

MODELACIÓN Y DISEÑOS TIPO PARA LA GESTIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO MENOR

Eduardo Valenzuela, Federico Casanello y Rodrigo Fernández

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile

Casilla 228-3, Santiago; Fax: (56-2) 671 8788

evalenza@cec.uchile.cl, fcasanel@cec.uchile.cl, rodferna@cec.uchile.cl

Santiago, CHILE

RESUMEN

En todas las ciudades chilenas el sistema de transporte público da cuenta de la mayoría de los viajes urbanos. Sin embargo, en muchos casos el sistema se basa en vehículos distintos a un bus tradicional (vehículos de más de 10 m de largo), ya sea por las características urbanas de estas ciudades o por la condición más informal de la oferta y demanda de transporte. Sin embargo, los métodos tradicionales de análisis y diseño del transporte público rara vez dan cuenta de esta realidad, tratando de adecuar el problema y las soluciones a la forma de modelarlo en vez de hacer lo contrario.

Este trabajo muestra una aplicación a un caso concreto, la ciudad de Santa María de Los Angeles al sur de Chile, en que se calibraron y aplicaron en conjunto herramientas de modelación de la circulación del transporte público en paraderos y semáforos (modelos IRENE, aaSIDRA y TRANSYT) para abordar un problema bastante común en ciudades de tamaño medio en Chile, pero que no había sido atacado sistemáticamente con anterioridad: diseños para sistemas de transporte público basados en vehículos menores.

En la ciudad de Los Angeles, de 110 mil habitantes, tiene gran importancia el sistema de transporte público, el cual, al igual que todas las ciudades de tamaño medio chilenas, está formado mayoritariamente por taxis colectivos y, en menor medida taxibuses. Según un estudio previo de diagnóstico (SECTRA, 1998), ambos modos cubren el 68% de los viajes del área céntrica de la ciudad, lo que equivale a unos 65.000 viajes diarios. La flota de taxis colectivos es de unos 770 vehículos y opera en períodos punta con frecuencias de servicio entre 1 y 5 minutos y tasas de ocupación cercanas a 2 pasajeros por vehículo. Los taxibuses, son más de 100 vehículos, con frecuencias de servicio que fluctúan entre 3 y 10 minutos y tasas de ocupación del orden de 15 pasajeros por vehículo en períodos punta.

Como resultado de este estudio, se llegó a proponer soluciones de gestión de tráfico novedosas y consistentes tanto con las características urbanas de ciudades pequeñas como con las necesidades de transporte e idiosincrasia de sus habitantes. Se estima que las conclusiones de este trabajo pueden ser extendidas a sistemas basados en otros tipos de vehículos de transporte público menor, como furgones o minibuses, comunes en países en desarrollo.

1. METODOLOGIA DE ANÁLISIS

La metodología de análisis constó de cuatro etapas, que se describen a continuación. Primero, el uso de un modelo analítico que describe la circulación del transporte público con fines de diagnóstico. Segundo, la medición de las variables en terreno para aplicar dicho modelo. Luego, de las mediciones se concluye el diagnóstico y se proponen las medidas que aparecen como promisorias. Con posterioridad, las propuestas son modeladas con software *ad-hoc*, evaluadas en su eficiencia, y diseñadas.

1.1. Modelo de circulación del transporte público utilizado

Desde la perspectiva de la circulación del transporte público, un modelo analítico ayuda a entender el problema (EBTU, 1982; CADE, 1988). Este modelo se basa en la velocidad comercial como uno de los índices de calidad de servicio del transporte público. La velocidad comercial del transporte público en un tramo corresponde a la velocidad media de viaje entre un paradero origen y otro destino, incluyendo todas las detenciones intermedias. De varias experiencias (Valenzuela, 1989; Gibson *et al.*, 1989; Fernández, 1996), se ha llegado a establecer que la velocidad comercial se relaciona con la frecuencia de detenciones en paraderos e intersecciones. La relación entre la velocidad comercial y el tiempo de viaje, y entre éste con las detenciones y demoras que ocurren en transporte público se puede resumir como (Fernández, 1999):

$$T_t = \frac{L}{V_c} = \frac{L}{V_r} + N_i d_i + N_p d_p \quad (1)$$

Donde:

- T_t : tiempo total de viaje en el tramo, incluida toda demora por detención (h)
- L : longitud del tramo (km)
- V_c : velocidad comercial del sistema de transporte público (km/h)
- V_r : velocidad de recorrido de los vehículos entre detenciones (km/h)
- N_i : número de intersecciones en el tramo
- d_i : demora media por vehículo en intersecciones (veh-h/veh)
- N_p : número de paraderos en el tramo
- d_p : demora media por vehículo en paraderos (veh-h/veh)

La demora en paraderos se puede descomponer en $d_p = d_o + d_c$, donde d_o es la demora sólo por transferencia de pasajeros y d_c la demora por congestión eventual en paraderos. Similarmente, cualquier demora se puede escribir como $d_k = (l_k + \delta_k) h_k$, donde h_k es la tasa media de detenciones por vehículo, l_k es una pérdida por aceleración y frenado y δ_k la demora neta en el elemento k .

Para un corredor dado, tanto L como N_i se pueden considerar fijos. Por lo tanto, la Ecuación 1 sirve para determinar sobre cuál de las variables actuar y cómo. Es decir, permite definir los problemas y orientar las acciones de gestión de tránsito al transporte público.

1.2. Medición de variables en terreno

El modelo de circulación descrito en la sección anterior requiere, para el diagnóstico, medir las variables: flujos de transporte público y autos; velocidades comerciales y de recorrido; número, causa y duración de las detenciones; y movimiento de pasajeros que sube y baja por paradero.

La metodología para recopilar la información de operación de los vehículos de transporte público consideró el seguimiento vehicular y el registro de los eventos. Los eventos definidos fueron: cruce por intersección, detención por movimiento de pasajeros (subidas o bajadas), detención por congestión de tráfico (colas de vehículos), detención por semáforo o señal, inicio de marcha, otro evento. La selección del vehículo a seguir fue aleatoria, eliminado del registro aquellos casos en que el vehículo seguido modificaba su ruta (debido a falta de pasajeros) o modificaba su comportamiento. El seguimiento vehicular comenzaba al inicio del corredor con transporte público bajo análisis y finalizaba cuando el vehículo seguido salía de él. Se realizaron 10 seguimientos para cada uno de los corredores 5 y 2 períodos de análisis (punta mañana y punta tarde).

Se utilizaron tres observadores y un conductor. El primer observador registraba los eventos en un formulario e identificaba el evento, el segundo observador informaba la hora en cada evento, el tercer observador contabilizaba los pasajeros que subían o bajaban en cada detención por pasajeros e indicaba el cruce de cada calle y la velocidad de recorrido.

La Tabla 1.1 resume los resultados para cada corredor y período. El análisis de la información se detalla a continuación. p_{sb} es el promedio de pasajeros que sube y/o baja en cada detención y β_{sb} el tiempo marginal de transferencia de pasajeros (tiempo detenido para transferir un pasajero, incluyendo tiempo muerto).

Tabla 1.1: Variables de circulación transporte público en Los Angeles, Chile.

Punta Mañana										
Corredor	L	V_r	N_i	d_i	N_p	d_o	d_c	V_c	p_{sb}	β_{sb}
	(m)	(km/h)	()	(s)	()	(s)	(s)	(km/h)	(pax/det)	(s/pax)
Almagro	1.600	35,50	10	12,60	14	11,20	-	12,90	1,10	12,25
Mendoza	1.000	41,30	6	13,30	3	15,00	13,00	14,40	1,30	10,17
Tucapel	350	28,00	4	7,80	4	16,30	2,00	8,40	1,00	16,25
Valdivia	1.600	41,50	8	13,80	10	13,50	15,00	10,80	1,30	11,62
Villagrán	1.600	39,30	5	13,10	9	12,20	-	17,90	1,10	8,22
Punta Tarde										
Almagro	1.600	37,10	10	16,30	9	16,40	16,40	9,40	1,30	13,61
Mendoza	1.000	37,60	6	13,60	8	20,40	6,00	9,30	2,00	16,97
Tucapel	350	25,00	4	13,20	4	17,30	13,50	5,60	1,80	14,88
Valdivia	1.600	36,80	8	13,70	9	14,40	15,30	10,80	1,90	9,05
Villagrán	1.600	36,30	5	15,20	2	16,00	21,00	18,60	1,50	34,75

Fuente: DIT (2000)

1.3. Diagnóstico y proposición de medidas

La selección de medidas se rigió por los siguientes criterios de diseño de prioridades al transporte público extraídos de un artículo presentado anteriormente (Fernández, 1999). Allí se establece que si la demanda de pasajeros en baja, la demora d_o será reducida y d_c inexistente. En tal caso, para reducir los tiempos de viaje, se puede aumentar V_r y disminuir d_i (ya que L y N_i son fijos). Esto significa opciones como proteger al transporte público de los autos (pistas sólo bus, vías segregadas, etc.) y darle prioridad en intersecciones (reprogramar semáforos, semáforos actuados por el transporte público, facilidades en los virajes, etc.). Conforme la demanda de pasajeros aumenta, d_c seguirá tendiendo a cero, pero d_o se hace significativa. En tal caso, comienza a influir en el tiempo de viaje y habrá que reducirla mediante medidas como cambios en el sistema de cobro de la tarifa (fuera del vehículo, pases estacionales, etc.) y mejoras en el diseño de los vehículos (altura, espacio interior, ancho y uso de puertas). Si la demanda de pasajeros sigue aumentando, pueden aparecer demoras por congestión en paraderos d_c . En tal situación, se debe actuar sobre éstas y N_p . Para esto sirven optimizar el espaciamiento y localización de paraderos (paraderos formales) y mejorar su diseño (definir áreas de parada, andenes, ubicación de refugios y manejo de la capacidad).

El valor de las variables de la Ecuación 1 para cada una de las prioridades se resumen en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2: Criterios generales para prioridades al transporte público

Var	Tipo de Prioridad		
	Arcos o tramos de vía	Intersecciones	Paraderos
V_c	menor que 20 km/h		
V_r	menor que 30 a 35 km/h	—	—
d_k	—	mayor $\frac{1}{4}$ ciclo semáforo	mayor a 1 min/veh
h_k	—	mayor a 1 det/veh	mayor a 1 det/veh
L_{qk}	—	llega al paradero	mayor 0.5 veh

Fuente: Fernández (1999)

De acuerdo a Tabla 1.1, la demanda por pasajeros es, en promedio para el período punta mañana, de 1.16 pax/det para todos los corredores y en la tarde de 1.70 pax/det. Adicionalmente, la duración de las detenciones por movimiento de pasajeros supera los 11 segundos en todos los corredores y en ambos períodos, llegando a más de 20 segundos en un caso. En términos porcentuales, del tiempo total de viaje (equivalente al inverso de la velocidad comercial) un 41% es dedicado a movimiento de pasajeros y congestión en paraderos en la punta mañana y un 46% en punta tarde. En consecuencia, la influencia del movimiento de pasajeros en paraderos, es relevante.

Respecto de los términos relativos a movimiento y demora en intersecciones de la Ecuación 1, si bien su influencia en menor dentro del tiempo total de viaje, no deja de ser relevante. En el caso del tiempo detenido debido a intersecciones (programación de semáforos), un 23 a 24% del tiempo se encuentra destinado a este evento.

En resumen, un 65% del tiempo total de viaje para la punta mañana y un 69% para la tarde se encuentra asociado a detenciones por movimiento de pasajeros y por programación de semáforos, dejando el tiempo restante (35% punta mañana y 31% punta tarde) destinado a la circulación propiamente tal.

En consecuencia, por los criterios de la Tabla 1.2 las medidas de prioridad al transporte público en este caso deben orientarse a mejorar las operaciones en paraderos y en semáforos, en ese orden de prioridad.

2. MODELACION, DISEÑO Y EVALUACIÓN DE SOLUCIONES

Dada la complejidad del problema analizado, el uso de herramientas adecuadas de simulación permitió obtener información necesaria para estimar indicadores de rendimiento de diferentes combinaciones alternativas. A continuación se detallan las etapas para obtener los diseños físicos y operacionales propuestos.

2.1. Modelación

Como herramientas de modelación de los diseños se utilizaron el modelo IRENE 4.2 (Gibson *et al*, 1989) para simular la operación de paraderos de transporte público, TRANSYT 8S para simular y optimizar redes semaforizadas y aaSIDRA 1.0.2 para modelar intersecciones aisladas.

La modelación consistió primero en verificar la capacidad de los paraderos. Para ello, se modeló un paradero formal de taxibus, con andén segregado de las zonas de paso peatonal, con dos sitios para detención, en donde se permite salir por la pista adyacente sin obstrucción, con detención única próxima a la salida, sin congestión en andén y donde todos los taxibuses deben pasar por el área de parada. Este paradero, alcanza una capacidad nominal de 170 veh/h, para una demanda de 4 pax/veh.

Para el caso de los taxis colectivos, fue necesario efectuar modificaciones a algunos parámetros del modelo IRENE, actividad que se detalla en sección siguiente. Así, se modeló con IRENE un paradero formal de taxis colectivos, con andén segregado de las zonas de paso peatonal, con cuatro sitios para detención, en donde no se permite adelantar, con detención única próxima a la salida, sin congestión en andén y donde todos los taxis colectivos deben pasar por el área de parada. Los resultados indican que la capacidad nominal de un paradero de estas características alcanza los 250 veh/h, considerando una demanda por subir y bajar de 4 pax/veh.

El modelo aaSIDRA fue utilizado con dos objetivos específicos: calibrar los parámetros del modelo lineal de capacidad de intersecciones prioritarias que asume TRANSYT, y determinar una relación que ligue al flujo de saturación de las líneas de parada con la existencia de estacionamientos en la calzada y con la detención de transporte público.

La modelación TRANSYT consideró distintas opciones dependiendo si se trataba de la modelación de la situación base o de la situación con proyecto. Optimizada la red de la situación

base, se procedió a confeccionar la red de la situación con proyecto. Los cambios en los parámetros de modelación para la situación con proyecto, consideraron:

- Modificar el tiempo detenido en paraderos, de acuerdo a la modelación con IRENE.
- Mantener la velocidad de circulación de los vehículos privados (supuesto conservador, ya que debiera aumentar por eliminación de estacionamientos).
- Mantener las velocidades del transporte público, dado que éstas corresponden a tiempos en movimiento sin considerar detenciones
- Modificar el flujo de saturación de las líneas de detención de los arcos en donde se implementaría el diseño de facilidades propuesto.

2.1. Modificación parámetros modelo tiempo detenido de IRENE

A partir de una conceptualización formal del funcionamiento de un paradero, IRENE incorpora un modelo para estimar su capacidad, la cual depende de numerosos factores relacionados con la demanda de pasajeros, el diseño del paradero y su modalidad de operación (Gibson *et al.*, 1989). Suponiendo un paradero aislado (no afectado por intersecciones próximas), con un solo andén y disciplina FIFO de entrada, la capacidad Q_E (buses/h) está dada por:

$$Q_E = \frac{3600}{S + \frac{t_b}{n}} \quad (2)$$

Donde:

- S : flujo de saturación de la pista ocupada por el área de parada (bus/h)
 t_b : duración media del período en que el último sitio está ocupado (s)
 n : número medio de buses que pueden entrar al paradero en períodos de desbloqueo

Para determinar t_b es necesario conocer la duración de cada período no bloqueado, el cual depende entre otros fenómenos, del tiempo detenido por pasajeros. Para el caso del transporte público mayor (buses y taxibuses), una forma sencilla de especificar un modelo descriptivo del tiempo detenido por operaciones de subida y/o bajada de pasajeros (t_p), consiste en suponer que dicho tiempo depende del número de pasajeros que suben (p_{si}) y bajan (p_{bi}) por la puerta i -ésima del vehículo. Luego, la duración de la parada se calcula como el máximo, entre puertas, del tiempo requerido para que los pasajeros suban y bajen. Además, se debe incluir un tiempo muerto.

$$t_p = \beta_0 + \max_i \{ \beta_1 \cdot p_{si} + \beta_2 \cdot p_{bi} \} \quad (3)$$

Los valores de p_{si} y p_{bi} dependen del número y función de las puertas. Pero, la función de las mismas, si hay más de una, es influida por el sistema de cobro del pasaje y el diseño de la circulación dentro del bus. Los parámetros β_0 , β_1 , β_2 condensan el efecto de múltiples características de diseño de los vehículos (ancho de la puerta, altura y número de peldaños, etc.), modalidades de operación del paradero, sistema de cobro, hábitos del conductor y diseño físico del paradero (Valenzuela y Baeza, 1991).

Para el caso de taxis colectivos, el uso de puertas permite adoptar un modelo del estilo de ecuación 4 asumiendo que el tiempo detenido del vehículo es producto de eventos secuenciales.

$$t_p = \beta_0 + \beta_1 \cdot p_s + \beta_2 \cdot p_h \quad (4)$$

Nuevamente, el parámetro de tiempo muerto permite recoger todas aquellas impedancias ajenas al fenómeno de subir o bajar del vehículo propiamente tal, es decir; distancia del vehículo hasta la ubicación del peatón que desea subir, duración de apertura (o cierre) de puertas y acomodo de pasajeros dentro del vehículo, entre otros.

Como no existe diversidad de diseños de vehículos para taxis colectivos (en lo relativo a número de puertas, apertura de puertas, tamaño de puertas y altura del vehículo), se recopilaban antecedentes de diversos paraderos del área céntrica de Los Angeles (paraderos informales y en bahía compartida con taxibuses), mediante videograbaciones. Adicionalmente, para efectos de calibrar un modelo de tiempo detenido en paraderos en bahía, se realizaron mediciones en Santiago, en un paradero en bahía ubicado en Avda. Tobalaba al llegar a Avda. Providencia. Finalmente, para incorporar el efecto de paraderos formales con elevada demanda, se realizaron mediciones en un paradero de taxis colectivos ubicado en Avda. Vicuña Mackenna Oriente con Barcelona, en Santiago.

Para evitar cualquier factor no controlado que alterase los tiempos de parada, las observaciones válidas fueron sólo aquellas en donde, existiendo movimiento de pasajeros, el tiempo detenido del vehículo **no se vio alterado** por la gestión de la intersección aguas abajo o por la congestión propia del paradero.

Finalmente, con los antecedentes recopilados se confeccionó una base de datos que contiene el número de pasajeros que sube y baja (diferenciado por puerta) en cada detención y la duración de ésta, para cada paradero. La Tabla 2.1 presenta el promedio del tiempo detenido por transferencia de pasajeros (subir y bajar) y la desviación estándar asociada. Interesante es destacar que los paraderos de taxis colectivos en bahía exclusiva son los que presentan mejores rendimientos, en términos de demora total por pasajero transferido, lo siguen los paraderos formales (paradero en donde se forma cola para la espera del taxi colectivo y en donde existe un acomodador), los paraderos en bahía compartida y por último, los paraderos informales.

Tabla 2.1: Promedio del tiempo detenido para transferir pasajeros (s/pax)

Paradero	Promedio	Desviación	Observaciones
Bahía	4,6	1,3	27
Formal	5,3	1,0	42
Bahía Compartida	6,9	2,2	30
Informal	7,2	2,9	27

Fuente: Elaboración Propia

Es interesante descubrir que la variabilidad de estos indicadores es baja para los paraderos en bahía exclusiva y formales, no así en los paraderos informales y en bahía compartida. Este comportamiento se debe principalmente a que las bahías compartidas no poseen un sitio especificado para la detención de los vehículos, al igual que los paraderos informales. Por el contrario, los paraderos en bahía exclusiva y paraderos formales, funcionan mediante la formación de colas en espera de tomar el taxi colectivo.

Para efectos de calibrar un modelo representativo, se intentaron diversas combinaciones en función de las subidas o bajadas por puerta delantera, trasera izquierda y trasera derecha, concluyéndose que el modelo que presentó mejores resultados es aquel que no diferencia puerta en el movimiento de pasajeros. Los resultados se detallan a continuación.

Tabla 2.2: Parámetros modelo tiempo detenido para taxis colectivos ($r^2=0,82$)

Parámetro	Media	Estadístico-t
β_0	4,94	8,35
β'_0 : muda activa si paradero formal o en bahía exclusiva	3,21	2,65
β_1	3,46	9,23
β'_1 : muda activa si paradero en bahía exclusiva	-0,67	-2,82
β_2	1,97	5,24
β'_2 : muda activa si paradero en bahía exclusiva	-1,14	-1,62 ¹

¹: Significativa al 90%

Fuente: Elaboración Propia

Interesante es destacar que el parámetro de tiempo muerto efectivamente recoge impedancias ajenas al fenómeno de subir o bajar del vehículo, presentando mayores tiempos muertos los paraderos formales y los paraderos en bahías exclusivas. Adicionalmente, estos últimos son los que presentan mejores rendimientos en términos de pasajeros transferido.

El valor del tiempo muerto es bastante superior al encontrado para buses (Valenzuela y Baeza, 1991), el cual fluctúa en los 1,17 segundos. Respecto del tiempo marginal de subida y bajada los valores calibrados son superiores a los encontrados para buses (3,48 s y 1,44 s, respectivamente), pero muy similares en magnitud. Estos resultados son consecuentes con la modalidad de operación de puertas y diseño de los vehículos.

Aplicando la misma metodología que para el caso de los paraderos de taxibuses, con la nueva función del tiempo de demora ya calibrada, se modeló con IRENE un paradero formal, con andén segregado de las zonas de paso peatonal, con cuatro sitios para detención, en donde no se permite adelantar por la izquierda, con detención única próxima a la salida, sin congestión en andén y donde todos los taxis colectivos deben pasar por el área de parada. Los resultados indicaron que la capacidad nominal del paradero alcanza del orden de 250 veh/h, considerando puertas no especializadas y una demanda por subir (p_s) y bajar (p_b) de 4 pas/veh.

Adicionalmente, se verificó que el grado de saturación práctico de los paraderos de taxis colectivos mantuviera el valor encontrado para el transporte público mayor (ver Gibson y Fernández, 1995) el cual alcanza a 60%. Para ello, se efectuaron sendas simulaciones del modelo IRENE, con los nuevos parámetros calibrados, asumiendo $p_s=p_b=4$ pax/veh y 4 sitios. Los resultados muestran que para grados de saturación inferiores o del orden del 60%, la demora total promedio por vehículo que pasa por el paradero es adecuada, no presentándose signos de saturación. En consecuencia, el dispositivo vial puede alcanzar una capacidad práctica del orden de los 150 veh/h. Para flujos superiores, las demoras y longitud de cola promedio comienzan a ser relevantes.

2.3. Diseño y modelación

Los diseños de las facilidades al transporte público contemplaron tres arreglos alternativos de paraderos de transporte público, dependiendo del espacio físico en cada cuadra. Los arreglos alternativos se detallan en Figuras 2.1 a 2.3.

La Figura 2.1 considera tres paraderos: dos de taxis colectivos y uno de taxibuses. El primer paradero de taxis colectivos se ubica al costado izquierdo de la calzada con 4 cupos y segregación física. El segundo paradero de taxis colectivos se ubica al costado derecho de la calzada, 20 m antes de la línea de detención de la cuadra. También posee segregación física de la vía de circulación, la cual se materializa mediante un andén para los pasajeros de taxibuses. Incorpora un refugio inmediatamente después del paradero de taxis colectivos, con la finalidad de incentivar a los pasajeros a esperar en dicho sector, evitando así congestionar la vereda de paso. El tercer paradero corresponde al de taxibuses, con dos cupos, ubicado frente al andén referido.

La Figura 2.2 contempla sólo el segundo paradero de taxis colectivos en bahía segregada, ubicado antes de la línea de detención de la cuadra.

La Figura 2.3 contiene sólo el paradero de taxibuses no segregado, en la pista derecha. Su ubicación es, idealmente, al medio de la cuadra y como mínimo a 20 m de la línea de detención aguas abajo. Se considera un refugio (techo) en el propio andén - vereda, con la finalidad de incentivar a los peatones a esperar en dicho sector. Adicionalmente, se instalan vallas peatonales a lo largo de toda la cuadra en el costado derecho para evitar detenciones múltiples de los taxibuses.

2.4. Evaluación

Como resultado de la modelación se concluyó que los distintos arreglos de paraderos propuestos, unido a la optimización de la red de semáforos, permitían dar cabida a todos los vehículos de transporte público que querían utilizar el sector céntrico de la ciudad de Los Angeles. De esta forma, se ordena la caótica situación actual del tránsito en el centro de la ciudad.

La evaluación social de la solución planteada, de acuerdo a la metodología tradicional (SECTU, 1988), indica que para un monto de inversión del orden de los US\$ 700.000, la tasa interna de retorno a 5 años alcanza al 32%, con una relación beneficio – costo del 1.67.

3. CONCLUSIONES

Interesante es destacar que los paraderos que presentan mayores tiempos muertos son los paraderos formales y los paraderos en bahías exclusivas. Sin embargo, debido a su forma de operación, son los que presentan mejores rendimientos por pasajero transferido. En consecuencia, las menores demoras por pasajero transferido se producen en paraderos en bahía o paraderos formales. Lo siguen los paraderos en bahía compartida con taxibuses y por último los paraderos informales.

Para mejorar los rendimientos de los paraderos en bahía compartida es necesario separar el transporte público menor del transporte público mayor, evitando que compartan el área de parada.

Respecto de los paraderos informales, es necesario incentivar una operación más ordenada, en términos de minimizar la distancia del vehículo hasta la ubicación del peatón que desea subir y maximizar el número de pasajeros que sube (baja) en cada apertura (o cierre) de puertas. Lo anterior se logra reuniendo en sectores específicos (andenes) a los pasajeros e, idealmente, incorporando un acomodador. De ésta forma, se incentiva la formación de colas en espera de tomar el taxi colectivo.

Otro resultado relevante es la verificación de que el grado de saturación práctico de los paraderos de taxis colectivos se mantiene en un 60%, para grados de saturación superiores, las demoras y longitud de cola promedio comienzan a ser relevantes, tal como sucede con los paraderos de transporte público mayor (Gibson y Fernández, 1995).

En resumen, un paradero de taxis colectivos no debiera superar los 4 sitios por grupo (o subparadero), dado que la ganancia de capacidad es marginal para un mayor número de sitios. Este diseño permitiría alcanzar capacidades prácticas del orden de los 150 veh/h-grupo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Ilustre Municipalidad de Santa María de Los Angeles por su apoyo a este estudio.

REFERENCIAS

CADE (1988) **Estudio de Investigación de Metodología de Análisis y Seguimiento de Transporte Público**. Informe Final, Secretaría Ejecutiva Comisión de Transporte Urbano, SECTU.

DIT (2000) **Optimización para el uso de vías para el transporte público en la ciudad de Los Angeles**. Informe Final, División Ingeniería de Transporte, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

EBTU (1982) **Tratamiento preferencial ao transporte coletivo por ônibus**. Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos, Ministerio dos Transportes, Brasília.

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. (1999) Medidas de Prioridad al transporte público. **Actas del IX Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte**, Santiago.

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

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

SECTU (1988) **Manual de Diseño y Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana**. Secretaría Ejecutiva Comisión de Transporte Urbano, Chile.

SECTRA (1998) **Diagnóstico del Sistema de Transporte de la ciudad de Los Angeles**. Informe Final, Secretaría Ejecutiva Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte, Chile.

Valenzuela, E. (1989) Caracterización de la circulación de buses mediante trayectorias espacio/tiempo. **Actas del VI Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte**, Valparaíso.

Valenzuela, E. y Baeza, I. (1991) Influencia del diseño de bus, paradero y modalidad de operación sobre la duración de la detención de buses en paraderos. **Actas del V Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte**. Santiago.

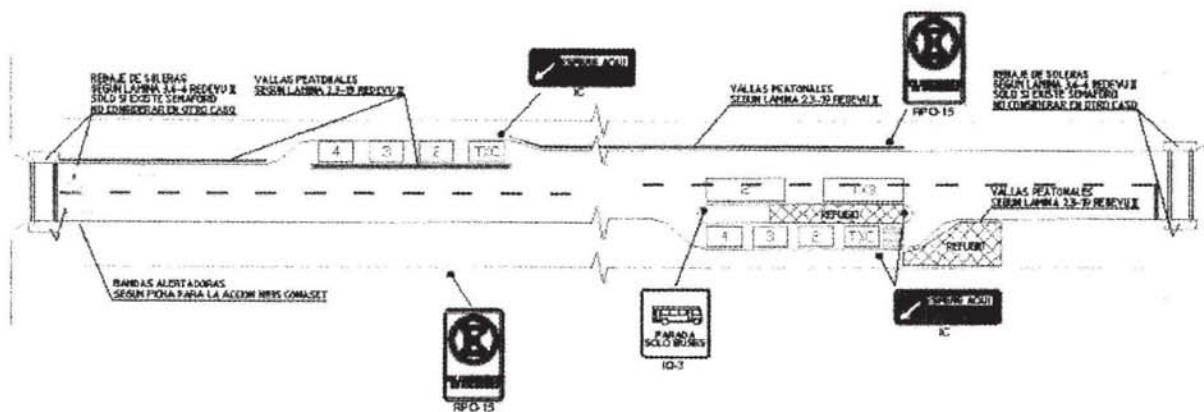


Figura 2.1: Alternativa paradero de taxis colectivos y taxibuses en la cuadra

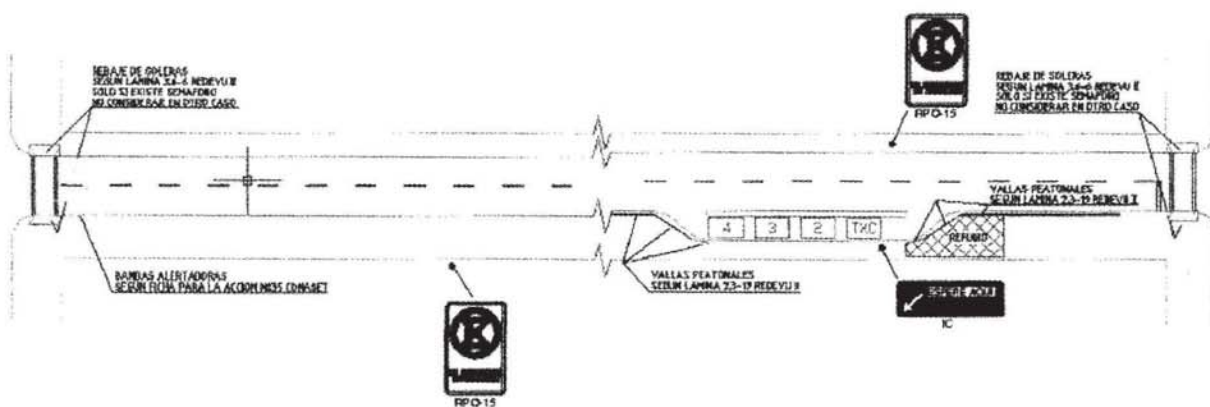


Figura 2.2: Alternativa sólo paradero taxis colectivos en la cuadra

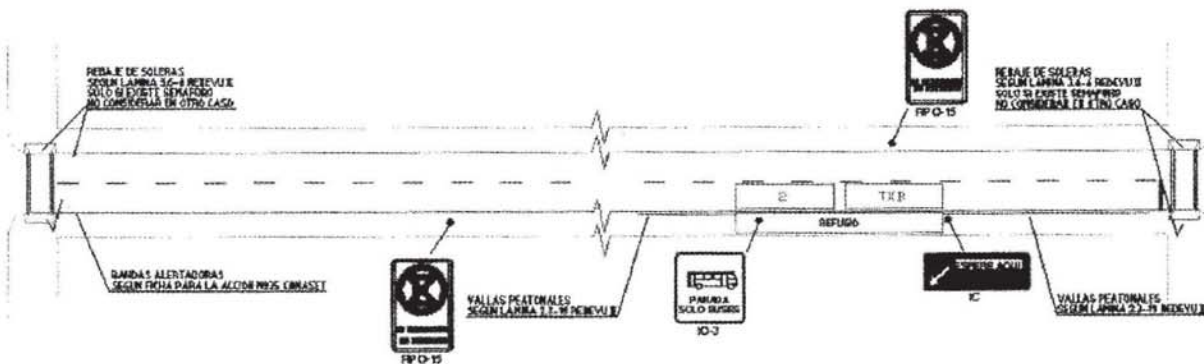


Figura 2.3: Alternativa sólo paradero taxibuses en la cuadra