

## CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO EN CALLES URBANAS

**Ingenieros Jorge Galarraga, Marcelo Herz y Laura Albrieu.**

*Maestría en Ciencias de la Ingeniería con Mención en Transporte de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.*

C.e: [jorgala@efn.uncor.edu](mailto:jorgala@efn.uncor.edu), [mherz@arnet.com.ar](mailto:mherz@arnet.com.ar), [malbrieu2003@yahoo.com.ar](mailto:malbrieu2003@yahoo.com.ar)

### RESUMEN

Dentro de las diferentes infraestructuras viales las calles urbanas representan un componente clave por ser una de las más comprometidas a nivel de capacidad en los horarios pico. Los impactos negativos de la congestión urbana (tiempo perdido, consumo de combustible, contaminación ambiental) son de una magnitud tal que han justificado grandes inversiones para mitigar su efecto.

En este marco resulta importante definir con la mayor precisión posible el nivel de servicio que brinda este tipo de infraestructura y el impacto que tendrían determinadas modificaciones (ya sean geométricas o de operación) sobre la misma.

Las calles urbanas para su análisis pueden dividirse en dos componentes claves, por una parte están las intersecciones semaforizadas y por otra parte están las intersecciones no semaforizadas. Para cada una de ellas el Manual de Capacidad (TRB – USA – 2000) plantea diferentes procedimientos de cálculo.

Las demoras constituyen el principal indicador para definir el nivel de servicio en todos los casos. Para estimar las demoras el procedimiento del Manual involucra diversos coeficientes que han sido calculados con base empírica y que por lo tanto tienen implícitos el comportamiento de los conductores y otras características de los Estados Unidos de Norte América (normas vigentes, tipo de vehículos, etc.).

Mediante un Proyecto de Investigación apoyado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba, el grupo de trabajo planteó como objetivo mejorar el análisis de capacidad y nivel de servicio de calles urbanas mediante la estimación de coeficientes de cálculo que representen adecuadamente las condiciones locales.

Para el relevamiento de los datos se emplearon filmaciones tomadas desde el Centro de Control de Tránsito de la Municipalidad de Córdoba y mediciones específicas en campaña. Se emplearon modelos de simulación de tránsito para analizar la validez de las modificaciones propuestas.

El presente trabajo resume, tanto para intersecciones semaforizadas como para intersecciones no semaforizadas (incluyendo rotondas), el análisis realizado sobre algunas variables relevantes y las recomendaciones pertinentes.

## 1.- Introducción

El presente trabajo pretende resumir las principales actividades realizadas y conclusiones obtenidas durante el desarrollo de una investigación efectuada en la ciudad de Córdoba, con el apoyo de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional, orientada a comprender las diferencias entre los conductores locales y los de países desarrollados, que impactan en las medidas de eficiencia del tránsito en calles urbanas.

La polución del aire, el ruido, el desaprovechamiento de fuentes energéticas escasas, y la sumatoria de tiempos perdidos ocasionadas por las demoras en intersecciones requieren herramientas de análisis capaces de encontrar las mejores estrategias para posibilitar un tránsito fluido, con estos impactos minimizados.

En el ambiente urbano se considera que los usuarios están especialmente sensibles a las demoras que la circulación les ocasiona, de aquí que éste sea el parámetro adoptado para cuantificar el nivel de servicio en las intersecciones. Para un tramo de arteria urbana el nivel de servicio se determina en base a la velocidad de viaje, la cual a su vez se computa dividiendo la longitud del tramo por el tiempo empleado en recorrerlo, y dicho tiempo se obtiene sumando a las demoras en intersecciones el tiempo a velocidad de marcha.

Los procedimientos que recomienda el Manual de Capacidad están basados en datos empíricos correspondientes a su propia realidad de conductores, parque vehicular y reglamentaciones. Estudios realizados previamente por este grupo de trabajo han indicado que en muchos casos los procedimientos pueden adaptarse adecuadamente para representar mejor las condiciones locales.

El análisis de capacidad y nivel de servicio de calles urbanas implica que debe conocerse el funcionamiento de cada uno de los componentes claves para poder integrarlos adecuadamente, por una parte están las intersecciones (que pueden ser semaforizadas o no) y por otra parte están los tramos entre intersecciones (segmentos).

En consecuencia se han organizado los apartados siguientes para analizar cada uno de los citados componentes, es decir, las intersecciones semaforizadas, las intersecciones no semaforizadas y las arterias urbanas como segmentos integrados.

Se reporta también el estudio realizado sobre una avenida específica de la ciudad de Córdoba. Finalmente se consignan las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

## 2.- Intersecciones Semaforizadas

En este tipo de intersecciones el semáforo asigna el uso del espacio alternativamente en el tiempo, a las corrientes de tránsito conflictivas.

El nivel de servicio se cuantifica a partir de la demora de control, que es la pérdida de tiempo media que el semáforo ocasiona a los vehículos en cada acceso y se calcula mediante un primer término de demora uniforme ( $d_1$ ) afectado del factor de progresión (PF) y un segundo término de demora incremental ( $d_2$ ). En caso de existencia de cola inicial debe agregarse la influencia de la misma mediante un término adicional ( $d_3$ ).

La demora de control uniforme ( $d_1$ ) se calcula asumiendo llegadas uniformemente distribuidas a lo largo del tiempo del ciclo. Si la intersección se encuentra en capacidad la demora media será igual a la mitad del tiempo de rojo.

Si las llegadas se dieran solamente en el tiempo de verde la demora sería nula. Este es el efecto que pretende tomar el factor de progresión, cuya influencia resulta superior al de todos los otros juntos para el término de demora uniforme.

Si la progresión es buena una gran cantidad de los vehículos llega a la intersección en verde y la demora uniforme tendrá poca incidencia en la demora total, mientras que una mala progresión hace que una gran proporción de vehículos arriben en rojo y por lo tanto la demora uniforme es importante.

Los valores por defecto sugeridos por el Manual para identificar el tipo de arribo (para luego calcular el factor de progresión) están basados en el espaciamiento de los semáforos y en consideraciones generales que pueden no ser correctamente interpretadas para determinados casos particulares.

También puede ser cuantificado a través de la relación de pelotón ( $R_p$ ), que considera la proporción de vehículos que llegan durante la fase verde, y la relación entre el verde efectivo y  $C$  el ciclo, lo cual requiere medición en campaña pero asegura una mejor estimación de las demoras.

El problema cambia totalmente cuando un acceso está sobresaturado, en estos casos el término de demora incremental ( $d_2$ ) crece, convirtiéndose en el componente fundamental de la demora, cuantificando el impacto de arribos no uniformes y de períodos de sobresaturación (fallas de ciclos).

Se calcula con una expresión de dos términos, el primero es negativo para grados de saturación menores que uno y positivo en caso contrario, el segundo es siempre positivo. Como consecuencia para  $V/c$  menor que uno ambos

términos se contrarrestan entre sí determinando valores pequeños de demora incremental. El impacto comienza a ser considerable para grados de saturación del orden de 0,95, pero cuando se supera la unidad (demanda mayor que oferta) ambos términos suman y la demora crece muy rápidamente.

La capacidad es la cantidad máxima de vehículos que pueden pasar por hora de tiempo real, por lo tanto se calcula multiplicando el flujo de saturación  $S$  (capacidad para 100% de tiempo de verde) por la relación  $g/C$  (verde efectivo sobre ciclo). A su vez el flujo de saturación se computa en base a un valor en condiciones ideales (1900 automóviles/hora/carril) afectado de todos los coeficientes de corrección correspondientes.

Cuando la demanda supera a la capacidad se produce la sobresaturación y el gran aumento de la demora, en estos casos el cálculo de la capacidad adquiere entonces la máxima importancia.

De los estudios realizados surgen dos coeficientes de corrección que pueden distorsionar de manera importante los resultados: el de estacionamiento y el de utilización de los carriles.

Siguiendo las instrucciones del Manual de Capacidad de Carreteras puede llegar a sobreestimarse el impacto de estos dos efectos, generando en el cálculo una situación cercana a la saturación, cuando en la realidad no se presenta, estimando en consecuencia demoras en exceso. Las situaciones más críticas se presentan con un único carril para el caso de estacionamiento y con distribuciones por carriles muy diferentes.

El tiempo de verde efectivo interviene con gran importancia tanto en la demora de control uniforme ( $d_1$ ), como en la demora incremental ( $d_2$ ). En el primero a través de la relación  $g/C$  y en el segundo mediante el grado de saturación (relación  $V/c$ ) donde influye decisivamente en la determinación de la capacidad.

El verde efectivo es la porción del ciclo durante la cual el acceso en cuestión está siendo efectivamente empleado por el tránsito, se calcula como el tiempo de verde de la señal menos el tiempo perdido en el arranque (generalmente por los dos primeros vehículos de la cola, tiempo de percepción y reacción) más el tiempo empleado del amarillo (parte del amarillo usado para pasar).

Diferentes tipos de conductores presentan también distintas características de tiempos perdidos en el arranque y extensiones de amarillo. Los conductores agresivos minimizan la pérdida de arranque y maximizan la extensión de amarillo (aumentando por consiguiente el verde efectivo), en tanto que los conductores conservadores proceden a la inversa.

Las experiencias realizadas por este grupo de trabajo en investigaciones anteriores y también con los datos ahora relevados indican que la situación en Argentina difiere de manera importante. En términos generales los conductores

son más agresivos. Además se ha detectado que el comportamiento no es uniforme sino que cambia del acceso principal al secundario

Para el estudio de las calles urbanas la metodología utiliza para el cálculo el grupo de carriles correspondiente al tránsito pasante.

Se estudiaron numerosas intersecciones variando los datos de ingreso de manera tal que permitieran comparar los resultados de la aplicación de la metodología del HCM2000 sin modificaciones y con los cambios propuestos por el grupo de trabajo.

El volumen, porcentajes de pesados, número y ancho de carriles y longitud del ciclo permanecieron invariables e iguales a los relevados, mientras que el tipo de arribo, volumen del carril más cargado y verde efectivo variaban para reflejar las distintas situaciones planteadas.

Los mejores ajustes de la demora calculada con la medida en campaña, correspondieron a la situación en que se computaba la relación de pelotón y se empleaba para el verde efectivo de la avenida el de la señal más dos segundos y para el de la secundaria el de la señal.

### **3.- Intersecciones No Semaforzadas**

En una intersección no semaforizada el conductor se enfrenta, básicamente, a dos decisiones: cuándo le corresponde cruzar y en qué momento resulta seguro hacerlo. El procedimiento más aceptado para reflejar este comportamiento, y estimar la capacidad en intersecciones no semaforizadas, se basa en el "Modelo de Aceptación de Intervalos".

El modelo establece, en primer lugar, un orden o ranking de prioridades de los distintos movimientos posibles dentro de la intersección. Los conductores deben respetar los derechos de paso de otros conductores, es decir ceder el paso a quien corresponda. En tal sentido queda claro que el tránsito pasante y que gira a la derecha de la arteria principal tienen el derecho de paso en forma permanente (corriente de tránsito de rango 1), pero el resto de los conductores deben esperar por una oportunidad segura, es decir un intervalo, en la corriente de tránsito conflictivo, adecuado para poder entrar a la intersección.

Para el tránsito en la ciudad de Córdoba, las intersecciones no semaforizadas de una avenida importante con una calle local reproducen adecuadamente este funcionamiento, ya que el tránsito de la avenida tiene prioridad permanente (salvo para girar a la izquierda, si es de doble sentido) y los que deben aguardar por un intervalo adecuado son los conductores que llegan por la calle local.

La teoría de la aceptación de intervalos supone que existe un intervalo mínimo que todos los conductores de la corriente secundaria aceptarán en similares intersecciones: el intervalo o brecha crítica (critical gap). De acuerdo al modelo de comportamiento normalmente utilizado, ningún conductor entrará en la intersección a menos que el intervalo que tenga en la corriente principal sea igual o mayor al intervalo o brecha crítica  $t_c$ .

También se asume que si se presenta un intervalo muy largo en la corriente principal, dos o más conductores del acceso secundario podrán emplearlo para entrar en la intersección. La separación, medida en tiempo, entre vehículos de la corriente secundaria que aprovechan un mismo intervalo se conoce como tiempo de seguimiento (follow-up time)  $t_f$ .

A medida que los conductores disminuyan los citados tiempos, la intersección funcionará más eficientemente, es decir con menores demoras, pero también con mayor peligrosidad, debido a cruces vehiculares con menores intervalos de separación.

Se realizaron mediciones en campaña en numerosas intersecciones con el fin de estimar los valores que corresponden, en la Ciudad de Córdoba, al intervalo crítico y al tiempo de seguimiento, para luego comparar los resultados obtenidos con los correspondientes al Manual de Capacidad de Carreteras USA – 2000.

Se consideraron en la elección de las intersecciones la existencia de la mayor cantidad posible de movimientos de giro. Se realizaron mediciones de tiempos de cruce por una línea imaginaria del paragolpe delantero de los vehículos, tanto en la corriente principal, para poder determinar los intervalos en la misma, como en la calle secundaria para el cálculo de los tiempos de seguimiento. También se videograbaron algunas intersecciones con el objeto de obtener mayor información respecto del funcionamiento de las mismas y poder realizar algún tipo de corroboración mediante métodos de estimación de la brecha crítica que incluyen los volúmenes circulantes. Tanto para una como otra técnica de recolección de datos se eligieron horarios y días que presentaran la mayor cantidad posible de movimiento vehicular a los fines de conseguir un número suficiente de datos.

Para estimar el intervalo crítico se empleó el método de la máxima verosimilitud. En cuanto al tiempo de seguimiento se obtuvieron como promedios de la medición directa en campaña del intervalo entre dos vehículos sucesivos de una cola que aprovecha un mismo intervalo de la corriente conflictiva. Para ambos intervalos se calcularon las medias y varianzas considerando todas las intersecciones en conjunto para cada tipo de movimiento.

Los resultados de las estimaciones se presentan en los Cuadros I, II, y III. En el Cuadro II se consignan los valores obtenidos para las medias y varianzas de los intervalos críticos para intersecciones de vías de 2 carriles.

Movimiento	Media $E(t_c)$	Varianza $Var(t_c)$
GI-PPAL	4,7	1,8
GD	4,2	7,7
P	6,0	10,2
GI	6,7	13,2

**Cuadro I:** Media y Varianza de Intervalos críticos en intersecciones con vías principales de dos carriles

En el Cuadro II la información es similar, pero para intersecciones de arterias de 4 carriles con calles de 2 carriles.

Movimiento	Media $E(t_c)$	Varianza $Var(t_c)$
GI-PPAL	6,3	13,1
GD	5,1	9,9
P	6,4	9,9
GI	6,9	15,0

**Cuadro II:** Media y Varianza de Intervalos críticos en intersecciones con vías principales de cuatro carriles.

Por su parte en el cuadro III se reportan las medias y varianzas correspondientes a los tiempos de seguimiento.

Movimiento	Media $E(t_f)$	Varianza $Var(t_f)$
GI-PPAL	2,8	2,1
GD	2,3	2,2
P	1,8	1,2
GI	3,2	1,3

**Cuadro III:** Media y Varianza de Tiempos de seguimiento en intersecciones.

El Cuadro IV resume la comparación de los promedios obtenidos para intersecciones estudiadas, con los valores del Manual de Capacidad de Carreteras en su versión 2000.

Movimiento	I. Crít. Princ 2 Carr.		I. Crít. Princ 4 Carr.		Tiempo se seguim.	
	Córdoba	HCM	Córdoba	HCM	Córdoba	HCM
GI-PPAL	4,7	4,1	6,3	4,1	2,8	2,2
GD	4,2	6,2	5,1	6,9	2,3	3,3
P	6,0	6,5	6,4	6,5	1,8	4,0
GI	6,7	7,1	6,9	7,5	3,2	3,5

**Cuadro IV:** Comparación valores locales y del HCM 2000

El relevamiento y análisis de los datos incluyó también el caso de rotondas de un único carril de circulación, con la particularidad de considerar solamente aquellos movimientos en que, debido a la geometría y funcionamiento de los accesos, la prioridad correspondía al flujo ya circulante por la rotonda. Por consiguiente el ingreso debe realizarse girando a la derecha en el momento de obtener un intervalo adecuado. El Cuadro V muestra las estimaciones obtenidas para el intervalo crítico y el tiempo de seguimiento.

Intervalo	HCM	Córdoba
Crítico	4,1 - 4,6	3,3
Tiempo de seguimiento	2,6 - 3,1	1,8

**Cuadro V:** Intervalos críticos y de seguimiento para rotondas

De la observación de los cuadros puede advertirse que en todos los casos, salvo para el giro a la izquierda desde la principal, los intervalos locales son menores que los del Manual de Capacidad.

Esta información coincide con la expectativa previa y con la experiencia de este mismo grupo de trabajo en el sentido que los conductores locales son más agresivos que los norteamericanos. Bajo esta perspectiva puede inferirse que las intersecciones funcionarán de manera más eficiente, pero también más peligrosa.

#### 4.- Arterias urbanas

Para realizar un cierre integral del Proyecto se decidió analizar una vía con el mayor detalle posible, incluyendo simulación microscópica y un análisis simultáneo de: a) las intersecciones no semaforizadas más importantes, b) las intersecciones semaforizadas y c) la sección completa. La arteria seleccionada fue la Avda Julio A. Roca - Avda Fuerza Aérea, entre Marcelo T. De Alvear y Vieytes.

Los operativos de medición se programaron, para tomar los registros simultáneamente, en todas las intersecciones seleccionadas, mientras el vehículo piloto efectuaba sucesivos recorridos, en horarios determinados (pico).

Desde el área central la Avenida Julio A. Roca se inicia en el cruce con M. T. de Alvear ("La Cañada"), y sube con suaves curvas intersectándose con numerosas calles secundarias, algunas de ellas de escaso tránsito; presenta una rotonda, en su intersección con calle Río Negro, conocida como "del ala" por la particularidad del monumento que posee y que es el punto previo a su conexión con la Av. Fuerza Aérea.



El tramo analizado tiene 2200 m de longitud, nueve intersecciones semaforizadas: M.T. de Alvear, A.M. Bas, Elpidio González, Paso de los Andes, Luis Agote, Lanin, Sol de Mayo, Tronador y Vieytes, una gran cantidad de intersecciones no semaforizadas (entre ellas Bolívar, Corro, Mariano Moreno, Achával Rodríguez, Misiones, La Pampa, Bambilla, Júpiter y Río Negro) y la ya citada rotonda.

Las características del uso de suelo entre Marcelo T. de Alvear y la rotonda es de residencias particulares y comercial, con predominio de las primeras; en la Avda Fuerza Aérea estas características se invierten y el uso de suelo se hace preferentemente comercial; existen numerosas estaciones de servicio, un importante supermercado, colegios, bancos.

Hasta la rotonda la avenida no posee cantero central, una pendiente ponderada de 3% y un ancho de 12.10m, con cuatro trochas indivisas; a partir de allí posee una pendiente aproximada del 0,3%, cantero central de 2,50m de ancho, tres carriles por dirección y además bahías de giro a la izquierda en las intersecciones con calles Lanín y Tronador.

Las condiciones de tránsito a relevar respondían a dos tipos, los datos necesarios para la aplicación de la metodología de cálculo del manual y las correspondientes al control, es decir las utilizadas para el cálculo de la velocidad de viaje medida en el campo.

Las primeras consistían en velocidad de flujo libre, volumen y los datos necesarios para el cálculo de la capacidad de las intersecciones, es decir porcentaje de vehículos pesados, maniobras de estacionamiento, cantidad de paradas de ómnibus y volumen que arriba en verde, es decir todos aquellos datos que permitieran calcular la tasa de flujo de saturación; mientras las segundas correspondían a la distancia entre señales y los tiempos de paso por las mismas tomadas desde un vehículo piloto, circulando dentro de la corriente vehicular a la velocidad media (técnica del vehículo flotante).

El vehículo piloto circulaba con un conductor y un acompañante provisto de un cronómetro que lo ponía en cero al ingresar al tramo en estudio, registrándose el paso del vehículo por cada intersección y las demoras cuando éstas se producían. Se hicieron numerosos recorridos, de forma de obtener datos confiables. Se midieron velocidades puntuales de recorridos y velocidades de régimen libre. Las mediciones de velocidades puntuales se realizaron en horarios picos mientras que las de régimen libre se realizaron un día de poco movimiento vehicular.

También se relevaron los flujos de tránsito y las demoras medias en cada una de las intersecciones estudiadas. Para los volúmenes debía discriminarse por sentido, por tipo de vehículo (livianos y pesados), y por movimiento de giro (derecha, izquierda o pasante). Para las demoras el procedimiento variaba según fuera semaforizada o no, adoptando las metodologías propuestas por el Manual de Capacidad.

Finalmente también se requería, con respecto a la señalización luminosa, la información respecto a ciclos, fases, repartos de verdes y desfases. Los datos fueron obtenidos de mediciones realizadas "in situ" y además contrastados con información obtenida del Centro de Control de Tránsito Municipal.

Con toda esa información relevada se efectuó la simulación microscópica de toda la Avenida con el modelo NETSIM (TSIS), desarrollado para el análisis de flujos de tránsitos con frecuentes interrupciones, típicas de las intersecciones urbanas. Este es un software de origen norteamericano, que no permite la modelación de rotondas.

La Rotonda del Ala representa una particularidad que introduce una clara discontinuidad. El diseño geométrico y la posibilidad de ingresar (viajando hacia el centro) por Julio A. Roca en vez de por Av. Fuerza Aérea, opción preferida por la gran mayoría del tránsito circulante, determinan que en la práctica el tránsito que ingresa por esa rama a la rotonda detente prioridad con respecto al circulante por la misma.

La simulación del tramo completo con el NETSIM no incluyó la rotonda como tal, sino que identificó los recorridos preferidos.

Para analizar la rotonda específicamente se recurrió a un modelo reconocido internacionalmente de origen australiano: el SIDRA (Traffic **S**ignalised & **U**nsignalised **I**ntersection **D**esign and **R**esearch **A**id). Su utilización permitió confirmar los menores intervalos de aceptación para el flujo ingresante en los accesos que deben ceder el paso.

Contando con los datos relevados y simulados se pasó a la etapa final de calcular la capacidad y el nivel de servicio de las intersecciones seleccionadas (semaforizadas o no) y de la arteria completa, tanto por la metodología del Manual de Capacidad USA 2000, como por las correcciones propuestas para contemplar la realidad local.

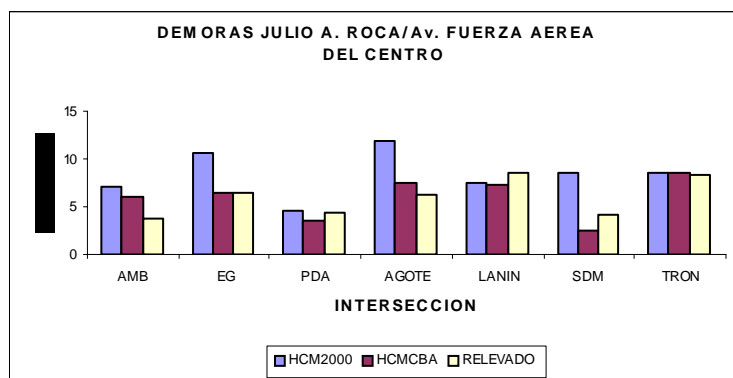
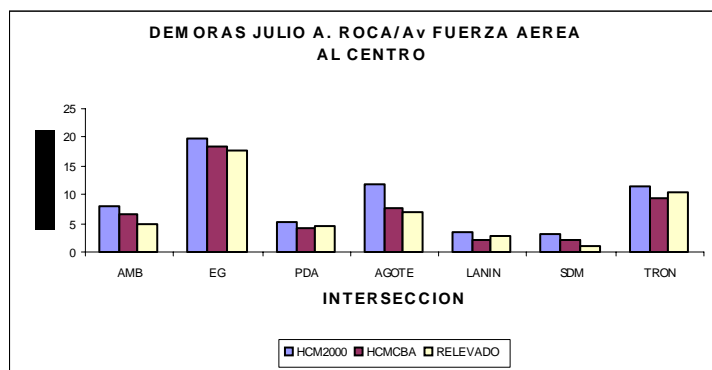
Tanto para las intersecciones semaforizadas como para las no semaforizadas, en términos generales, las modificaciones apuntaron a factores que dependen de las reacciones de los conductores, y que reflejan una conducta más agresiva.

En las intersecciones semaforizadas las demoras denominadas "HCM" se estimaron empleando los valores por defecto sugeridos por el Manual de Capacidad para identificar el tipo de arribo y con un verde efectivo igual al verde de la señal.

Mientras que las demoras denominadas "HCM CBA" se estimaron empleando los tipos de arribos calculados a partir de la Relación de pelotón ( $R_p$ ) de las mediciones de la proporción de vehículos que llegaban en verde y con verde

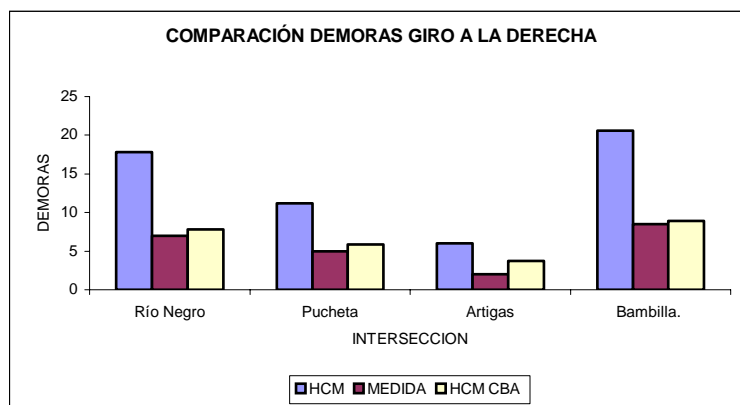
efectivo igual al verde de la señal más 2 segundos (sobre la avenida) e igual al verde de la señal (sobre las secundarias).

La Figura I muestra la comparación de los resultados obtenidos para las dos metodologías con las demoras reales, a lo largo de todo el tramo estudiado de la avenida y en ambos sentidos.



**Figura I:** Comparación demoras en intersecciones semaforizadas, en ambos sentidos de circulación

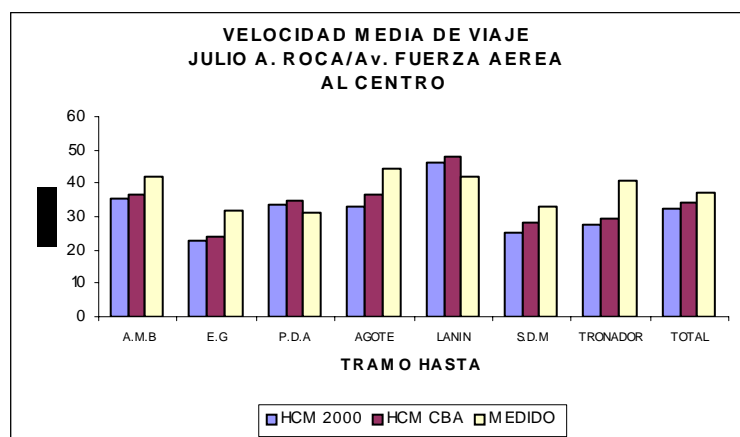
Por su parte la Figura II compara los datos relevados con los calculados por las dos metodologías, original (HCM) y propuesta (Cba), para el giro a la derecha en intersecciones no semaforizadas. Las variaciones surgen de modificar los intervalos de aceptación y de seguimiento. Si bien las demoras estimadas por ambas metodologías siempre sobreestimaron los valores reales de demoras medidas en campaña, se observa consistentemente un mejor ajuste considerando las adaptaciones locales. Similar tendencia se observó para los movimientos pasantes y de giro a la izquierda.

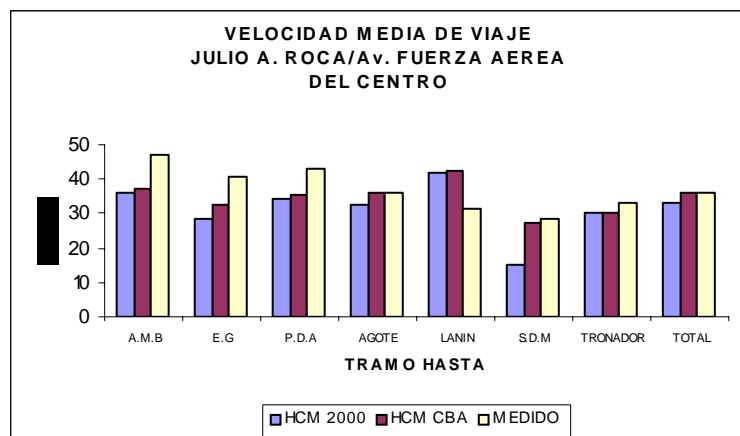


**Figura II:** Comparación demoras giro a la derecha. Intersecciones con Río Negro, Pucheta, Artigas y Bambilla.

Del análisis de las Figuras I y II puede inferirse que los cambios introducidos permiten predecir más acertadamente las demoras, es decir la variable clave de performance en las intersecciones.

Con respecto a la Avenida completa la Figura III muestra la comparación entre las velocidades medias de viaje (VMV) calculadas con la metodología del Manual (HCM), con las modificaciones propuestas (Cba) y medidas. Se discrimina por sentido de circulación, para cada tramo entre intersecciones semaforizadas y para el total.





**Figura III:** Comparación velocidades medias de viaje. Hacia y desde el Centro.

Nuevamente el análisis indica que, para la mayoría de los tramos, la velocidad media de viaje calculada según la metodología propuesta, resulta en una predicción más cercana a la medida en campaña que para la original. Si bien para un tramo esta relación se invierte, el mismo está asociado al efecto perturbador que introduce la rotonda.

La metodología de calles urbanas calcula la velocidad media de viaje como una relación entre el espacio a recorrer y el tiempo medio empleado en hacerlo, a su vez el tiempo se estima a través de dos componentes: a) la demora en intersecciones semaforizadas y b) el tiempo de viaje en los segmentos. Se asume que en las intersecciones no semaforizadas la arteria principal tiene prioridad de paso y por lo tanto la demora es nula.

Para la metodología del Manual USA 2000 la velocidad en los segmentos depende del tipo (clase) de arteria y de la separación entre intersecciones semaforizadas. A medida que la velocidad de flujo libre decrece y los semáforos se encuentran más cercanos, la velocidad en el segmento se reduce. Una tabla de doble entrada tan general como la citada, que no incluye el flujo vehicular circulante, reporta lógicamente valores promedios generales, que se consideraron razonables para la aplicación local.

Bajo este marco de referencia el ajuste propuesto para las velocidades medias de viaje se deriva de las modificaciones correspondientes en los procedimientos para estimar las demoras en las intersecciones semaforizadas.

De acuerdo a lo expuesto previamente las velocidades medias medidas mediante la técnica del vehículo flotante resultaron superiores a las calculadas empleando la metodología del Manual, por lo tanto los ajustes derivados sobre todo de menores tiempos perdidos para el tránsito pasante de la Avenida en intersecciones semaforizadas generan una mejor predicción de la velocidad en la arteria.

## 5.- Conclusiones y Recomendaciones

Del análisis de los resultados se advierte claramente que la estimación con parámetros locales determina medidas de eficiencia mucho más cercanas a las reales que el cálculo realizado con valores por defecto.

Los ajustes de parámetros propuestos para intersecciones semaforizadas influyen también en la estimación de las velocidades medias de viaje para el tránsito pasante en un tramo integrado de la arteria, explicando la principal fuente de variación en los tiempos de viaje.

Los resultados obtenidos permiten ganar confianza sobre las recomendaciones efectuadas para la estimación de demoras en intersecciones semaforizadas y no semaforizadas.

En ambos casos, en términos generales, las modificaciones apuntaron a factores que dependen de las reacciones de los conductores, y que reflejan una conducta más agresiva. Tal el caso de la extensión del verde efectivo y la reducción de los intervalos críticos y de seguimiento.

Si bien las mediciones de campo se realizaron en la ciudad de Córdoba, se considera haber propuesto ajustes que razonablemente podrían emplearse en otras ciudades, pues los parámetros reflejan comportamientos de los conductores y fricciones del entorno que son típicas en Argentina.

No obstante, la multiplicidad de variables y escenarios posibles conforma un campo a explorar en detalle, a partir de la base alcanzada.

## Referencias

AKCELIK & ASSOCIATES PTY LTD (2000) *AaSIDRA User Guide*

GALARRAGA J., L. ASSALES (2004): *Simulación de Tránsito en Rotondas Urbanas con aplicación de intervalos críticos y tiempos de seguimiento locales*. Seminario de Seguridad Vial – Segurvial, Buenos Aires.

GALARRAGA J., M. HERZ, L. ALBRIEU, V. DEPIANTE (2001): *El Manual de Capacidad 2000 y la estimación de capacidad y nivel de servicio en intersecciones semaforizadas para condiciones argentinas*. XIII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, C1-180, Buenos Aires.

GALARRAGA J., V. DEPIANTE (2004): *Estimación de demoras de ingresos de calles secundarias con adaptaciones locales*. Seminario de Seguridad Vial – Segurvial, Buenos Aires.

HERZ M., J.GALARRAGA, L. ALBRIEU, V.DEPIANTE (2001): *Simulación de tránsito con modelos microscópicos*. XIII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, C1-179, Buenos Aires.

*Highway Capacity Manual* (2000) TRANSPORTATION RESEARCH BOARD  
N.R.C. Washington, D.C.

TROUTBECK R.J. , BRILON W. (1992): *Traffic Flow Theory – A State of the Art Report, Cap.8 , Unsignalized intersection theory*. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge.

*TSIS- Traffic Software Integrated System*.(1998) User's Guide. Version 4.2  
Federal Highway Administration, Washington, D.C.