

**REFORMULACION DEL METODO DE REGRESION SINCRONICO
PARA LA ESTIMACION DE PARAMETROS DE CAPACIDAD DE UNA
INTERSECCION SEMAFORIZADA BAJO CONDICIONES DE
TRAFFICO MIXTO**

Germán Bartel J., Juan Enrique Coeymans A.
Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento de Ingeniería de Transporte.
Vicuña Mackenna 4860, Santiago, Chile.
Fax: (+56-2) 686 5850, E-mail: gbartel@ing.puc.cl, jec@ing.puc.cl

Jaime Gibson A.
Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil.
Casilla 228-3, Santiago, Chile.
Fax: (+56-2)671 2799, E-mail: jgibson@cec.uchile.cl

RESUMEN

La teoría tradicional asume que el intervalo de descarga de la unidad de referencia o vehículo patrón (auto directo), es independiente de la composición del tráfico y, por lo tanto, el flujo de saturación básico y los factores de equivalencia también lo son. Sin embargo, estudios realizados en Chile cuestionan dicho supuesto y dan a conocer antecedentes que demuestran que el intervalo de descarga de un auto directo es dependiente de la composición del tráfico.

Este trabajo presenta cómo introducir dicho fenómeno dentro del modelo de regresión múltiple que utiliza el método sincrónico de Branston y Van Zuylen (1978) para la estimación de parámetros de capacidad de una intersección semafORIZADA. A partir de una extensa base de datos tomados en pistas en que sólo hay vehículos que siguen directo, se encuentra que la dependencia del intervalo de descarga de auto directo con respecto a la composición del tráfico, se especifica adecuadamente a través de una función logística. Por otra parte, se encuentra que varios parámetros del modelo son sensibles a la pista de que se trata (derecha, izquierda o central). Asimismo, se detecta que el ancho de la pista y el período de análisis influyen en ciertos casos.

El modelo resultante se estima por regresión no lineal múltiple, obteniéndose estadígrafos del ajuste muy satisfactorios. Se discute la consistencia de los intervalos así estimados, con los valores provenientes de la observación directa de ellos. La aplicación de esta nueva especificación implica redefinir varios de los parámetros característicos de capacidad, lo que se aborda en un artículo complementario a éste (Gibson *et al*, 1997).

1. INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados más relevantes obtenidos al introducir la incidencia de factores tales como: ancho y tipo de pista, período de medición y composición del tráfico, en la especificación del modelo de regresión que utiliza el método sincrónico para la estimación de parámetros de capacidad de una intersección semaforizada. La base de datos ocupada en esta investigación posee cerca de 1200 observaciones (descargas a saturación), obtenidas a partir de un total de 22 pistas (seis derechas, seis izquierdas y 10 centrales) todas localizadas en la ciudad de Santiago de Chile.

El tema central es capturar apropiadamente la influencia que tiene la proporción de buses en el flujo sobre el comportamiento de los autos directos. La existencia de este fenómeno, no reconocido tradicionalmente, fue puesta de manifiesto en trabajos anteriores (Gibson y Fernández, 1989; Coeymans y Adonis, 1995; Adonis, 1997).

Este trabajo comprende cuatro capítulos. En el capítulo 2, se presenta el análisis preliminar de la nueva especificación. En el capítulo 3 se muestra el desarrollo del modelo final obtenido, el que incorpora en su especificación todos los factores ya mencionados, principalmente la incidencia de la composición del tráfico sobre el comportamiento del auto directo y sus efectos en el modelo de estimación. Finalmente, en el capítulo 4, se resumen las principales conclusiones del trabajo realizado.

2. NUEVA ESPECIFICACION DEL MODELO

La teoría tradicional asume que la unidad de referencia o vehículo patrón, caracterizado por su intervalo de descarga, es independiente de la composición del tráfico y, por lo tanto, el flujo de saturación básico y los factores de equivalencia también lo son. De esta forma, el método de regresión lineal sincrónico estima el valor del intervalo característico de descarga de cada uno de los distintos tipos de vehículos involucrados en el análisis, según el siguiente modelo (Branston y Van Zuylen, 1978):

$$Tsat = \lambda_1 + \sum_i \beta_i \cdot N_i \quad (2.1)$$

donde

$Tsat$: tiempo total de descarga a saturación [seg]

λ_1 : pérdida inicial [seg]

N_i : número total de vehículos tipo i en la descarga

β_i : intervalo característico de descarga de los vehículos tipo i [seg].

De acuerdo con las conclusiones obtenidas por Adonis (1997) sobre el comportamiento en la descarga de los distintos tipos de vehículos y la influencia de los factores mencionados, se puede establecer que un acercamiento preliminar a una nueva especificación del modelo tradicional, es la siguiente:

$$Tsat = \lambda_1 + [(1 + \varepsilon \cdot (A - 3,0)) \cdot (\beta_{AD} + \alpha \cdot TP)] \cdot N_{AD} + \beta_{BD} \cdot N_{BD} \\ + \delta_{PAD} \cdot D_{PMed} \cdot N_{AD} + \delta_{PBD} \cdot D_{PMed} \cdot N_{BD} \quad (2.2)$$

$Tsat$ y λ_1 poseen el mismo significado que para el modelo anterior, mientras el resto de las variables y parámetros tienen el siguiente significado:

- A : ancho de la pista [m]
- β_{AD} : intervalo característico de descarga de un auto directo [seg]
- TP : proporción de buses en el flujo de la descarga
- N_{AD} : número total de autos directos en la descarga
- β_{BD} : intervalo característico de descarga de un bus directo [seg]
- N_{BD} : número total de buses directos en la descarga

$$D_{PMed} = \begin{cases} 1, & \text{si es Punta Tarde} \\ 0, & \text{si es Punta Mañana} \end{cases}$$

$\varepsilon, \alpha, \delta_{PAD}, \delta_{PBD}, \beta_{AD}, \beta_{BD}$ y λ_1 : parámetros a estimar

Los cuatro primeros parámetros a estimar representan el efecto producido por el ancho de la pista (ε), por la proporción de buses en el flujo (α) y por el período de medición sobre cada tipo de vehículo (δ_{PAD} y δ_{PBD}), respectivamente. El resto de los parámetros corresponde a los estimadores de los intervalos característicos de descarga (β_{AD} y β_{BD}) para cada tipo de vehículo involucrado, y al estimador del valor de la pérdida inicial (λ_1), respectivamente.

Este modelo fue estimado por regresión para cada tipo de pista (derecha, izquierda y central) por separado, en orden a identificar si algunos factores tenían incidencia diferenciada. Los principales efectos de esta clase encontrados son:

- el ancho de la pista no influye cuando ella es central, seguramente porque los vehículos tienen cierta flexibilidad para acomodarse hacia las otras pistas (no hay una solera como límite);
- el intervalo de descarga es menor en la punta mañana para los autos, no así para los buses. Esto parece lógico pues los conductores de buses no tienen un apremio especial (llegar a la hora) en un período determinado;
- el intervalo de descarga de buses es sustancialmente mayor si es pista derecha. Esto refleja que, si bien no hay paradero en los lugares observados, al circular por ese tipo de pista los conductores de buses tienen una actitud distinta, debido seguramente a la expectativa de encontrar pasajeros en las cercanías de la intersección.

Introduciendo estos resultados, el modelo queda como sigue:

$$Tsat = \lambda_1 + [(1 + \varepsilon \cdot ((A - 3,0) \cdot D_{PE})) \cdot (\beta_{AD} + \delta_{PE} \cdot D_{PE} + \delta_{PAD} \cdot D_{PMed} + \alpha \cdot TP)] \cdot N_{AD} \\ + (\beta_{BD} + \delta_{PD} \cdot D_{PD}) \cdot N_{BD} \quad (2.3)$$

Los parámetros y variables utilizados en este modelo son los mismos del modelo (2.2), con excepción de las variables mudas:

$$D_{PE} = \begin{cases} 1, & \text{si el vehículo circula por pista extrema} \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$D_{PMed} = \begin{cases} 1, & \text{si es Punta Mañana} \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$D_{PD} = \begin{cases} 1, & \text{si el vehículo circula por pista derecha} \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

En la Tabla 2.1 se muestran los resultados de la estimación de este modelo. Todos los indicadores de calidad del ajuste son satisfactorios.

El valor estimado de β_{AD} es bastante cercano al obtenido por Adonis (1997), promediando intervalos directamente observados a partir del quinto vehículo. No ocurre lo mismo con el intervalo de bus directo (β_{BD}). Tanto en pistas derechas como en las otras, el intervalo estimado es claramente inferior al del otro método (0,3 segundos menor aproximadamente).

La diferencia puede tener dos causas. La primera es que en la observación directa se tomaron en cuenta vehículos que podrían encontrarse en la fase de transición y tener, por tanto, un intervalo de descarga mayor que el correspondiente al flujo de saturación. La segunda es que la especificación del modelo no esté recogiendo del todo bien algún fenómeno.

En cuanto a la primera causa, es probable que ésta tenga alguna incidencia. El valor estimado de λ_1 es significativamente mayor que los usualmente reportados (Leong, 1964; Webster y Cobbe, 1966; Miller, 1968; Branston y Van Zuylen, 1978; Branston, 1979; Branston y Gipps, 1981; Kimber *et al.*, 1985, 1986). Más allá de diferencias atribuibles a que típicamente se usa el parachoques delantero del vehículo como referencia mientras en este estudio se toma el trasero, un mayor λ_1 estará asociado a una estabilidad más lenta del proceso de descarga. Crece entonces la probabilidad de que en los intervalos directamente observados haya una fracción perteneciente a la fase de transición de la partida.

Pero la diferencia entre ambos métodos es mucho más marcada para los buses, lo que no es fácil de explicar con el argumento precedente. Considerando que hay cierta correlación entre N_{BD} y TP , se decidió explorar más a fondo la forma de incidencia de esta última variable (proporción de buses en el flujo), despejado ya el efecto de los otros factores.

3. INCIDENCIA DE LA PROPORCIÓN DE BUSES EN EL FLUJO SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE AUTO DIRECTO

3.1. Preliminares

El asunto a determinar es si el supuesto de un efecto lineal de TP sobre β_{BD} es el mejor posible. Hay indicios de lo contrario. Por un lado, en numerosas investigaciones previas rigurosas (Scraggs, 1964; Miller, 1968; Branston, 1979) no se encontró ese efecto. Esto podría justificarse por tratarse de situaciones en que el porcentaje de buses en el flujo es pequeño, si el efecto de éste fuera creciente en vez de lineal. En el otro extremo, para porcentajes muy altos, se observó cierta estabilización del intervalo de auto directo (Adonis, 1997).

Para incorporar estos indicios, se probó primero la definición de tramos de TP con distintos coeficientes α , pasando después a formas no lineales.

3.2. Especificación lineal a trazos de la incidencia de la proporción de buses en el flujo

Para determinar los tramos de TP se hizo un análisis de regresión múltiple. Los mejores resultados se obtuvieron con tres tramos: 0-10%, 10-30% y 30-100%. La especificación del modelo es ahora:

$$Tsat = \lambda_1 + \left[\left(1 + \varepsilon \cdot ((A - 3,0) \cdot D_{PE}) \right) \cdot (\beta_{AD} + \delta_{PE} \cdot D_{PE} + \delta_{PAD} \cdot D_{Pad} + \alpha' \cdot TP) \right] \cdot N_{AD} + (\beta_{BD} + \delta_{PD} \cdot D_{PD}) \cdot N_{BD} \quad (3.1)$$

donde

$$\alpha' = \alpha_{Int1} \cdot D_{Int1} + \alpha_{Int2} \cdot D_{Int2} + \alpha_{Int3} \cdot D_{Int3}$$

$$D_{Int1} = \begin{cases} 1, & \text{si } 0 \leq TP \leq 0,1 \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$D_{Int2} = \begin{cases} 1, & \text{si } 0,1 < TP \leq 0,3 \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$D_{Int3} = \begin{cases} 1, & \text{si } 0,3 < TP \leq 1 \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

α_{Int1} , α_{Int2} y α_{Int3} : parámetros a estimar

Los resultados de la estimación de este modelo figuran en la Tabla 3.1. Se aprecia que el valor de los parámetros es asombrosamente parecido al obtenido con el modelo (2.3), con excepción de α_{Int1} , α_{Int2} y α_{Int3} . Con respecto a estos últimos valores, se puede concluir que las aseveraciones realizadas anteriormente son correctas. De hecho, la pendiente en cada tramo es distinta y es máxima en el intermedio. Además, sólo en este último el parámetro es significativo al 95% de confianza, lo que arroja dudas sobre cuán adecuada es la forma lineal.

Siendo cierto lo anterior, no lo es menos que no se consiguió con esta especificación modificar el valor de β_{BD} . Para examinar más a fondo si cabe esperar alguna variación de él por este camino, se probó ignorar el efecto de TP en el primer tramo (suponer $\alpha_{Int\ 1} = 0$). Esto da origen al modelo:

$$Tsat = \lambda_1 + \left[(1 + \varepsilon \cdot ((A - 3,0) \cdot D_{PE})) \cdot (\beta_{AD} + \delta_{PE} \cdot D_{PE} + \delta_{PAD} \cdot D_{PMed} + \alpha'' \cdot TP) \right] \cdot N_{AD} \\ + (\beta_{BD} + \delta_{PD} \cdot D_{PD}) \cdot N_{BD} \quad (3.2)$$

donde:

$$\alpha'' = \alpha_{Int\ 2} \cdot D_{Int\ 2} + \alpha_{Int\ 3} \cdot D_{Int\ 3}.$$

Los resultados de la estimación se presentan en la Tabla 3.2. Es importante comprobar que sólo cambian, con respecto al modelo anterior, los valores de los α y de β_{BD} . Es decir, efectivamente influye sobre este último la forma funcional que se da a la influencia de TP .

El valor de β_{BD} crece sustancialmente, acercándose mucho al obtenido con intervalos observados, y mejora también su significancia estadística. Los valores de los α disminuyen fuertemente y el del último tramo pierde significancia estadística. El primer resultado responde a lo esperado, no así el segundo. Carecería de sentido que de pronto aparezca una importante influencia de TP para luego desaparecer también súbitamente.

A partir de los resultados arrojados por los modelos (3.1) y (3.2), se puede inferir que la influencia producida por la presencia de buses sobre el comportamiento del auto directo posee una especificación no lineal de tipo sigmoide.

3.3. Especificación no lineal de la incidencia de la proporción de buses en el flujo

Tras algunas pruebas, se optó por usar una función logística, dada por:

$$\varphi(TP) = \frac{\alpha_1}{1 + e^{\alpha_2 + \alpha_3 \cdot TP}} \quad (3.3)$$

En esta formulación, el parámetro α_1 representa el nivel de saturación que puede ser alcanzado para $TP \leq 1$. Así, la nueva especificación del modelo es:

$$Tsat = \lambda_1 + \left[(1 + \varepsilon \cdot ((A - 3,0) \cdot D_{PE})) \cdot (\beta_{AD} + \delta_{PE} \cdot D_{PE} + \delta_{PAD} \cdot D_{PMed} + \varphi(TP)) \right] \cdot N_{AD} \\ + (\beta_{BD} + \delta_{PD} \cdot D_{PD}) \cdot N_{BD} \quad (3.4)$$

En los resultados de estimación de este modelo, expuestos en la Tabla 3.3, se puede observar que los parámetros de la función $\varphi(TP)$ son todos significativamente distintos de cero, con un nivel de confianza superior al 90%. Esto, sumado al hecho de que el resto de los valores estimados son

muy cercanos a los obtenidos por el modelo anterior, ratifica que la forma funcional encontrada se ajusta bastante bien a los datos.

La estabilidad de $\varphi (TP)$ se alcanza alrededor de los 0,22 segundos, cuando la proporción de buses en el flujo (TP) supera el 45%, aproximadamente. Esto implica que la influencia del transporte público, en algunos casos, puede producir un aumento del intervalo de descarga superior al 10%.

A pesar de los buenos resultados obtenidos con este modelo, la estabilización del proceso de descarga es un tema interesante de profundizar y puede que ayude a explicar mejor los fenómenos aquí estudiados. En Gibson *et al* (1997) se realiza un análisis más detallado de dicho fenómeno, encontrando que efectivamente la estabilización se encuentra después del quinto vehículo descargado y que, además, varía según el tipo de pista. Esto trae consigo el interés de realizar una especificación para el modelo (3.4), en la que el proceso de descarga de cada pista sea tratado en forma independiente. De esta manera, tanto el valor de la pérdida inicial como de los intervalos de descarga estarán en función del tipo de pista (derecha, izquierda y central).

Después de un análisis de regresión múltiple, se eligió la siguiente especificación:

$$Tsat = \lambda''_1 + \left[(1 + \varepsilon \cdot ((A - 3,0) \cdot D_{PE})) \cdot (\beta_{AD} + \delta_{PD}^1 \cdot D_{PD} + \delta_{PI} \cdot D_{PI} + \delta_{PAD} \cdot D_{PAD} + \varphi (TP)) \right] \cdot N_{AD} + (\beta_{BD} + \delta_{PD}^2 \cdot D_{PD}) \cdot N_{BD} \quad (3.5)$$

donde:

$$\lambda''_1 = \lambda_1^{PD} \cdot D_{PD} + \lambda_1^{PC} \cdot D_{PC} + \lambda_1^{PI} \cdot D_{PI}$$

λ_1^{PC} : retardo inicial para pista central

λ_1^{PI} : retardo inicial para pista izquierda

$$D_{PI} = \begin{cases} 1, & \text{si el vehículo circula por pista izquierda} \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

δ_{PD}^1 , δ_{PI} y δ_{PD}^2 : parámetros a estimar

El resto de las variables y parámetros involucrados en el modelo (3.5) poseen el mismo significado y definición que para los modelos anteriores, con excepción de los parámetros δ_{PD}^1 , δ_{PI} y δ_{PD}^2 que representan el efecto producido por el tipo de pista sobre el intervalo característico de descarga del auto directo y bus directo, respectivamente.

Los resultados de la estimación aparecen en la Tabla 3.4. Se puede concluir que todos los parámetros involucrados en el modelo son estadísticamente significativos al 90% de confianza, aproximadamente. Esto significa que la especificación del modelo es capaz de capturar, en forma robusta, el comportamiento de los distintos tipos de vehículos bajo el efecto de los múltiples factores aquí estudiados. Es importante recalcar que el valor estimado de β_{BD} mejoró

considerablemente y posee, al igual que para β_{AD} , una diferencia inferior al 7% con respecto a los valores observados directamente.

Cabe mencionar que esta diferencia corresponde sistemáticamente a una sobreestimación de los valores de dichos intervalos calculados a través de las observaciones directas. Esto se debe a que dichos valores fueron calculados a partir del quinto vehículo descargado en adelante, como se hace tradicionalmente, con lo que aún están influenciados por la transición de la partida.

Para el caso particular de β_{BD} , se tiene que dicha diferencia es un poco mayor que para el resto de los intervalos de descarga y se descubrió que para bajos porcentajes de buses dicha diferencia es más importante que para altos porcentajes. Esto se debe, probablemente, a que con bajos porcentajes de buses en el flujo de la pista hay una mayor probabilidad de que el valor calculado a través de las observaciones directas esté afectada por vehículos de este tipo que aún están bajo la influencia de la pérdida inicial.

4. CONCLUSIONES

Se ha encontrado que es posible incorporar en el método de regresión sincrónico el efecto de la proporción de buses sobre el intervalo de descarga del auto directo. El modelo deja de ser lineal en los parámetros, pero no requiere variables adicionales pues la única nueva, la proporción de buses, deriva de otras ya en uso. Se confirma además que los autos directos tienen un comportamiento estable en la descarga, cuando no comparten la pista con otros vehículos.

Además de este resultado principal, hay otros de interés. Por primera vez en el país se ha capturado la influencia de factores como el ancho de pista y el período de análisis. Es llamativo que estos factores no actúen en todos los casos, para lo cual hay explicaciones intuitivamente atractivas. Otro aspecto destacable es que varios parámetros tienen valores específicos según la posición o tipo de pista en estudio (derecha, izquierda o central); la principal diferencia es entre pistas extremas y centrales, lo que en materia de flujo de saturación coincide con hallazgos previos hechos en Inglaterra (Kimber *et al.*, 1986).

En cuanto al intervalo de descarga de los buses se encontró que éste tiene estabilidad, en línea con investigaciones anteriores, pero con un valor significativamente mayor si se trata de pista derecha. Parece, simplemente, haber una actitud distinta de los conductores cuando circulan por ella, la cercanía a los pasajeros (clientes) parece ser la razón.

El retardo o pérdida inicial no muestra sensibilidad a la composición del tráfico. Los indicios en tal sentido reportados por Gibson y Fernández (1989) son, probablemente, producto de que en ese trabajo se usó una especificación lineal del modelo que, como se ha visto, no funciona bien. Si hay una diferencia en el retardo inicial entre pistas centrales y extremas. Esto parece una consecuencia lógica de la diferencia en el flujo de saturación, pero no se sabe de menciones al tema en la literatura.

Ahora bien, el efecto de la composición del tráfico discutido en este trabajo en términos de autos y buses, por los datos disponibles, puede ser generalizado a vehículos livianos y pesados, respectivamente. Sin embargo, esta extensión debe limitarse al efecto sobre el intervalo de descarga de los vehículos livianos que siguen directo en una intersección. No hay razones para suponer que otro tipo de vehículos pesados modifique su comportamiento al circular por la pista derecha.

Cabe preguntarse si la mayor "lentitud" de los conductores de buses en la pista derecha se mantendría si dejaran de percibir un porcentaje del valor del boleto vendido. De ser así, esta medida tendría un beneficio adicional, no considerado hasta ahora: que aumente la capacidad en vías en que hay buses. Esto sólo puede ser investigado en lugares en que no impere tal sistema de remuneración. La magnitud del efecto (casi 2/3 de segundo por bus) justifica destinar esfuerzos a ello.

Finalmente, todos estos resultados son reconciliables con los métodos tradicionales de estimación de los parámetros de capacidad en intersecciones semaforizadas, siempre y cuando se introduzcan ciertas redefiniciones de variables y ajustes en los procedimientos de cálculo. Esto se trata en un artículo complementario (Gibson *et al*, 1997).

AGRADECIMIENTOS

La investigación reportada en este trabajo ha contado con financiamiento de FONDECYT (proyecto 1940518) y aportes de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Los autores agradecen también los comentarios de Rodrigo Fernández.

REFERENCIAS

- Adonis, C. (1997) La Influencia del Transporte Público en el Comportamiento del Tráfico Vehicular: Análisis de Intervalos. Tesis de Magister en Ciencias de la Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Transporte, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Bartel, G. (1997) Parámetros de Capacidad de una Intersección Semaforizada: Nuevas Definiciones y Métodos de Estimación. Tesis de Magister en Ciencias de la Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Transporte, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Branston, D. (1979) Some Factors Affecting the Capacity of Signalised Intersections. *Traffic Engineering and Control* 20, 390-396.
- Branston, D. y P. Gipps (1981) Some Experience with a Multiple Linear Regression Method of Estimating Parameters of the Traffic Signal Departure Process. *Transportation Research* 6, 445-458.

Branston, D. y H. Van Zuylen (1978) The estimation of saturation flow, effective green time and passengers car equivalents at traffic signals by multiple linear regression. **Transportation Research** 12, 47-53.

Coeymans, J.E. y C. Adonis (1995) Influencia del transporte público sobre parámetros de capacidad en intersecciones semaforizadas. **Actas del 7º Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte**, 17-20 de Octubre, Santiago.

Gibson, J., G. Bartel y J.E. Coeymans (1997) Redefinición de los parámetros de capacidad de una intersección semaforizada bajo condiciones de tráfico mixto. **Actas del 8º Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte**, 10-14 de Noviembre, Santiago.

Gibson, J. y R. Fernández (1989) Efectos de interacción de buses y autos en tráfico urbano. **Actas del 4º Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte**, 16-18 de Octubre de, Valparaíso.

Kimber, R., M. McDonald y N. Hounsell (1985) Passengers cars units in saturation flows: concept, definition, derivation. **Transportation Research** 19B (1), 39-61.

Kimber, R., M. McDonald y N. Hounsell (1986) The Predictions of Saturation Flows for Road Junctions Controlled by Traffic Signals. **Research Report TRRL 67**. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berks, UK.

Leong, H.J.W. (1964) Some aspects of urban intersections capacity. **Proc. 2nd Conference ARRB**, Vol. 2 (1), 305-38.

Miller, A.J. (1968) The Capacity of Signalised Intersections in Australia. **ARRB, Bulletin N°3**. Australian Road Research Board.

Scraggs, D.A. (1964) Determination of the Passenger Car Equivalent of a Goods Vehicle in Single Lane Flow at Traffic Signals. **RRL, Report LN/573/DAS**. Road Research Laboratory.

Webster, F. y B.M. Cobbe (1966) Traffic Signals. **Road Research Technical Report N°56**. HMSO, UK.

Tabla 2.1: Estimadores de los Parámetros del Modelo 2.3
(Estadígrafo t-Student)

Parámetro	Valor
λ_1	3,702 (15,75)
ε	-0,052 (-3,56)
β_{AD}	1,679 (91,83)
δ_{PE}	0,111 (7,48)
δ_{PAD}	-0,113 (-10,58)
α	0,815 (2,97)
β_{BD}	2,281 (10,90)
δ_{PD}	0,687 (6,98)
R^2	92,51
F	1674,89

Tabla 3.1: Estimadores de los Parámetros del Modelo 3.1
(Estadígrafo t-Student)

Parámetro	Valor
λ_1	3,641 (15,41)
ε	-0,050 (-3,42)
β_{AD}	1,689 (89,63)
δ_{PE}	0,107 (7,18)
δ_{PAD}	-0,115 (-10,74)
$\alpha_{Int\ 1}$	0,473 (1,36)
$\alpha_{Int\ 2}$	0,894 (2,62)
$\alpha_{Int\ 3}$	0,788 (1,65)
β_{BD}	2,283 (8,31)
δ_{PD}	0,687 (7,00)
R^2	92,55
F	1307,39

Tabla 3.2: Estimadores de los Parámetros del Modelo 3.2
(Estadígrafo t-Student)

Parámetro	Valor
λ_1	3,630 (15,36)
ε	-0,049 (-3,33)
β_{AD}	1,693 (90,97)
δ_{PE}	0,106 (7,10)
δ_{PAD}	-0,116 (-10,83)
$\alpha_{Int\ 2}$	0,503 (2,73)
$\alpha_{Int\ 3}$	0,256 (0,93)
β_{BD}	2,597 (17,53)
δ_{PD}	0,644 (6,93)
R^2	92,54
F	1469,28