

OBTENCION DE INFORMACION DE TRAFICO MEDIANTE EL USO DE MICROCOMPUTADORES
"IN SITU"

Francisco Martínez y Vicente Pardo
Secretaría Ejecutiva, Comisión de Transporte Urbano

Resumen

Uno de los principales problemas en la modelación y evaluación social de proyectos de transporte urbano, está ligado a la cantidad y calidad de la información de tráfico susceptible de obtener con los métodos tradicionales.

En forma similar a lo que ha ocurrido en otros campos, la inclusión de la tecnología del computador permite relajar las limitaciones de ciertos métodos lográndose una revaloración de sus capacidades.

En el caso que nos ocupa, métodos como el "arrival-output" o el de las patentes ofrecen nuevas perspectivas, dada la flexibilidad que presentan para aceptar modificaciones orientadas a incorporar un proceso de automatización.

Este trabajo presenta una experiencia de uso de microcomputadores en terreno, aplicándose versiones modificadas de los métodos antes señalados. Se hace un análisis comparativo de las facilidades de esta técnica, en lo concerniente a ventajas en la toma de datos, volumen de información útil rescatable y facilidades de procesamiento.

Adicionalmente se describen y discuten los resultados obtenidos en la calibración de curvas flujo-velocidad.

2. Mediciones de Velocidad

2.1. Aspectos metodológicos

La velocidad espacial se define como la razón entre la longitud (1) del tramo de estudio y el tiempo (t) que emplean los vehículos en recorrer es decir:

$$v_s = \frac{1}{t}$$

Para una longitud fija, la medición de esta variable se consigue midiendo los tiempos de los vehículos. La velocidad media espacial v_s es, por lo tanto, el promedio de las velocidades v_s para un conjunto de vehículos.

Entre los métodos más comunes para medición pondremos atención en dos en particular que por sus características de toma de datos y procesamiento posterior de la información constituyen buenos candidatos para ser utilizados, previo algunas modificaciones, como métodos que incorporen la tecnología de microcomputadores.

El primero de ellos es el método conocido "arrival-output" descrito por Coeymans (1982) y que en forma muy resumida consiste en lo siguiente: el tramo en estudio y tres observadores, uno móvil que recorre el tramo reiteradamente y registra el tiempo de viaje entre los extremos A y B del tramo y dos observadores fijos, en A y B respectivamente, que contabilizan los vehículos que pasan frente a ellos, agrupados en intervalos de tiempo Δt (intervalos de fracciones de minuto), entre pasadas del observador móvil.

Supongamos que el observador móvil, en una cierta pasada, se demora T segundo entre A y B, y los vehículos que le siguen pasan por estos puntos con un espaciamiento temporal t_{ia} y t_{ib} respecto del observador móvil; luego, el tiempo de viaje de un vehículo i es:

$$t_i = T - t_{ia} + t_{ib} \quad (1)$$

y el tiempo promedio de viaje de los n vehículos que pasaron hasta la siguiente pasada del vehículo móvil es, en consecuencia:

$$\bar{t} = T - \frac{\sum_{i=1}^n t_{ia}}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n t_{ib}}{n} \quad (2)$$

Debido a la usual dificultad de medir los tiempos t_{ia} y t_{ib} , llamados "headways" o brechas, el método del arrival-output supone igualdad de headways para todos los vehículos contabilizados en un período Δt , con una magnitud de $0,5\Delta t$. Así, se puede demostrar (Coeymans, 1982) que el headway promedio de los vehículos que pasan por A (t_A) se puede expresar como:

se reducen sustancialmente admitiendo la posibilidad de reemplazar los "observadores" móviles por vehículos que en adelante llamaremos vehículos "test" cuyo único requisito es que sean identificables por los observadores fijos, además de mantener un control de los eventuales adelantamientos de otros vehículos sobre el vehículo test o viceversa. Por cierto, esta última, constituye aún una restricción "molesta" a la hora de aplicar el método en forma económica, pues significará que eventualmente, sea necesario disponer de vehículos circulando por el tramo en estudio, únicamente con el propósito de cauteclar adelantamientos.

Un segundo método, que por sus características se presta para la implementación de microcomputadores es el "método de las patentes". En cuanto a su versión tradicional, consiste sencillamente en registrar usualmente en forma manual, el número de la patente y el tiempo de pasada de los vehículos en los extremos de tramo estudiado; luego mediante el pareamiento de las patentes detectadas en la entrada y salida del tramo, se obtiene directamente el tiempo de viaje de cada vehículo. Las ventajas de este método son principalmente dos: en primer lugar que los resultados son de gran calidad y segundo, se obtienen velocidades vehículo a vehículo; tales atributos justifican que sea considerado, por la mayoría de los autores, como el mejor método. Por otra parte, sus limitaciones provienen del procesamiento de la información tanto por su costo como por la reducida cantidad de pareamiento que finalmente se obtienen.

La utilización de microcomputadores, constituye en este último aspecto, herramienta útil toda vez que la toma de datos, registro de patentes y tiempos de pasadas de los vehículos, es más eficiente y por lo tanto, es posible aumentar la cantidad de pareamientos posteriores. Además, el costo de procesamiento disminuye sustancialmente debido a que la información queda guardada en terreno directamente en archivos magnéticos.

Por lo anterior, la utilización de microcomputadores en la obtención de información de velocidades, ofrece interesantes expectativas para mejorar al menos dos de los métodos actualmente usados para tal efecto, y que por su flexibilidad acogen fácilmente esta nueva herramienta. Por lo demás, no se vislumbra por ahora, nuevos métodos especialmente diseñados para esta tecnología sino, más bien, esta herramienta ha mostrado que su potencial radica en la automatización de etapas realizadas tradicionalmente en forma manual.

2.2. Descripción de la experiencia

El experimento de mediciones de velocidad con microcomputador, fue concebido como parte de un estudio de ciclovías en que se construyó una pista piloto y se midieron los impactos de separar las bicicletas del flujo motorizado. Esta experiencia fue realizada en un eje principal de la zona sur de Santiago.

Paralelamente, se midieron los flujos en sentido contrario (norte-sur) que llamaremos "flujos opuestos", en intervalos de 15 segundos. Este detallado nivel de desagregación de los flujos responde a objetivos asociados a la modelación de relaciones flujos-velocidad (ver sección 3).

En cuanto a los aspectos prácticos de la implementación de cada metodología, los más importantes se describen a continuación:

Método del arrival-output

1. Mediante un programa interactivo escrito en lenguaje BASIC el micro computador, a través de la pantalla, interroga al operador sobre el tipo de vehículo que está pasando frente a él. El operador ingresa un código identificador del tipo de vehículo, si el código ingresado corresponde a un vehículo test (previamente definido para ser re conocido por el programa), el operador será interrogado por el núme ro que identifica al vehículo test en cuestión. Así, quedan regis trados códigos simples (un caractér), que indica tipo de vehículos, y códigos compuestos (tres caractéres) que indican tipo de vehículo test y numeración de éste; además cada observación recibe del pro-grama el instante en que ésta fue digitada, expresada sólo por los minutos y segundos con el fin de minimizar el uso de memoria.
2. En el caso del microcomputador utilizado en este estudio 1/ la me-moría RAM disponible, luego de ingresar el programa para las me-diciones, permite almacenar hasta 350 observaciones. Una vez completa esta cantidad, el programa interrumpe las mediciones y procede a car-gar de información el cassette del equipo, operación que demora apro-ximadamente un minuto.

Los archivos son guardados con nombres que, a solicitud del progra-ma y antes de ingresar la primera medición, el operador define con venientemente.

3. En relación a los vehículos test se utilizó una modalidad tendiente a minimizar el uso de un vehículo especialmente dispuesto para ello.

En orden a controlar el problema de adelantamiento del/al vehículo test se utilizaron dos tipos de estos vehículos. El primero, des-tinado a mediciones de vehículos motorizados en general, consistió en usar un vehículo de la Locomoción Colectiva propia del lugar, al cual sube una persona y expone en el vidrio delantero del bus un número que identifica al vehículo test y que constituye el segundo y tercer caractér del código compuesto antes mencionado.

1/ Microcomputador portátil EPSON, modelo HX-20

Esta convención en el ingreso de las patentes tiene por objeto minimizar el tiempo de entrada de datos y así poder medir todos los vehículos que pasan por el tramo. El número de observaciones almacenadas en la memoria del equipo fue deliberadamente limitado a 150, con el propósito de tener mayor control del proceso de grabación en cassette y evitar así pérdidas de archivos que contienen información de períodos prolongados de medición. Esta práctica resulta recomendable a la luz de la experiencia realizada.

En general en la implementación de ambos métodos la experiencia permite concluir lo siguiente:

1. Es posible utilizar distintos códigos en el ingreso de información, atendiendo a las características operacionales propias del tramo de vía a medir. En este sentido conviene probar, previo a su aplicación en terreno, la cantidad máxima de observaciones susceptibles de almacenar en la memoria RAM.
2. Existe además, un compromiso entre la magnitud del programa que gobierna el ingreso de la información, relacionado con la facilidad de su uso en terreno, y la memoria disponible para guardar información; por otra parte, la conveniencia de almacenar una cantidad tal de información en la memoria que, en caso de falla en el proceso de grabación a cassette, afecte lo menos posible el éxito de toda la medición.
3. La presencia de un supervisor con cabal conocimiento del programa utilizado, es inprescindible en los momentos de transpaso de información al cassette. Es en este proceso donde se detectó el mayor grado de vulnerabilidad en la utilización del microcomputador.
4. En cuanto al operador del equipo encargado del ingreso de información, es necesario un entrenamiento previo con énfasis en lograr ajustar el instante de pasada del vehículo por una "línea de referencia" con el término de la digitación del código que corresponda, instante en el cual se obtiene del reloj interno la lectura del tiempo. Esta precaución conduce a mejorar la precisión de las mediciones de tiempo de viaje.
5. El equipo de medidores se compone de dos personas por estación: un operador del equipo y otro encargado de avisar al anterior las características del vehículo que se aproxima (tipo, dígitos de la patente y numeración del vehículo test cuando corresponde). Además, se requiere de: un supervisor en las estaciones, del personal necesario para las labores relacionadas con los vehículos test y un supervisor para este último grupo de personas.

| TIPO DE VEHICULOS | PERIODO | \bar{t} (seg) | OBSERVACIONES | | | VELOCIDAD MEDIA (Km/hr) |
|-------------------|---------|--------------------|----------------|----|------|-------------------------|
| | | | Desv.Est (seg) | N | | |
| Livianos | AM | 37,5 | 7,5 | 23 | 42,8 | |
| | FP | 44,6 | 10,1 | 11 | 36,0 | |
| | PM | 45,2 | 8,4 | 17 | 35,5 | |
| Pesados | AM | 40,0 | 4,5 | 25 | 40,1 | |
| | FP | 41,7 | 10,5 | 15 | 38,5 | |
| | PM | 48,9 | 14,3 | 17 | 32,8 | |

TABLA 1 : Resultados de las mediciones de tiempo de viaje. Método del arrival - output

| TIPO DE VEHICULO | PERIODO | \bar{t} (seg) | OBSERVACIONES | | | VELOCIDAD MEDIA (Km/hr) |
|------------------|---------|--------------------|----------------|-----|------|-------------------------|
| | | | Desv.Est (seg) | N | | |
| Livianos | AM | 33,1 | 5,5 | 253 | 48,5 | |
| | FP | 36,9 | 8,2 | 196 | 43,5 | |
| | PM | 37,9 | 8,0 | 198 | 42,4 | |
| Pesados | AM | 34,0 | 5,2 | 124 | 47,2 | |
| | FP | 38,3 | 8,7 | 139 | 41,9 | |
| | PM | 38,2 | 11,9 | 135 | 42,0 | |

TABLA 2 : Resultado de las mediciones de tiempo de viaje. Método de las patentes

| PERIODOS | LIVIANOS | PESADOS | BICICLETAS |
|----------|----------|---------|------------|
| AM | 177 | 95 | 61 |
| FP | 134 | 86 | 33 |
| PM | 134 | 97 | 37 |

TABLA 3 : Flujo vehicular (vehículo/hora)

3.1. Modelación

Las relaciones flujo-velocidad están basadas en diversos enfoques. Varios estudios orientados a establecer relaciones de este tipo se han realizado en Santiago, en Echeverría (1983) se obtienen relaciones a partir de un enfoque de simulación de la operación vehicular en una red, otros trabajos han obtenido relaciones a partir de información desagregada con la intención de capturar el efecto de la interacción de vehículos, ver por ejemplo, Gibson y Riveros (1982), Martínez (1984) y Gibson, et al, (1984).

En nuestro estudio recurriremos a un enfoque microscópico, estableciendo relaciones entre el tiempo de viaje y los flujos, tanto en el sentido de circulación del vehículo como en sentido contrario. Los flujos serán aquellos que efectivamente se verificaron en el tramo durante el intervalo en que el vehículo circuló por él, están desagregados por tipo de vehículos según se describe en la sección 2.2 y los tiempos de viaje corresponden a vehículos individuales.

Este enfoque responde a la necesidad de establecer el efecto que provoca la presencia de bicicletas sobre la operación de los vehículos motorizados, teniendo en cuenta que la zona de estudio presenta niveles de flujos bajos y velocidades medias de operación cercanas a lo que es la velocidad deseada o de "flujos libre" donde la interacción entre vehículos es menos evidente.

Las variables consideradas en la modelación son:

TVL = Tiempo de viaje de vehículos livianos (seg)

TVP = Tiempo de viaje de vehículos pesados (seg)

FIL = Flujo de ida de vehículos livianos (veh/hr)

FIP = Flujo de ida de vehículos pesados (veh/hr)

FIB = Flujo de ida de bicicletas (veh/hr)

AUTC = Flujo opuesto de automóviles privados, taxis y taxis colectivos (veh/hr).

BUTB = Flujo opuesto de buses y taxibuses (veh/hr)

FOPEQ = AUTC + 2 · BUTB, Flujo opuesto en vehículos equivalentes por hora (factor de equivalencia de locomoción colectiva = 2,0)

PARD = Vehículos de locomoción colectiva circulando en el sentido de ida que se detienen en el tramo, expresado en veh/hr.

Se probaron varias especificaciones para los modelos de flujo-velocidad concluyéndose que la forma lineal es la más apropiada para la muestra, lo que resulta consecuente para el rango de flujos en que se está modelando. Los resultados de la modelación se muestran en la Tabla 4.

Los modelos corresponden a observaciones realizadas previamente a la implementación de la ciclovía, situación sin proyecto, luego las bicicletas comparten la vía con el resto de los medios de transporte. En todos las relaciones estimadas para la situación con proyecto, bicicletas segregadas circulando por una ciclovía, los coeficientes de las variables no son significativos al nivel 10%, luego se tiene un modelo constante.

En los modelos de la Tabla 4, los coeficientes son todos significativos al nivel del 5%, exceptuando los de FIB en 2y3. Se concluye de esto que los flujos de ida y opuestos explican parte de las velocidades que se verifican en el tramo, sin embargo, la constante contiene el mayor nivel explicativo en acuerdo con lo esperado para las condiciones de operación. Por otra parte, la escasa significancia de los coeficientes de la variable FIB, hace pensar que su influencia en el tiempo de viaje de los vehículos motorizados es limitada. Sin embargo, un análisis de los datos muestra que la presencia de las bicicletas es escasa, en frecuencia y no nivel de flujo; esto está de acuerdo con lo apreciado en terreno, donde existe un comportamiento de pelotón más evidente entre vehículos motorizados, verificándose en el tramo mayor interacción entre autos. Además, parte de la influencia de las bicicletas puede estar reflejándose en los coeficientes de flujos opuestos, que dan cuenta de las restricciones al adelantamiento entre vehículos en el área de estudio. En consecuencia, estamos modelando una interferencia, existente pero limitada, en condiciones de niveles de flujo desfavorables para estos efectos.

En los modelos es muy persistente, y en todos los casos muy significativa, la influencia de los flujos de vehículos pesados en la velocidad de los livianos y viceversa. Los datos muestran que efectivamente hay mayor variabilidad en los flujos de vehículos pesados en observaciones de tiempos de viaje de vehículos livianos (lo inverso ocurre en el caso de vehículos pesados). Esto se debe a la tendencia de ordenamiento de los vehículos, antes de entrar al tramo de estudio, en que los vehículos de cada tipo se concentran como resultado de las operaciones de un importante paradero de buses aguas arriba de este. Así los flujos de cada tipo de vehículos, a pesar de ser mayores, son menos variables en las observaciones de tiempo de viaje de sus iguales.

Los coeficientes de PARD destacan por su magnitud en especial en el período PM, en el cual las detenciones aumentan su frecuencia. Estos sólo son significativos para vehículos pesados. La explicación de ello puede deberse al ordenamiento antes mencionado y a la mayor facilidad de adelantamiento de los vehículos livianos disminuyendo tal influencia.

Finalmente la comparación entre los coeficientes FIB de las relaciones 1 y 2 indica que la influencia que ejercen las bicicletas sobre TVL es 6,5 veces mayor que aquella provocada sobre TVP, de lo cual se esperaría que en ausencia de bicicletas los más beneficiados fueran automóviles. Esto no coincide con la comparación de tiempos

- e) Otra ventaja que provee el método de las patentes con microcomputador es poder, bajo ciertas condiciones, obtener directamente el flujo indicando para cada vehículo la hora de pasada. Con esto se incorpora una capacidad extra que sí disponía el método del arrival-output en su versión original.

De las relaciones flujo-velocidad obtenidas se derivan las siguientes conclusiones:

- a) Las condiciones de operación y velocidad prevalecientes en el tramo estudiado establecen una seria limitación para el éxito de la modelación. A pesar de ello, debido a la calidad de los datos (nivel de desagregación y cantidad) obtenidos con el uso de microcomputadores y a una adecuada elección de las variables controladas (flujos de ida y opuestos y paradas de locomoción colectiva) se obtienen relaciones capaces de explicar la escasa variabilidad que, debido a los flujos (incluyendo bicicletas), se verifica en los tiempos de viaje de cada tipo de vehículo.
- b) Lo anterior es una comprobación de lo expuesto por otros trabajos antes citados, en relación al nivel desagregado que requieren tener las variables para captar la interacción real de los vehículos. En efecto, en este trabajo se tuvo especial cuidado en ello al asociar a los tiempos de viaje de cada vehículo un conjunto de flujos que reflejen lo mejor posible las condiciones en que efectivamente circuló. Así se modelan condiciones diferentes de flujo incluso entre vehículos sucesivos. Existe el convencimiento, que este enfoque conduce a una mejor calidad de los modelos.
- c) En particular los flujos opuestos constituyen variables muy significativas para todos los modelos y por lo tanto, en vías en que se aprecien condiciones similares a la expuesta, estas variables constituyen buenos candidatos para establecer relaciones flujo-velocidad.
- d) Existe la sensación generalizada que la presencia de paraderos en vías urbanas constituye una fuente importante de disminución de las velocidades. La variable PARD así lo demuestra al obtenerse coeficientes cuya magnitud es francamente superior al resto de las variables.

En resumen se ha acumulado una valiosa experiencia en el uso de microcomputadores en mediciones de flujo y velocidad. Se concluye entonces que esta tecnología ofrece interesantes perspectivas en aplicaciones futuras en materias de transporte.