

## CARACTERIZACION DE LA CIRCULACION DE BUSES POR MEDIO DE TRAYECTORIAS ESPACIO-TIEMPO

Eduardo Valenzuela \* y Jaime Gibson  
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile  
Casilla 228/3, Santiago, Chile.

### RESUMEN

Para concebir y diseñar medidas orientadas a mejorar la operación del transporte público es necesario disponer de un diagnóstico acertado. Un instrumento esencial para el diagnóstico es el perfil velocidad - tiempo (v-t) típico en el tramo en estudio. El método tradicional para obtener estos perfiles es la instrumentación del vehículo. Este trabajo presenta una alternativa, basada en el uso de microcomputadores portátiles y observadores.

La información contenida en el perfil v-t puede sintetizarse en una secuencia particular de estados del vehículo, cada uno caracterizado por una tasa de aceleración (positiva, negativa o nula) y una duración. El método propuesto consiste en observar la secuencia de estados (identificados por el signo de la aceleración) y la duración de cada uno, y estimar estadísticamente el valor de la tasa de aceleración asociada a cada estado. Las mediciones son realizadas por un observador situado en el vehículo, premunido de un microcomputador portátil. La estimación de las tasas se hace por regresión, con un sistema de ecuaciones lineales en los parámetros. Se requiere conocer la distancia recorrida en cada observación, lo que es sencillo. Además, cuando hay una detención se registra su(s) causa(s).

Con esta información se puede construir el perfil v-t y determinar la distribución del tiempo empleado por los vehículos en recorrer el tramo y la frecuencia de detenciones en él, según causa. Esto permite individualizar con bastante precisión los problemas existentes. Este trabajo presenta la fundamentación del método, algunos experimentos de validación y un sistema computacional desarrollado para su aplicación.

Se concluye que este método proporciona buenos estimadores de las características medias de circulación pero subestima su varianza.

\* Actualmente en CITRA LTDA.

## 1. INTRODUCCION

La evolución del transporte público en Santiago en la última década está marcada por un aumento notable de los conflictos inherentes a la circulación de éste, el principal medio de transporte de la población. La existencia de conflictos en la circulación influye notablemente en el consumo de recursos, tanto para el transporte público como para el privado.

Para concebir y diseñar medidas orientadas a mejorar la operación del transporte público es necesario disponer de un diagnóstico acertado. Esto es, conocer qué problemas son en cada caso los relevantes en razón de sus efectos sobre los tiempos de viaje. A veces, el principal será la congestión de tráfico en general; otras, los paraderos constituirán cuellos de botella. Es igualmente posible que otros factores, como la coordinación de semáforos o hábitos de los conductores, resulten influyentes. Según sea la situación, el tratamiento apropiado será diferente.

La información necesaria para este fin es una descripción cinemática de la trayectoria de los buses, complementada con datos sobre la causa de cada detención. La cinemática se resume usualmente en un perfil velocidad - tiempo ( $v-t$ ) que contiene: velocidad y aceleración instantáneas, duración de cada estado de aceleración y distancia recorrida. Es sencillo obtener características agregadas para un período o tramo, procesando el perfil.

El método tradicionalmente empleado para determinar perfiles  $v-t$  es instrumentar vehículos. Se sabe de experimentos de esta clase para automóviles (v.g., Joumard, 1986; Lyons et al., 1986) y buses (Cohen, 1984). En este último se agregó un observador a bordo para obtener datos adicionales sobre detenciones. La instrumentación tiene indiscutibles virtudes pero no es de bajo costo y es difícil adquirir datos para muestras grandes en un plazo corto.

El objetivo terminal de esta investigación es desarrollar un procedimiento alternativo que sin instrumentar el vehículo permita caracterizar la circulación del transporte público mediante perfiles  $v-t$ . Este se basa en una idea formulada por Gibson (1986) que conduce a perfiles simplificados, contruidos en parte con valores medidos y en parte con parámetros estimados por regresión.

El Capítulo 2 contiene la exposición del método y sus fundamentos teóricos. El Capítulo 3 presenta algunos experimentos llevados a cabo para validar el nuevo procedimiento. Los aspectos prácticos de su aplicación, incluyendo programas computacionales especialmente creados,



son tratados en el Capítulo 4. Las principales conclusiones son discutidas en el Capítulo 5.

## 2. DISEÑO DE UN METODO PARA OBTENCION DE PERFILES V-T

### 2.1 Formulación del método

Un bus está, en cada instante, en uno de los siguientes estados: acelerando, frenando, moviéndose a velocidad constante o detenido. El perfil v-t de su trayectoria es la sucesión de ellos. Si se supone que los dos primeros se hacen a tasa constante (pero no necesariamente única), cada estado puede caracterizarse univocamente por su duración y la tasa de aceleración (positiva, negativa o nula) correspondiente. Esta simplificación es fundamental para el método, como se verá.

El perfil v-t se descompone en etapas, definidas por un cambio de estado. En las condiciones supuestas, toda etapa k será en movimiento uniforme o uniformemente variado, de donde:

$$d_k = V_{k-1} T_k + a_k \frac{T_k^2}{2} \quad (1)$$

y

$$V_k = V_{k-1} + a_k T_k \quad (2)$$

donde  $d_k$  : distancia recorrida en la etapa k  
 $T_k$  : duración de la etapa k  
 $V_k$  : velocidad del vehículo al final de la etapa k  
 $a_k$  : tasa de aceleración (algebraica) durante la etapa k.

Considerando un tramo compuesto por n etapas, la distancia total recorrida es:

$$D = \sum_{k=1}^n d_k = \sum_{k=1}^n \left\{ V_{k-1} T_k + a_k \frac{T_k^2}{2} \right\} \quad (3)$$

Definiendo un conjunto enumerable de estados con una tasa de aceleración propia, como el antes mencionado, la sucesión de etapas se particiona obteniéndose:

$$D = \sum_{k=1}^n V_{k-1} T_k + \sum_i \left\{ \sum_{k \in P_i} a_i \frac{T_k^2}{2} \right\} \quad (4)$$

donde el subíndice  $i$  denota un estado particular y  $P_i$  es el conjunto de etapas pertinente dentro del tramo.

Conociendo  $D$ ,  $T_k$ , la velocidad inicial ( $V_0$ ) y la secuencia de estados en el tramo, de las ecuaciones (2) y (4) se puede generar otra cuyas únicas incógnitas son los  $a_i$  y que es lineal en estos parámetros, que pueden ser estimados por regresión.

En consecuencia, es posible determinar todas las variables que definen la cinemática del bus a partir de observaciones sencillas: tipo de estado y su duración. Los tramos pueden ser predeterminados y su longitud medida por separado. Conviene que se inicien en un punto de detención, con lo que  $V_0 = 0$ . Ahora bien, la forma explícita de la función para la regresión depende de la secuencia particular de estados que se produzca en cada tramo considerado.

Por ejemplo, para una secuencia reposo - aceleración - velocidad constante - deceleración - reposo, el conjunto de estados es  $P = \{ P_1, P_2, P_3 \}$ , donde  $P_1$  representa aceleración,  $P_2$  velocidad constante y  $P_3$  deceleración.

Entonces:

$$a_i = \begin{cases} \alpha > 0 & \text{si } i=1 \\ 0 & \text{si } i=2 \\ \beta < 0 & \text{si } i=3 \end{cases}$$

Luego, la forma que toma la ecuación (4) es:

$$D = \sum_{k=1}^3 V_{k-1} T_k + \sum_{k \in P_1} \alpha \frac{T_k^2}{2} - \sum_{k \in P_3} |\beta| \frac{T_k^2}{2} \quad (5)$$

Desarrollando, se obtiene:

$$D = V_0 T_1 + V_1 T_2 + V_2 T_3 + \alpha \frac{T_1^2}{2} + |\beta| \frac{T_3^2}{2} \quad (6)$$

Pero, por partir de reposo,  $V_0 = 0$  y de la ec. (2):

$$\begin{aligned} V_1 &= \alpha T_1 \\ V_2 &= V_1 = \alpha T_1 = |\beta| T_3 \\ V_3 &= 0. \end{aligned}$$

lo que conduce a:

$$D = \alpha T_1 \left( \frac{T_1}{2} + T_2 \right) + |\beta| \frac{T_3^2}{2} \quad (7)$$



Suponiendo que:  $T_1 = 25$  seg. (tiempo acelerando),  $T_2 = 35$  seg. (tiempo a velocidad constante) y  $T_3 = 20$  seg. (tiempo frenando), se obtiene finalmente:

$$D = 1187,5 * \alpha + 200,0 * |\beta|. \quad (8)$$

Con datos sobre diversos tramos del recorrido se llegará a un conjunto de expresiones para la ec. (8) en que los valores de los multiplicadores de  $\alpha$  y  $|\beta|$  vienen dados por la secuencia y duración de estados en cada tramo. Así se puede estimar las tasas por regresión, conociendo las longitudes D respectivas.

Determinadas las tasas, el perfil v-t se construye aplicando la ecuación (2). Es evidente que para la información requerida por este procedimiento no es necesaria la instrumentación del bus; puede ser recogida por observadores situados en el bus.

## 2.2 Definición de estados

Basados en la experiencia adquirida en terreno, el conjunto de estados factibles de diferenciar razonablemente por parte de un observador es el siguiente:

- 1.- Detención
- 2.- Aceleración desde detención
- 3.- Aceleración desde velocidad no nula
- 4.- Deceleración hasta velocidad no nula
- 5.- Deceleración hasta detención
- 6.- Circulación a velocidad aproximadamente constante.

La clasificación anterior no cubre todas las posibilidades. Es evidente que existirán variaciones positivas y/o negativas de la velocidad que no serán perceptibles para el observador pero, en líneas gruesas, la secuencia de estados reales queda adecuadamente definida por ese conjunto para fines de diagnóstico.

Por otro lado, se sabe que  $a_1 = 0$  para los estados No.1 y No.6. Quedan pues cuatro tasas (dos positivas y dos negativas) por estimar, en tanto todos estos estados ocurran efectivamente. No se requiere entonces de un gran número de observaciones para la regresión.

## 2.3 Obtención de datos sobre los estados

Los datos que se necesita registrar son: inicio y fin de tramo (e identificación, si no están prefijados), tipo de estado y duración. Cuando se trata de una detención interesa

individualizar su causa (subida/bajada de pasajeros, semáforo en rojo, congestión en paradero, etc.). Aunque en principio es posible que un observador que porta un cronómetro de doble dial y una hoja de registro obtenga la información, su confiabilidad es baja por haber frecuentes cambios de estado.

Se ha encontrado que un microcomputador portátil con reloj incorporado es ideal como instrumento. Asignando un código a cada estado, pulsar el que corresponde en cada cambio provoca una lectura del tiempo y la duración puede ser luego calculada automáticamente. Por otra parte, también se puede codificar las causas de detención y otros eventos que se quiera registrar. Este método probó dar buenos resultados siempre que el observador esté entrenado.

#### 2.4 Estimación de los parámetros

Dadas las observaciones es necesario construir las variables independientes (funciones de los  $T_k$ ) según sea la sucesión específica de estados. Hecho ésto, se procede a estimar las tasas. Dado que se admite que la tasa de cada etapa de un cierto estado puede ser diferente pero se trabaja con agregaciones de ellas es necesario imponer límites a esa variación, de modo que el signo de cada tasa sea correcto. Esto se logra incorporando para cada tramo una restricción de balance de aceleraciones y frenadas. Como se ha especificado que todo tramo se inicie y termine con una detención, ella queda:

$$\sum_{i=1}^4 a_i \sum_{k \in P_i} T_{ik} = 0 \quad (9)$$

donde las variables y subíndices conservan el significado dado en secciones anteriores.

Entonces, hay que estimar un sistema de ecuaciones formado por la que resulta de las ecs. (2) y (4) y por la ec. (9).

#### 2.5 Generación del perfil v-t

Conociendo  $T_k$ , la secuencia de estados en el tramo y las tasas estimadas el perfil se genera aplicando la ecuación (2).

Dado que las tasas estimadas representan los valores medios de las tasas reales, es lógico que al aplicar la ecuación (2) se obtengan velocidades no nulas en los eventos de detención, producto de las diferencias entre la tasa real



del tramo y el valor medio aplicado. Este fenómeno, denominado no cuadratura del perfil, es remediado considerando la desviación estándar de los parámetros estimados. Para ello, se admite modificar su valor medio en una magnitud tal que elimine el error de cuadratura pero esté dentro del intervalo de confianza para el nivel de significancia escogido.

### 3. VALIDACION

El propósito es validar tanto el método de estimación como el de medición. Para lo primero se recurre a perfiles generados por simulación como base; suponiendo que la medición fuera perfecta se aplica el procedimiento creado y se comparan las tasas estimadas con las usadas en la simulación.

La validación del método de medición descansa en contrastar perfiles estimados con otros reales. Ellos provienen, por una parte, del Metro de Santiago y, por otra, de buses instrumentados para un estudio que se inició durante el desarrollo de esta investigación (Steiner et al., 1988).

#### 3.1 Validación del método de estimación

Fueron creados por simulación perfiles v-t con las siguientes características:

- . los estados posibles son los seis definidos en la sección 2.2;
- . las cuatro tasas de aceleración no nulas son constantes en cada etapa pero varían entre ellas aleatoriamente dentro de un intervalo especificado para cada una;
- . las secuencias de estados en cada tramo son elegidas arbitrariamente así como su duración, sujeta a que en toda detención la velocidad sea nula;
- . todo tramo empieza y finaliza en una detención.

Fueron producidos tres grupos de perfiles, con 30 tramos cada uno. Si el método de medición no tuviera error (tipo de estado y duración idénticos a los datos simulados) la estimación de las tasas de aceleración sólo podría diferir de los valores simulados a causa del método de estimación.

Los resultados se muestran en la Tabla 1. Se denota por  $\alpha_1$  y  $\beta_1$  el valor absoluto de las tasas de aceleración y frenado desde y hasta detención, respectivamente, y por  $\alpha_2$  y  $\beta_2$  las homólogas asociadas a velocidad no nula.

Se aprecia que las tasas principales ( $\alpha_1$  y  $\beta_1$ ) son estimadas con bastante exactitud en cuanto a su media; en  $\alpha_2$

y  $\beta_2$  hay mayores diferencias porcentuales pero el orden de magnitud y el signo son correctos. La desviación estándar de  $\alpha_1$  y  $\beta_1$  es considerable y sistemáticamente subestimada, no así la de  $\alpha_2$  y  $\beta_2$ .

En suma, el método de estimación parece muy satisfactorio para la media de las tasas, especialmente de las principales. Pero no lo es para su varianza. Esto parece lógico por el carácter de la restricción impuesta.

Tabla No 1  
Comparación de tasas de aceleración simuladas y estimadas.

Grupo	Tasa	Valores (en m/seg <sup>2</sup> )			
		Simulados		Estimados	
		$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
1	$\alpha_1$	1,96	0,36	1,93	0,05
	$\alpha_2$	0,35	0,10	0,32	0,12
	$\beta_1$	2,20	0,40	2,24	0,06
	$\beta_2$	0,39	0,20	0,22	0,13
2	$\alpha_1$	1,92	0,35	2,14	0,07
	$\alpha_2$	0,41	0,07	0,14	0,15
	$\beta_1$	2,38	0,43	2,10	0,08
	$\beta_2$	0,44	0,08	0,77	0,14
3	$\alpha_1$	1,26	0,27	1,27	0,08
	$\alpha_2$	0,32	0,03	0,21	0,30
	$\beta_1$	2,29	0,27	2,25	0,14
	$\beta_2$	0,43	0,02	0,36	0,34

### 3.2 Validación con perfiles reales

No es posible someter a validación el método de medición por sí solo sin disponer de un registro instrumental simultáneo. Sin embargo, conocidas las propiedades del método de estimación, se puede visualizar su efecto particular mediante la comparación de perfiles estimados y reales. Disponer de estos últimos no es nada fácil. Afortunadamente, el Metro de Santiago los puede proporcionar gracias a su operación controlada.

Además, el Metro funciona con una secuencia de estados sencilla y regular, en que es razonable desprestigiar aceleraciones secundarias. Se realizó una serie de observaciones en tramos de la línea 1 cuyo perfil v-t real fue facilitado por la Dirección General de Metro. Las observaciones fueron distribuidas en dos grupos para los que se estimó las tasas de aceleración respectivas. Los resultados, y su comparación, figuran en la Tabla 2.



La conclusión es que el método de medición no introduce errores adicionales apreciables. Sólo cabe señalar que la tendencia a subestimar la varianza de  $\alpha_1$  y  $\beta_1$  ya no es tan marcada pero ello puede deberse a que el número de observaciones es pequeño.

Tabla No 2  
Validación con el Metro de Santiago.

Grupo	Tasa	Valores (en m/seg <sup>2</sup> )			
		Observados		Estimados	
		$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
1	$\alpha_1$	0,90	0,10	0,88	0,18
	$\beta_1$	0,80	0,20	0,70	0,19
2	$\alpha_1$	0,90	0,10	1,03	0,04
	$\beta_1$	0,81	0,20	0,91	0,02

No obstante, el buen funcionamiento del método en este caso no despeja toda duda ya que el Metro es un ejemplo muy favorable en relación a los buses, cuyos perfiles tienen secuencias de estados mucho más irregulares.

En el curso de la investigación se tuvo conocimiento de que se estaba obteniendo perfiles v-t con buses instrumentados en Santiago. No se logró hacer una medición con observador en dichos buses, lo que habría provisto de una base sólida de validación, pero se tuvo acceso a algunos perfiles instrumentales en zonas y períodos en que había datos con el método aquí presentado. Esto permitió llevar a cabo una serie de pruebas de interés.

En primer lugar, se analizó, a partir de los perfiles instrumentales, la validez de los supuestos fundamentales: la constancia de la tasa de aceleración en cada etapa y el conjunto de 6 estados característicos.

Para ello, se procesó la información cedida obteniéndose perfiles como los mostrados en la Figura 1. En ellos se aprecia que el supuesto de tasa constante es adecuado. El análisis estadístico para obtener la media y varianza de los coeficientes de variación asociados a los eventos de aceleración y frenado de dichos perfiles, arrojó los resultados siguientes; que confirman la impresión visual:

- tasa de aceleración :  $cv = 0,09 \pm 0,18$
- tasa de frenado :  $cv = 0,05 \pm 0,14$ .

Respecto a la definición de estados posibles, ésta presenta algunos inconvenientes:

- existen sucesiones no contempladas en el método: corta deceleración dentro de un proceso de aceleración desde detención (Figura 1 b), tramos 1,3 y 5) o estados de velocidad constante demasiado efímeros para ser captados por el observador (Figura 1 d), tramos 2,4,5,6);
- los estados detenido y a velocidad constante poseen cierta ambigüedad: un bus que avanza a menos de 2 Km/hr, ¿está detenido o avanza? (Figura 1 b), tramo 4; Figura 1 c), tramo 1) o bien un bus que varía su velocidad en  $\pm 2$  Km/hr, ¿va a velocidad constante o está en un estado de aceleración (positiva o negativa)? (Figura 1 b), tramos 4 y 8).

No parece tener sentido práctico ampliar el conjunto definido para incorporar estos casos pues difícilmente podrán ser bien captados por un observador. Por lo demás, constituyen, incluso en un área tan conflictiva como el centro de Santiago, una porción pequeña del tiempo. Únicamente surge la necesidad de instruir al observador para actuar consistentemente en las situaciones proclives a la ambigüedad, como el avance muy lento. Globalmente, se constata que los estados considerados proveen una cobertura muy satisfactoria de la realidad. Eso sí, los estados no considerados tienen en común tasas de aceleración de escasa magnitud; igualarlos conduce entonces a sobreestimar las tasas efectivas, aunque en leve proporción dado que son estados poco frecuentes.

Para corroborar esta afirmación se hizo el siguiente experimento. Se tomó un conjunto de perfiles instrumentales correspondientes al centro, en que predominaban aceleraciones y frenadas asociadas a detención. La media y la desviación estándar de las tasas  $\alpha_1$  y  $\beta_1$  fueron calculadas de diversas maneras:

- . de su valor en cada intervalo del perfil (1,5 seg), reflejando lo que sería la estimación que entrega el vehículo instrumentado;
- . de su valor en cada intervalo del perfil modificado, eliminando las secuencias no contempladas y ajustando los estados ambiguos a las definiciones operacionales adoptadas, lo que refleja una corrección por el método de medición;
- . por regresión, sobre el perfil modificado, reflejando lo que sería el resultado de este método si el observador percibiera cada estado definido sin error.



Surgen así tres valores para cada tasa. Las eventuales diferencias entre los dos primeros serían achacables a la eliminación de las secuencias no percibidas por el observador, en tanto las diferencias entre los dos últimos serían imputables al método de estimación. Los resultados se presentan en la Tabla 3, en que la desviación estándar aparece entre paréntesis.

Con ésto se confirma la afirmación en referencia. Una vez más se aprecia que el método de estimación es extraordinariamente preciso en cuanto a la media, mientras reduce significativamente la varianza. El método de medición es responsable de casi toda la diferencia en las medias estimadas, pero en menor grado de la subestimación de la varianza.

**Tabla No 3**  
**Tasas de aceleración medidas y estimadas**  
**(en m/seg<sup>2</sup>)**

Observación Método	1		2		3	
	$\alpha_1$	$\beta_1$	$\alpha_1$	$\beta_1$	$\alpha_1$	$\beta_1$
Instrumental	0,62 (0,37)	0,81 (0,56)	0,33 (0,19)	0,33 (0,24)	0,60 (0,38)	0,60 (0,42)
Instrumental corregido	0,63 (0,22)	0,92 (0,24)	0,35 (0,19)	0,35 (0,31)	0,69 (0,23)	0,61 (0,21)
Regresión	0,64 (0,08)	0,94 (0,11)	0,34 (0,07)	0,34 (0,09)	0,68 (0,05)	0,61 (0,20)

Finalmente, se hizo una comparación global de las propiedades principales (distribución del tiempo entre estados, velocidades máximas, secuencias dominantes) de perfiles instrumentales y estimados a partir de un observador en zonas y períodos similares. Se encontró un buen grado de acuerdo y, además, que las distintas tendencias según zonas son bien captadas por el nuevo método. A modo de ilustración, en la Figura 2 se muestran perfiles estimados en condiciones parecidas a los de la Figura 1.

#### 4. CONSIDERACIONES PRACTICAS

##### 4.1. Recomendaciones para la medición

Una de las preguntas que resta por responder es: ¿Cómo distingue el observador cada uno de los eventos definidos teóricamente, desde el punto de vista operacional?

La respuesta depende casi exclusivamente del grado de sensibilidad del observador. En todos los casos en que el cambio de evento sea gradual, existirán serias dificultades para determinar el límite entre ambos.

Basados en la experiencia adquirida en las mediciones, es razonable que los eventos de aceleración comiencen cuando finaliza el evento que lo precede (detención y frenado son mejor percibidos) y finalicen cuando el chofer embraga y pasa a cuarta marcha o cuando el observador percibe el cambio de inercia, lo que suceda primero. En el caso de los eventos de frenado, su inicio coincide con el momento en que el chofer retira el pie del acelerador o cuando el observador percibe el cambio de inercia. Para deceleración hasta detención, el final del evento corresponde al momento en que el vehículo se detiene totalmente (rueda estática) y, en el caso de deceleración hasta velocidad no nula, finaliza cuando el chofer retira el pie del pedal de freno o cuando el observador percibe el cambio de inercia. Finalmente, cualquier lapso durante el cual el móvil mantenga una velocidad más o menos uniforme, es considerado como etapa a velocidad constante. Respecto a las etapas de detención, es factible dividir las según su causalidad en: detenciones por movimiento de pasajeros (sólo suben, sólo bajan o suben y bajan), detenciones por tráfico (en intersecciones o por congestión que ellas originan), detenciones por congestión en paraderos y detenciones mixtas (cuando suceden algunas de las detenciones anteriores, en forma simultánea o secuencial sin solución de continuidad).

De primordial importancia es la ubicación del observador dentro del móvil. Se recomienda que la ubicación sea aproximadamente en la mitad del vehículo y al lado derecho de éste. Así se evita que el chofer perciba que está siendo controlado y permite una visibilidad razonable para captar los cambios de marcha (un observador experimentado los detectará por el cambio en las revoluciones del motor) y los pies del chofer.

#### 4.2 Procesamiento computacional

Para obtener la información de terreno y procesarla fue necesario confeccionar dos programas bautizados como ALTODAT (ALgoritmo de TOMa de DATos de Terreno) y ALCAPER (ALgoritmo de CALculo de PERfiles).

La principal característica de ALTODAT es la facilidad con que se pueden registrar todos los eventos percibidos por el observador, además de la información necesaria para realizar futuras agregaciones temporales, espaciales o de otra índole. Como complemento, permite registrar puntos característicos del trayecto, para luego determinar las distancias recorridas.



Respecto de ALCAPER, algunas de sus funciones son las siguientes:

- . valida la información obtenida en terreno por ALTODAT;
- . confecciona las variables independientes del sistema de ecuaciones lineales para estimar las tasas de aceleración por regresión dejándolas en formato de entrada al paquete estadístico TSP;
- . confecciona los perfiles v-t a partir de las tasas estimadas y de la duración y secuencia de los eventos contenidos en el archivo de datos, considerando variación de las tasas en torno a la media estimada, para la cuadratura del perfil;
- . produce información para fines de diagnóstico: velocidad media, distribución del tiempo, número de detenciones por kilómetro, etc. que puede ser impresa o graficada, con traspaso directo, por el paquete Lotus 123;
- . obtiene una jerarquización de las frecuencias de las secuencias presentes en el archivo de datos que puede ser desplegada o impresa.

ALTODAT está escrito en lenguaje BASIC y puede ser utilizado en un microcomputador EPSON PX-8 (Modelo Gineva). En el caso de ALCAPER, su lenguaje fuente es Turbo-Basic. Su módulo ejecutable puede correr en un computador personal XT o AT con tarjeta gráfica EGA.

## 5. CONCLUSIONES

El método presentado posee ventajas y limitaciones con respecto a la instrumentación del vehículo.

Una característica deseable es que la metodología de obtención de información sea simple y rápida. Esto se logró mediante el microcomputador portátil y el programa ALTODAT, generándose tres ventajas importantes con respecto al bus instrumentado. La primera es la posibilidad de tener una muestra de buen tamaño dentro de plazos y costos prudentes. La segunda, es la posibilidad de obtener datos sólo donde se requieren, no en todo el recorrido del bus. Por último, una ventaja altamente significativa es la posibilidad de registrar información acerca de las causales de detención, aspecto clave en el diagnóstico.

Respecto a las limitaciones, la más importante es la resolución que permite el método estadístico al reproducir los perfiles v-t observados. Es evidente que se logra una buena reproducción de su estructura pero no de las fluctuaciones de segundo orden. Pero éstas son importantes sólo para fines muy específicos: investigaciones detalladas de tasas de consumo de combustible o de emisión de

contaminantes, por ejemplo. Tales investigaciones requerirán de vehículos instrumentados. Pero ellas producirán valores asociados a tasas medias que pueden ser usados con perfiles generados por este nuevo método, con muy pequeño error.

Otra limitación a considerar es que el método de edición es sensible al observador, implicando la necesidad de utilizar personal calificado y entrenado. El sistema computacional desarrollado limita los estados y su secuencia, como se ha explicado. Pero el método en sí admite ampliar estas definiciones si se estima necesario y conveniente.

La validación indica que los supuestos adoptados tienen buen fundamento y que el método entrega buenos resultados. Pero hace falta probarlo a mayor escala y, en lo posible, validarlo con buses instrumentados.

Cabe hacer notar que el método puede ser empleado sin estimar las tasas de aceleración, si ellas y las velocidades máximas no son requeridas. En tal caso, su utilidad es mucho más manifiesta e indiscutible.

En conjunto, el método desarrollado no es apto para investigaciones detalladas en que importan mucho las fluctuaciones de segundo orden; en cambio, es muy apropiado como método de diagnóstico para proyectos de mejora de la circulación de transporte público, especialmente en aquellos en que el comportamiento normal del conductor es relevante.

#### AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada principalmente con un subsidio del Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (proyecto 286-87). Se reconoce también la cooperación brindada por ingenieros de la Dirección General de Metro y de la firma CADE - IDEPE, que facilitaron el acceso a los perfiles velocidad - tiempo usados en la validación.

#### REFERENCIAS

COHEN, S. (1984) Indicateurs d'allure et de consommation d'un autobus en exploitation. Recherche Transport Sécurité No 3, pp 16-22.

GIBSON, J. (1986) Nota sobre la modelación del ciclo de operación de buses y la estimación de sus parámetros (no publicada).

JOUMARD, R. (1986) Séquences cinématiques représentatives du trafic automobile français. Recherche Transport Sécurité No 12, pp 17-20.



LYONS, T., KENWORTHY, J., AUSTIN, P. y NEWMAN, P. (1986) The development of a driving cycle for fuel consumption and emissions evaluation. Transportation Research Vol. 20-A No 6, pp 447-462.

STEINER, A., FRIEDMAN, C. y Correa, C. (1988) Determinación de ciclos de marcha para los vehículos de locomoción colectiva del Gran Santiago. XI Taller de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Chile, Julio 1988, Santiago.

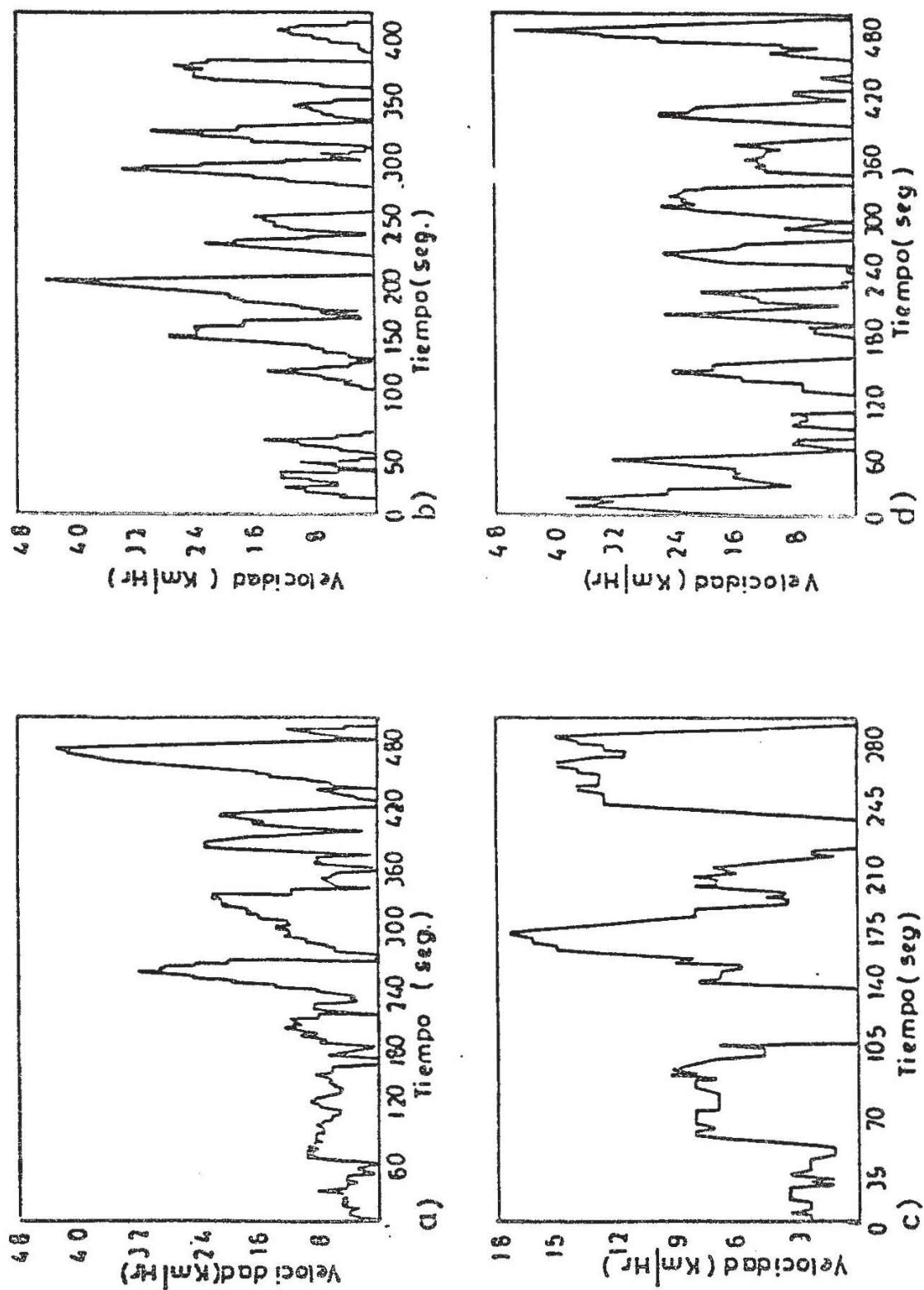


Figura Nº 1 Perfiles v-t de buses instrumentados en el centro de Santiago



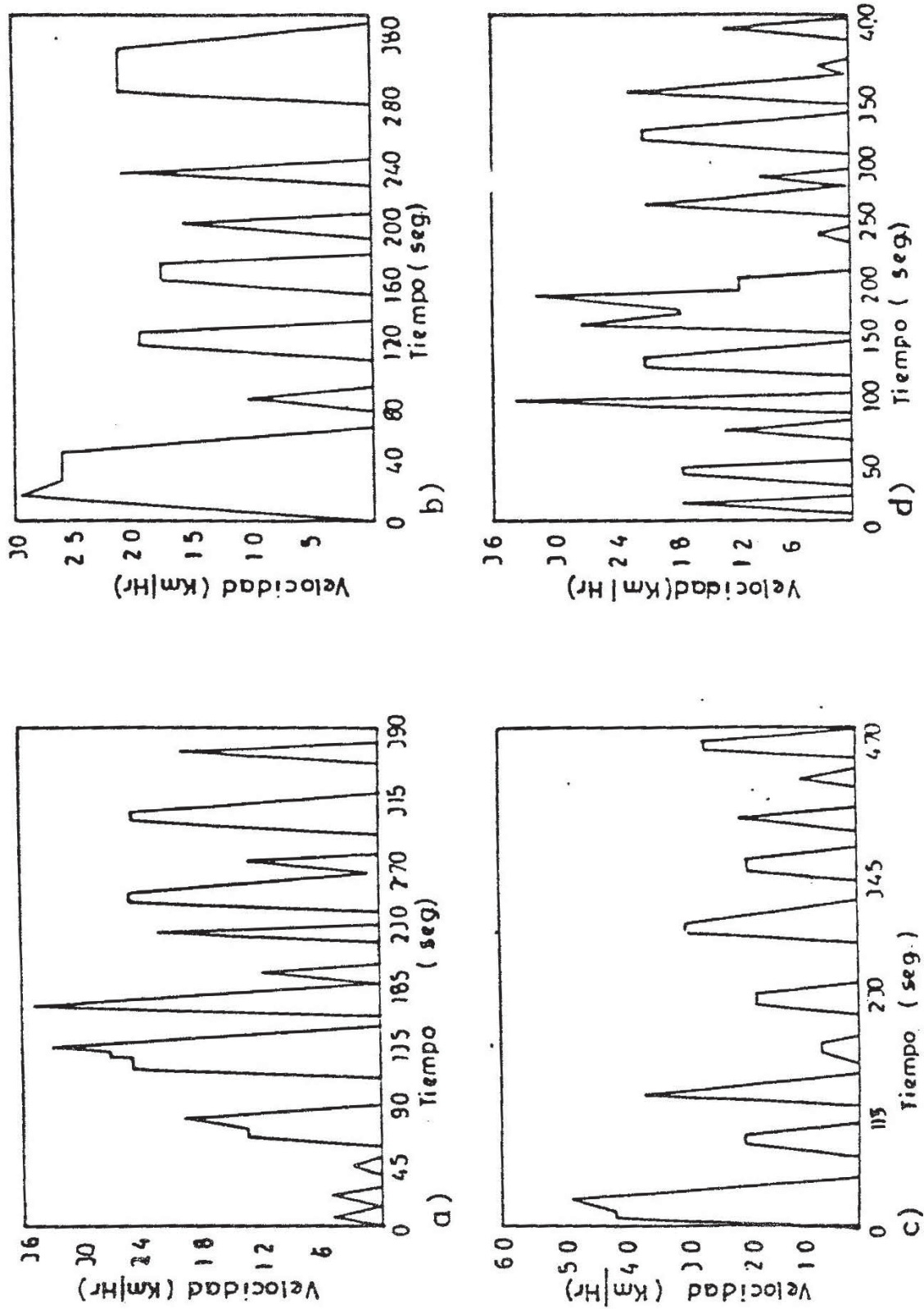


Figura N° 2 Perfiles v-t estimados para buses en el centro de Santiago.