida.

El andén es donde ocurre la llegada de los pasajeros, que interactúa con el área de parada ya que entre ambos ocurre la transferencia de pasajeros. El área de salida es donde se ve reflejado el tráfico del ambiente cercano, pudiendo obstruir y demorar la salida de los buses. Luego, el área de salida y parada interactúan entre sí. Por lo tanto el funcionamiento de un paradero es visto como una serie de procesos independientes ocurriendo de manera simultánea, conectados por ciertos eventos.

El modelo, PASSION cuenta con cinco partes principales: módulo de pasajeros, módulo de salida, módulo de buses, modelo de interacción y módulo de funcionamiento o resultados.

El módulo de buses es el encargado de generar la información sobre las características de los buses. Se puede generar cualquier tipo de patrón de llegada: regular, aleatorio siguiendo alguna distribución, según una tabla horaria, en pelotón, reproducir llegadas según una observación en terreno o combinación de distintas líneas con diferentes patrones de llegada.

El módulo de pasajeros es el encargado de generar la información sobre las llegadas de pasajeros y sus características. Al igual que el módulo de buses, puede reproducir cualquier patrón de llegadas de pasajeros. Aquí también se ingresa la ruta que sirve a cada pasajero y el tiempo que demorará en

abordar, ya sea de individual o promedio, el que puede variar según la forma de pago, edad, etc.

El módulo de salida indica cómo los buses dejan el área de parada, pudiendo enfrentar cuatro tipos de escenarios de salida diferentes, con distintas demoras asociadas a cada uno. La primera opción es la salida libre; una vez que un bus termina sus operaciones de subida y bajada de pasajeros, puede dejar el área de parada sin experimentar demoras. En segundo lugar se encuentra la salida bloqueada, la cual se da cuando otro vehículo o situación externa a la operación del paradero bloquea la salida, produciendo una demora extra. La tercera opción es que la salida se encuentre próxima a un semáforo; en ese caso el bus experimentará una demora adicional si el semáforo está en rojo o nula si se encuentra en verde. La cuarta opción ocurre cuando la salida del paradero se hace mediante brechas en la pista adyacente; por ejemplo, para salir de una bahía.

El modelo de interacción ordena la información de entrada y calcula estadísticas y resultados relevantes para medir el funcionamiento del paradero. Finalmente, el módulo de resultados o funcionamiento calcula la capacidad, colas y demoras de los buses en el paradero, así como los tiempos de espera y el número de pasajeros esperando en andén (ver Figura 5.5).

Figura 5.7: *Soleras especiales (TfL, 2006)*

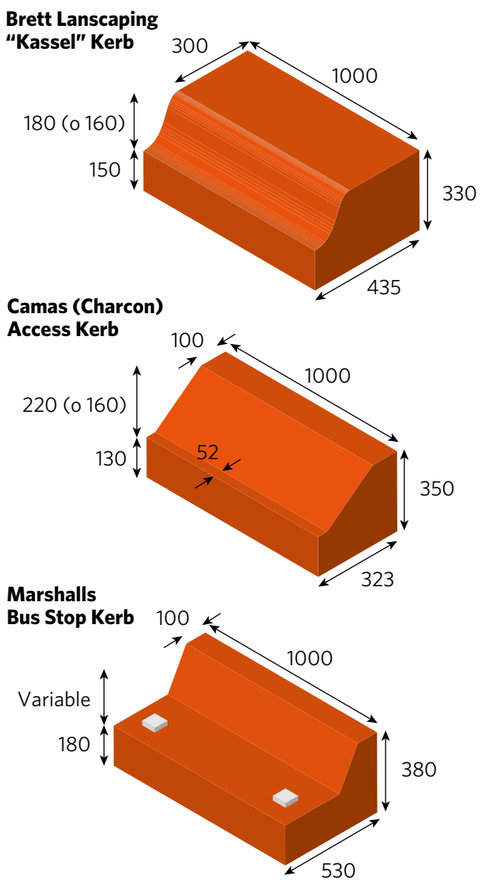
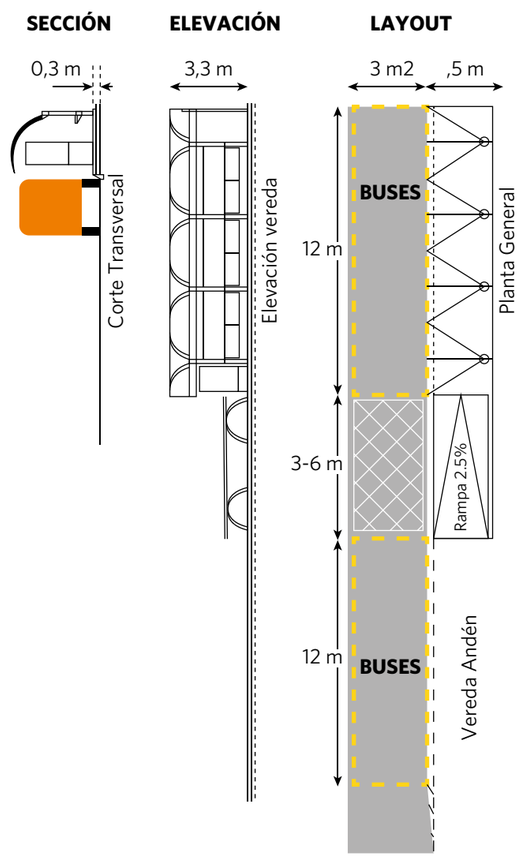


Figura 5.8: *Diseño en planta y perfil de un paradero simple con dos sitios*



Hay varias versiones del software, entre las que destacan PASSION XLS (Aguirre, 2014), disponible en el sitio: https://get-uandes.wixsite.com/get-uandes/software

5.4 DISEÑO EN PLANTA DE PARADEROS

Los buses deben ser capaces de entrar y dejar los paraderos sin trabas ni demoras. Los vehículos estacionados cerca o en los paraderos evitan los buses alcancen la acera y los fuerzan a detenerse en la calzada. Esto causa dificultades para los pasajeros que intentan embarcar y desembarcar, especialmente para las personas mayores o con discapacidad y las personas con niños o compras, quienes tienen que bajar a la calzada y subir una mayor altura hasta el escalón del bus.

a) Paraderos simples

La Figura 5.2 esquematiza un paradero simple de sitios múltiples. Como recomendaciones generales, Fernández (2004) sugiere las siguientes características de diseño de áreas de parada y andenes en estos paraderos. Más recomendaciones de pueden encontrar en Tyler (2002).

- Área de parada demarcada compuesta de sitios de 12,00 m de largo y 3,00 m de ancho cada uno.
- Separación entre sitios para permitir a los buses realizar maniobras de adelantamiento.
- Pista del paradero de 3,50 m de ancho de uso exclusivo para los buses.
- Pista adyacente al área de parada de uso prioritario para los buses, para facilitar maniobras de adelantamiento en el paradero.
- Andén segregado de la vereda con diferente textura de 2,50 m de ancho mínimo y largo igual al área de parada para evitar la aglomeración de pasajeros.
- Andén desplazado 0,30 m hacia la calzada para facilitar la aproximación y el alineamiento de los buses con el andén.
- Solera especial a lo largo del andén para guiar las ruedas del bus al borde del andén (Figura 5.7).
- Andén elevado a la misma altura del chasis del bus para facilitar las operaciones de subida y bajada.
- Panel de información con rutas e itinerarios de los buses que usan el paradero ubicado en la cabecera del andén.

Figura 5.9: *Aspecto del diseño de un paradero de un sitio*

- Refugio ubicado frente al primer sitio y del mismo largo (12,00 m) para agrupar a los pasajeros frente a ese sitio.
- Refugio con amenidades para atraer a los pasajeros: asientos, iluminación, mapas de alrededores, cualidades estéticas.

Las Figuras 5.8 y 5.9 muestran paraderos de estas características (Fernández y Salamanca, 1999). Estos son también aplicables a otros tipos de paraderos, compuesto por paraderos simples; por ejemplo, paraderos divididos.

Experimentos realizados por London Transport (1996) estudiaron las maniobras de un bus estándar de 12 metros al entrar y salir de un paradero. Replicaron las maniobras para alcanzar la acera cuando hay vehículos estacionados o en bahías para buses. Las maniobras consideraron que el bus se aproxima a 45 km/h y decelera a 35 al entrar al paradero. Como resultado, las dimensiones de las cuñas de entrada y salida se muestran en la figura siguiente. Estas permiten que el bus estacione a menos de 20 cm de la solera, sin que ninguna parte de su carrocería pase por encima de la acera.

Según las dimensiones de las cuñas propuestas por London Transport (1996), si hay una banda de estacionamiento de 2,50 m de ancho y el paradero está junto a la solera, hay que dejar una longitud despejada de vehículos estacionados de 13 m aguas arriba y 10 m aguas abajo del área de parada. Similarmente, para diseñar una bahía de 3,00 m de profundidad, esta deberá iniciarse 16 m aguas arriba del área de parada y terminar 12 m aguas debajo de ésta.

b) Paraderos divididos

El concepto de paraderos divididos mostrado en la figura que sigue se definió en la Sección 0. Consiste en un paradero que

Figura 5.10: Cuñas de entrada y salida desde paraderos (London Transport, 1996)

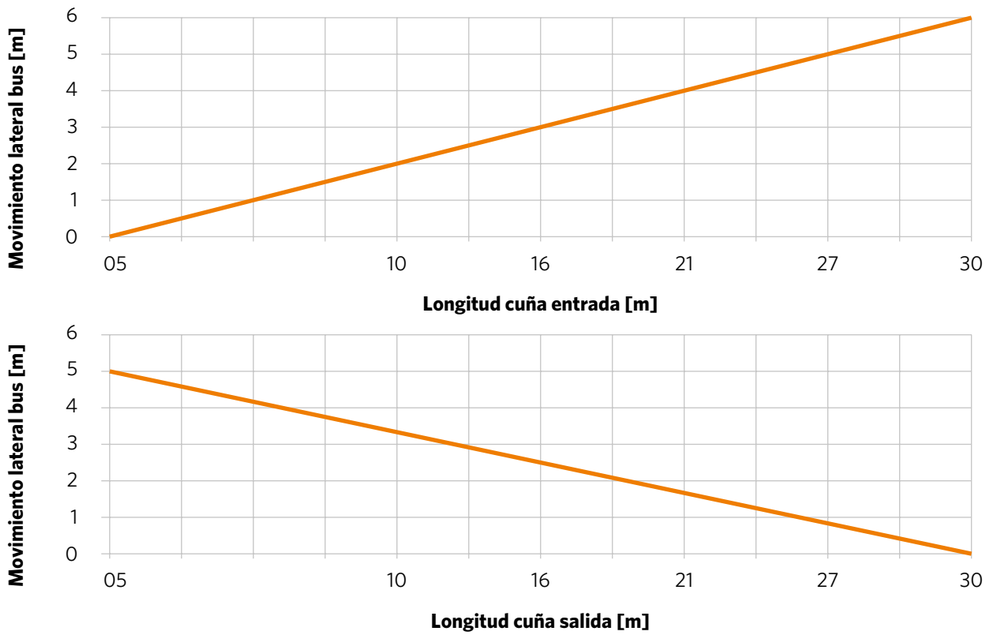


Figura 5.11: Paradero dividido con pista de adelantamiento

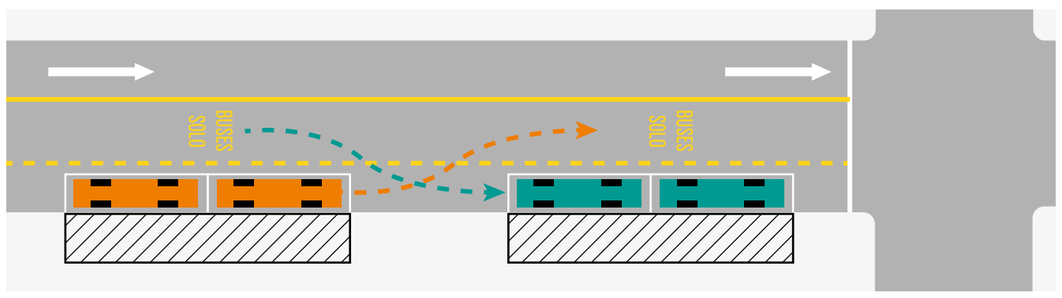
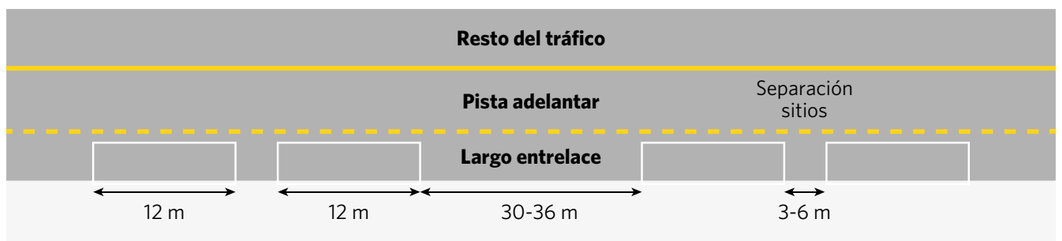


Figura 5.12: Layout de un paradero dividido



se divide en otros más pequeños y eficientes para atender a la demanda de pasajeros y el flujo de buses.

Como muestra la Figura 5.11, el esquema de un paradero dividido se complementa reservando una segunda pista exclusiva para el adelantamiento y entrelace de los buses, la que se puede ser solo demarcada o reforzada con elementos separadores. En la Figura 5.12 Fernández (2001) recomienda el layout de un paradero dividido.

Fernández (2001), citando a London Transport (1996), muestra las dimensiones de la figura siguiente para paraderos divididos de un sitio cada uno. En este caso el largo de entrelace es menor, porque el subparadero de aguas abajo se encuentra en un embarcadero para buses o "bus boarder". El diseño de embarcaderos para buses se aborda más abajo. Notar que en el Reino Unido el tráfico circula por la izquierda de la calle. En países donde se circula por la derecha el diseño será la imagen especular de la Figura 5.13.

c) Embarcaderos para buses

La mayoría de las paradas de las zonas urbanas serán paradas convencionales en la acera. Sin embargo, los buses a menudo experimentan dificultades para llegar a la acera, debido a los vehículos estacionados, cargando o descargando.

Los embarcaderos para buses o "bus boarders" ayudan a resolver este problema. Los embarcaderos para buses requieren menos longitud de acera que los paraderos convencionales situados entre los autos estacionados. Proporcionan un medio eficaz de disuasión de estacionamiento en la acera definen claramente las áreas de estacionamiento aguas arriba y abajo del área de parada. Permiten a los buses alinearse con la solera y crear áreas de espera de pasajeros, sin entrar en conflicto con los flujos peatonales. Es el concepto contrario a las bahías para buses. Las figuras siguientes (Figura 5.14 y Figura 5.15) muestran las características de embarcaderos para buses de ancho completo o de medio ancho (IHT,

Figura 5.13: Dimensiones de paraderos divididos de un sitio

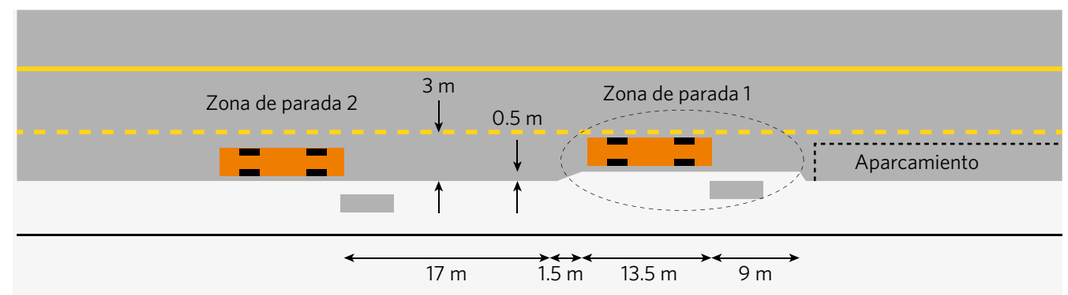


Figura 5.14: Dimensiones de un embarcadero de buses de ancho completo (IHT, 1997)

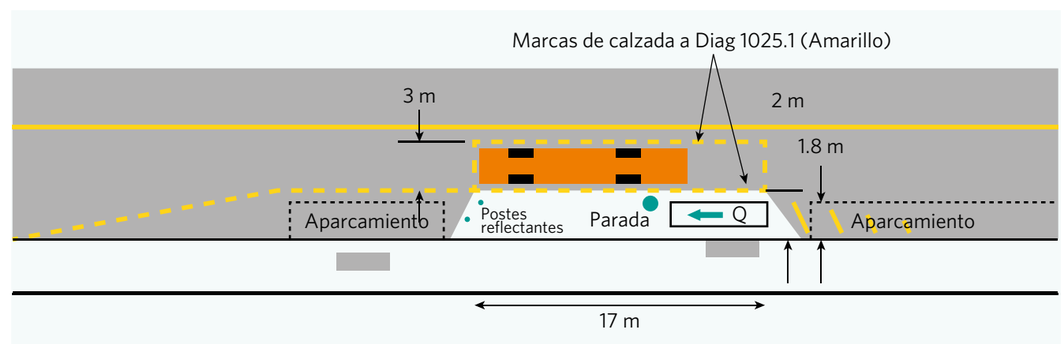


Figura 5.15: Dimensiones de un embarcadero de buses de medio ancho (IHT, 1997)

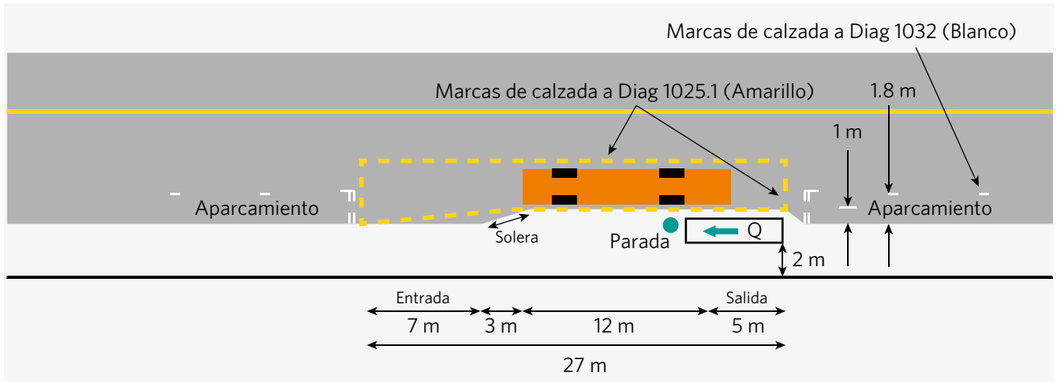
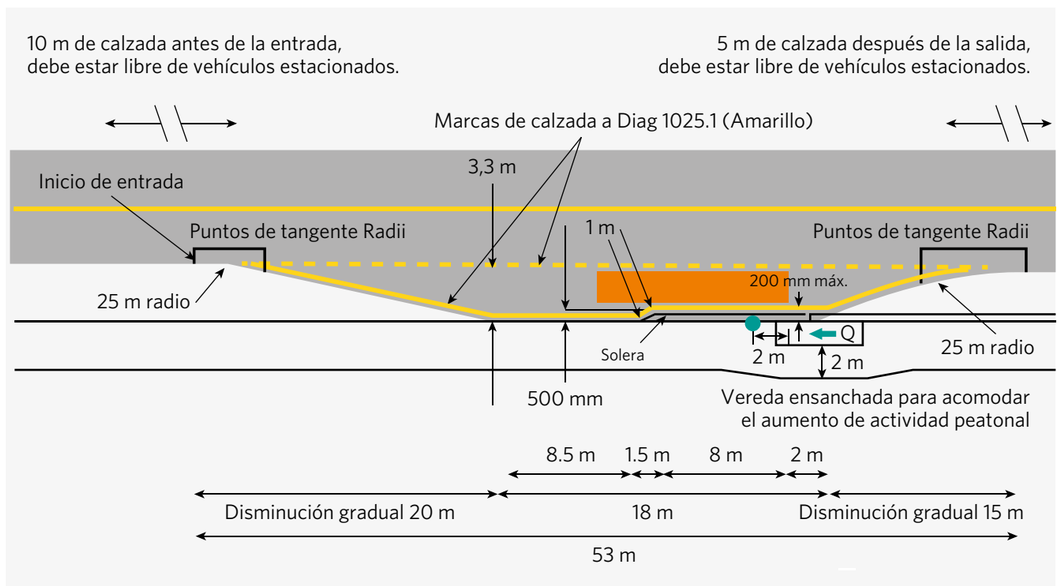


Figura 5.16: Dimensiones de una bahía para buses (IHT, 1997)



1997). Notar que el tráfico está circulando por la izquierda. En nuestro caso el diseño es la imagen espejo de las figuras.

d) Paraderos en bahías o medias bahías

Bahías no ayudan de la misma manera que un embarcadero para buses, ya que los conductores pueden experimentar dificultades para volver a entrar en un flujo al salir de una bahía; además, las bahías pueden atraer estacionamiento ilegal. El diseño de muchas bahías no es el adecuado, sobre todo cuando su geometría no permite a los buses parar cerca de la acera.

La Figura 5.16 señala las cualidades físicas de las bahías para buses; en Chile el diseño será la imagen reflejada en un espejo de la figura. En la Figura 5.17 se explica cómo transformar una bahía de ancho completo en una de medio ancho, para facilitar la entrada y salida de los buses.

e) Diseños especiales

Paraderos en dientes de sierra. Los paraderos en dientes de sierra son un diseño particular que admite que todos los sitios tengan una eficiencia del 100%, al facilitar el libre adelantamiento entre buses. Por lo tanto, pueden tener tantos sitios como el espacio lo permita. Su uso se recomienda en terminales de buses o en paraderos especiales en la calzada. Por ejemplo, estaciones de BRT o paraderos en zonas céntricas en que suben o bajan muchos pasajeros a los buses o se producen transferencias entre pasajeros de varias líneas. La Figura 5.18 muestra su disposición geométrica.

La Tabla 5.4 indica las dimensiones de la figura para dos tipos de buses, adaptadas de WMATA (2009): bus rígido de 12 m de largo y bus simplemente articulado de 18 m de largo.

Figura 5.17: Rediseño de una bahía en media bahía (IHT, 1997)

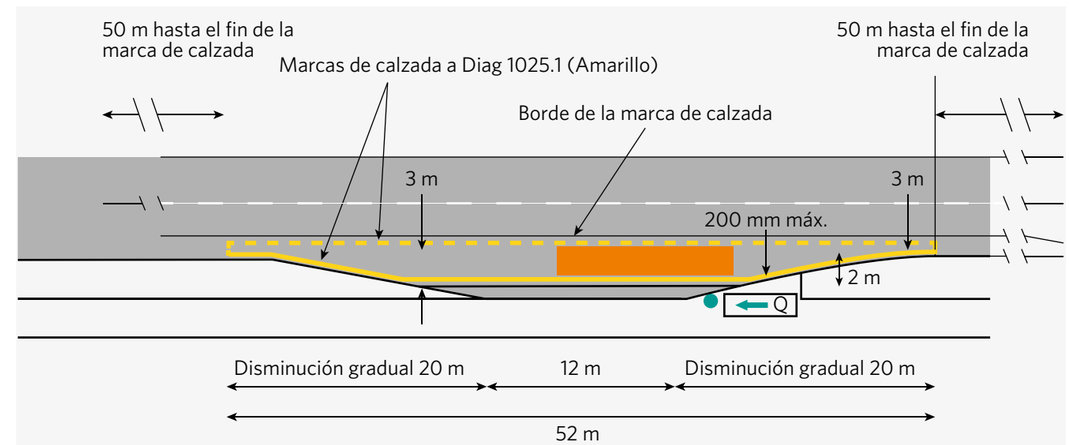


Figura 5.18: Layout de paradero en diente de sierra

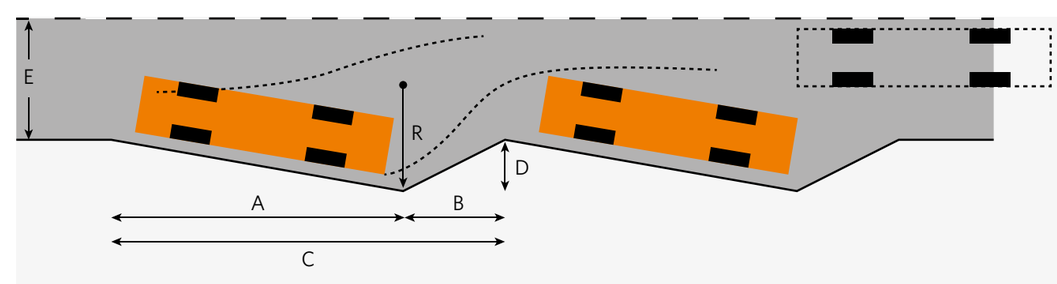


Tabla 5.4: Variables de diseño del layout en dientes de sierra [m]

Tipo de bus	A	B	C	D	E	R
Normal 12m	15,0	5,0	20,0	1,8	7,5	3,0
Articulado 18m	20,0	7,0	27,0			

Figura 5.19: Dimensiones de embarcaderos en ángulo (TfL, 2006)

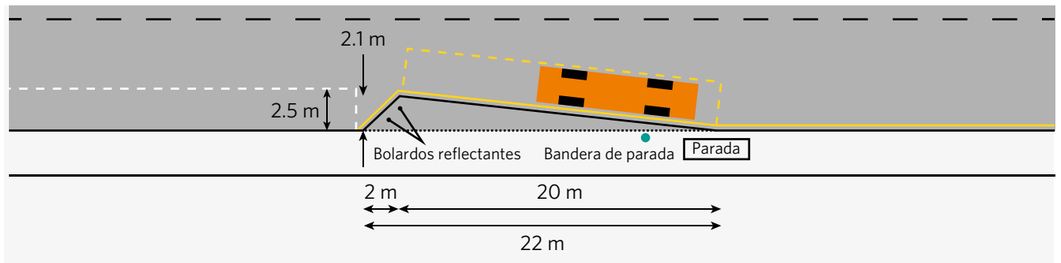


Figura 5.20: Dimensiones de embarcaderos en ángulo (TfL, 2006)

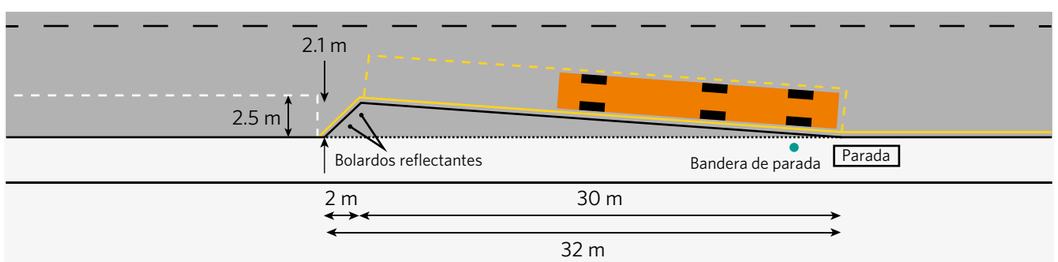


Figura 5.21: Paradero en isla en un BRT

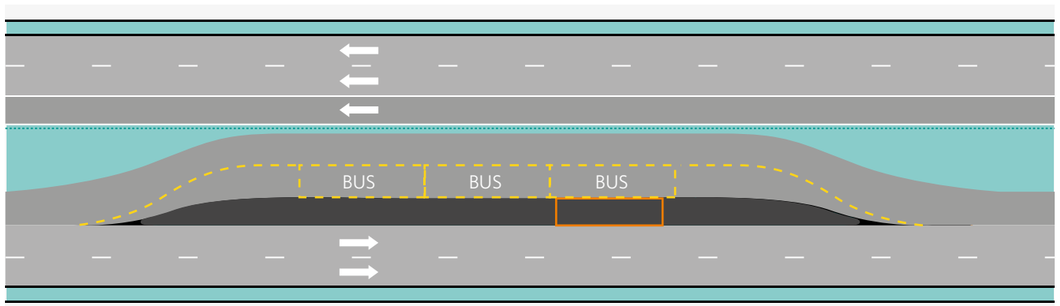
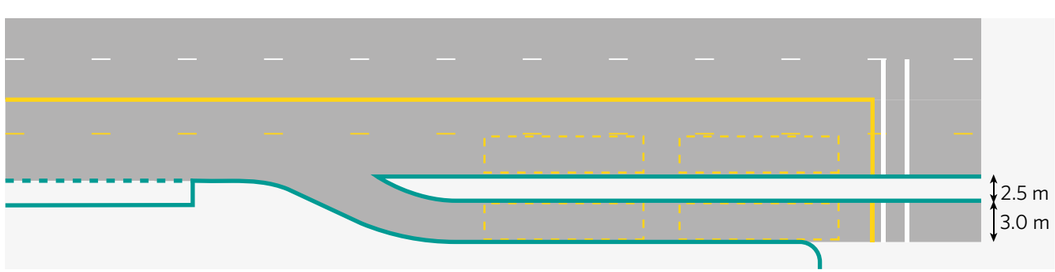


Figura 5.22: Paraderos en paralelo con isla de embarque (MIDEPLAN, 1998)



Embarcaderos en ángulo. Los vehículos estacionados en el acceso al paradero a menudo llevan a que los buses paren en ángulo, con la parte delantera cerca de la acera. La provisión de una "cuña" en ángulo puede mejorar el acceso y permitir al bus parar junto a la acera. Se ha encontrado que es particularmente adecuado en paraderos cercanos a intersecciones donde la calle se ensancha naturalmente al llegar a la línea de detención. Está limitado por la alineación, anchos de pista y forma de la aproximación y salida. El diseño debe permitir que los vehículos que adelanten a un bus detenido no invadan el carril de contrario. La Figura 5.20 exhibe las características dadas por TfL (2006) para buses de 12 y 18 metros. Notar que el diseño se debe invertir donde se maneje por la derecha.

Paraderos en islas. Cuando se desee velocidades comerciales de 25 a 28 km/h, se necesita una segregación completa del paradero del resto del tráfico. La Figura 5.21 presenta la infraestructura necesaria para ello: un corredor segregado central para buses o BRT. En este caso los paraderos están en islas y tienen una pista de adelantamiento. Infraestructuras de este tipo requiere un ancho de faja mínimo de 22 m, si las calzadas para el resto del tráfico son calles de servicio de 4,5 m de ancho. Sin embargo, si se reservan dos pistas para el resto del flujo, el mínimo ancho de faja es de 25 m.

Otro ejemplo de paraderos en islas es el que se ofrece en la figura 5.22. Se trata de un paradero dividido en disposición paralela, en que uno de los subparaderos está ubicado en una isla de 2,50 metros de ancho mínimo (MIDEPLAN, 1998).

También se puede usar esta disposición cuando el viraje a la derecha del resto del tráfico entra en conflicto con un paradero ubicado en la línea de detención: se elimina el paradero junto a la acera y esa pista se transforma en exclusiva de viraje a la derecha.

5.5 REFERENCIAS

Aguirre, F.J. (2014). Aplicaciones para el diseño de prioridades al transporte público basadas en planillas de cálculo. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial, Universidad de los Andes, Santiago.

Cade-Idepe (1988). Estudio de investigación de metodología de análisis y seguimiento de transporte público. Informe Final, Intendencia Región Metropolitana, Secretaría Regional de Planificación y Coordinación, Comisión de Transporte Urbano, Santiago.

Cohen, S. (1994) Indicateurs d'allure et de consommation d'un autobús en expliotation. Recherche Transports Sécuritè, Janvier 1994, 16-22.

EBTU (1982) Tratamento preferencial ao transporte coletivo por ônibus. Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos, Ministerio dos Transportes, Brasilia.

Fernández, R. (1996) Análisis Ex-post de la Operación de la Vía Exclusiva para Buses de Avenida Grecia. Informe Final Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte, Secretaría Ejecutiva, Santiago.

Fernández, R. y M. Salamanca (1999) Aspectos de diseño de paraderos de alto estándar. Actas del IX Congreso Chile de Ingeniería de Transporte, Santiago, 274-286.

Fernández, R. (2001) Modelling bus stop interactions. PhD Thesis, University of London (Unpublished).

Fernández, R. (2004). Design issues on high-standard bus stops. ITE Journal 74(2).

Fernández, R. (2007). PASSION 5.0: A microscopic simulator of multiple-berth bus stops. Traffic Engineering and Control 48(7), 324-328.

Fernández, R. (2011). Elementos de la teoría del tráfico vehicular. Fondo Editorial, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Fernández, R. and Planzer, R. (2002) On the capacity of bus transit systems. Transport Reviews 22(3), 267-293.

Fernández, R. y M. Salamanca (1999) Aspectos de diseño de paraderos de alto estándar. Actas del IX Congreso Chile de Ingeniería de Transporte, Santiago, 274-286.

Gibson, J. y R. Fernández (1995) Recomendaciones para el diseño de paraderos de buses de alta capacidad. Apuntes de Ingeniería 18(1), 35-50.

Gibson, J., I. Baeza and L.G. Willumsen (1989) Bus stops, congestion and congested bus stops. Traffic Engineering and Control 30(6), 291-196.

IHT (1997) Transport in the urban environment. The Institution of Highway and Transportation, UK.

London Transport (1996). Guidelines for the design of bus bays and bus stops to accommodate the European standard (12 metre) length bus. The London Bus Priority Network Steering Group, London.

MDS (2014). Precios Sociales Vigentes 2014. División de Evaluación Social de Inversiones Subsecretaría de Evaluación Social, Ministerio de Desarrollo Social, Santiago.

MIDEPLAN (1998). REDEVU – Recomendaciones para el diseño del espacio vial urbano. Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte, Ministerio de Planificación y Cooperación, Santiago

SECTRA (1982). Manual de diseño y evaluación social de proyectos de vialidad urbana. Secretaría Ejecutiva, Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte, Santiago.

TfL (2006). Accessible bus stop design guidance. Bus Priority Team, Technical Advice Note BP1/06, Transport for London, London.

TRB (1996). Guidelines for the Location and Design of Bus Stops. TRCP Report 19. Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, D.C.

TRB (2000). Highway Capacity Manual. Special Report 209, Transportation Research Board, Washington, D.C.

Tyler, N.A. (2002). Accessibility and the bus system: from concept to practice. Thomas Telford, London. (http://books.google.cl/books/about/Accessibility_and_the_Bus_System.html?id=-0BcXtwdfBsC&redir_esc=y)

Vuchic, V.R. (2005). Urban Transit. Operations, Planning and Economics. Wiley, New Jersey.

Vuchic, V.R. (2007). Urban Transit. Systems and Technology. Wiley, New Jersey.

WMATA (2009). Guidelines for the Design and Placement of Transit Stops. Washington Metropolitan Area Transit Authority, Bethesda.

ANEXOS

EJEMPLOS DE PRIORIDADES A BUSES

A continuación, se muestran ejemplos de prioridad a buses basados en BRT de Latinoamérica y el resto del mundo.

Tabla A.1: *Principales sistemas de prioridad a buses en Latinoamérica*

LUGAR	DETALLE TÉCNICO	OBSERVACIÓN
Transantiago, Santiago de Chile (DTPM, 2013)	**Demanda:** 3.327.495 pasajeros/día buses 2.268.180 pasajeros/día metro **Longitud:** 218 km de vías con prioridad a buses 2.770 km red buses 104 km metro **Estaciones:** 11.271 paradas de buses 108 de metro **N° líneas:** s.f. **N° buses:** 6.298	Comenzó a operar el 10 de febrero de 2007. La creación de vías con prioridad y la instalación de 234 cámaras de fiscalización ha mejorado la velocidad de los buses de 15 km/h a 25 km/h. Existe un plan de expansión de infraestructura en prioridad a buses. En especial en tramos y paraderos.
Red Integrada Transporte (RIT), Curitiba, Brasil (URBS, 2013)	**Demanda:** 2.225.000 pasajeros/día **Longitud:** 81 km de vías con prioridad a buses **Estaciones:** 351 tubulares **N° líneas:** 359 **N° buses:** 2.275 (articulados y alimentadores)	Es la segunda ciudad del mundo en implementar sistema BRT (año 1974). Actualmente es utilizado por el 80% de la población. Ha incorporado innovación en estaciones tubulares que permiten dar accesibilidad. Los buses articulados poseen 24m de largo y 5 puertas cada uno.

LUGAR	DETALLE TÉCNICO	OBSERVACIÓN
Transmilenio, Bogotá, Colombia (Transmilenio, 2013)	**Demanda:** 2.154.961 pasajeros/día **Longitud:** 109,3 km Troncales 936 km Alimentadores **Estaciones:** 146 troncales 135 alimentadores 8 intermedias **Nº líneas:** 12 troncales 105 alimentadores **Nº buses:** 4825 troncales 666 alimentadores.	Comenzó a operar el 4 de diciembre de 2000. Su diseño está basado en Curitiba. En hora punta alcanza una velocidad comercial entre 16 y 30 km/h y una demanda de 37,700 pasajeros por hora. El costo de infraestructura fue de 5,3 millones de dólares por kilómetro para la etapa 1 y 13,3 millones de dólares por kilómetro para la etapa 2.

Tabla A.2: *Otros sistemas de prioridad a buses en Latinoamérica*

LUGAR	DETALLE TÉCNICO	OBSERVACIÓN
Metrobus, Ciudad de México (Metrobús, 2013)	**Demanda:** 900.000 pasajeros/día **Longitud:** 105 km de corredores **Estaciones:** 157 **Nº líneas:** 5 **Nº buses:** 399	Comenzó a operar el 19 de junio de 2005. Durante el 2013, 17% de los usuarios se cambió del auto al sistema Metrobús. En hora punta alcanza una velocidad comercial de 18 km/h y una demanda de 7,550 pasajeros por hora. Hay buses de 12, 18 y 25 m.
Metropolitano, Lima, Perú (Metropolitano, 2013)	**Demanda:** 600.000 pasajeros/día **Longitud:** 26 km de vías con prioridad a buses **Estaciones:** 38 **Nº líneas:** 9 corredores **Nº buses:** 522 (articulados y alimentadores)	ENATRU (Empresa NAcional del TRansporte Urbano del Perú) fue el primer BRT del mundo (1966-1992). Metropolitano comenzó a operar el 28 de julio de 2010. COSAC I es el primer corredor, el cual conecta 18 distritos de la ciudad de Lima con buses a gas natural. En hora punta alcanza una velocidad comercial de 25 km/h y una demanda de 13,950 pasajeros por hora. El costo de infraestructura fue de 9,67 millones de dólares por km.

LUGAR	DETALLE TÉCNICO	OBSERVACIÓN
Metrobus, Buenos Aires, Argentina (Metrobus, 2014)	**Demanda:** 600.000 pasajeros/día **Longitud:** 39 km de vías con prioridad a buses **Estaciones:** 75 **Nº líneas:** 3 **Nº buses:** s.f.	El Metrobus 9 de Julio, de 3,5 km de extensión y 200.000 pasajeros/día, ahorra 40 minutos de tiempo a todos los usuarios por días. A su vez este corredor tiene un impacto positivo sobre el medio ambiente urbano, mejora sensiblemente la movilidad en el área central de la ciudad y contribuye a reducir la polución sonora y atmosférica.
Trolebús y Ecovía, Quito, Ecuador (EPMTPQ, 2011)	**Demanda:** 250.000 pasajeros/día Trolebus 160.000 pasajeros/día Ecovía **Longitud:** 24 km Trolebus y 30 km Ecovía de vías con prioridad a buses. **Estaciones:** 41 Trolebus 39 Ecovía **Nº líneas:** 1 troncal divida en 6 circuitos (Trolebus) y 3 (Ecovía). **Nº buses:** 522 (articulados y alimentadores)	Trolebús comenzó el 17 de diciembre de 1995, luego se sumó Ecovía que incorpora 3 corredores. Actualmente la empresa EPMTPQ administra 4 corredores de la ciudad: Central Norte, Nor-Oriental y Sur Oriental (Ecovía) y el corredor Trolebús. Estos sistemas buscan reducir en 50% el tiempo de traslado diario. En hora punta alcanza una demanda de 6,000 pasajeros por hora.

Tabla A.3: *Principales sistemas de prioridad a buses en el resto del mundo*

LUGAR	DETALLE TÉCNICO	OBSERVACIÓN
London (Hodges, 2007; TfL, 2014)	**Demanda:** más de 6 millones de pasajeros/día **Longitud:** alrededor de 860 km de vías con prioridad a buses. **Estaciones:** 19.000 (incluyendo paraderos) **Nº líneas:** más de 700 (incluyendo 52 rutas nocturnas).	Desde la década de los 70 que las autoridades de Londres vienen implementando prioridades a buses. Actualmente toda su flota (8.000 buses) se encuentran equipados con tecnología de GPS, mapeo de ruta, entre otros elementos vinculados a un sistema centralizado de monitoreo conocido como Automatic Vehicle Location (AVL) que funciona en red.

LUGAR	DETALLE TÉCNICO	OBSERVACIÓN
BRT, Guangzhou, China (China BRT, 2011)	**Demanda:** 843.000 pasajeros/día **Longitud:** 22,5 km de vías con prioridad a buses **Estaciones:** 26 **Nº líneas:** 1	Comenzó a operar el 10 de febrero 2010. En hora punta alcanza una velocidad comercial entre 17 y 19 km/h y una demanda de 27,400 pasajeros por hora. El sistema BRT tiene una cobertura de 273 km. El costo de infraestructura fue de 4,4 millones de dólares por kilómetro. El 2011 ganó el premio 2011 Sustainable Transport Award; multiple national & international awards.
BRT, Estambul, Turquía (Estambul BRT, 2009)	**Demanda:** 600.000 pasajeros/día **Longitud:** 41,5 km de vías con prioridad a buses **Estaciones:** 34 **Nº líneas:** 3	Comenzó a funcionar en el año 2007. En hora punta alcanza una velocidad comercial de 35 km/h y una demanda de 18,900 pasajeros por hora. Con las nuevas fases de construcción la cobertura aumentará a 51,7 km. El costo de infraestructura y equipamiento fue de 8,8 millones de dólares por kilómetro.
BRT, Amsterdam, Holanda (Amsterdam BRT, 2005)	**Demanda:** 125.000 pasajeros/día **Longitud:** 44,5 km de vías con prioridad a buses **Estaciones:** 33 **Nº líneas:** 1	Comenzó a operar el 13 de enero de 2002. En hora punta alcanza una velocidad comercial entre 34 km/h y una demanda de 960 pasajeros por hora. El sistema BRT tiene una cobertura de 56,7 km. Los buses son de 18 m de largo y poseen 3 puertas.
Translink, Brisbane, Australia (BRT Brisbane, 2008)	**Demanda:** 70,000 pasajeros/día **Longitud:** 27,3 km de vías con prioridad a buses **Estaciones:** 22 **Nº líneas:** 4	Comenzó a operar en el año 2001. En hora punta alcanza una velocidad comercial entre 29 km/h y una demanda de 7,700 pasajeros por hora. El sistema BRT tiene una cobertura de 28,7 km. El costo de infraestructura fue de 25,4 millones de dólares por kilómetro. Los buses son de 12 m de largo y poseen 2 puertas.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA DE TRANSPORTE

RECOMENDACIONES DE BUENAS PRÁCTICAS PARA PRIORIDADES A BUSES EN PAÍSES EN DESARROLLO

Santiago, Junio de 2022