

INCIDENCIA DE LOS CARRILES SELECTIVOS SOBRE LA VELOCIDAD DEL TRANSPORTE PÚBLICO

Ingenieros Ing. Laura Albrieu, Violeta Depiante.
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.

malbrieu2003@yahoo.com.ar
vdepiante@yahoo.com

RESUMEN

En los últimos años se ha notado una disminución de la participación del transporte público masivo de pasajeros en los viajes urbanos pese a ser sin duda la manera más eficiente de movilizar gran cantidad de personas en forma simultánea, haciendo un menor uso de capacidad vial, una mejor utilización de energía y una menor generación de contaminantes por pasajero transportado.

La velocidad es un parámetro clave en la operación del sistema. Si los tiempos de recorrido de los vehículos disminuyen, tanto usuarios como operadores se ven beneficiados. Los primeros disminuyendo su tiempo total de recorrido y los segundos optimizando el tamaño de sus flotas.

En la circulación del transporte público por las arterias céntricas de una ciudad se generan fricciones entre los vehículos que hacen disminuir en mayor o menor medida la velocidad de recorrido. La utilización de carriles selectivos o restringidos como medidas de priorización en el tránsito para la circulación del transporte público es una medida tendiente a optimizar la circulación donde las fricciones con el tránsito particular son excesivas.

Cuando las variables a analizar son numerosas y las situaciones complejas para ser analizadas en forma manual, los modelos de simulación representan una buena solución para el análisis.

El presente trabajo estudia, entonces, el efecto sobre la velocidad del transporte público masivo de pasajeros de la utilización de carriles selectivos o restringidos en arterias de la ciudad de Córdoba. Mediante un modelo de simulación microscópico (NETSIM) se simuló dos tramos de una arteria, uno de tráfico mixto sin carriles selectivos y otro de tránsito restringido sólo al transporte público. Se realizaron mediciones a fin de efectuar comparaciones entre los dos casos y se extrajeron conclusiones.

INTRODUCCIÓN

Córdoba, ciudad de más de 400 años de antigüedad es la capital de la provincia del mismo nombre. Está ubicada en el centro de la República Argentina y es considerada la segunda ciudad del país. Su población asciende a 1.300.000 habitantes. Fue fundada a orillas del río Suquia, el que actualmente sirve de límite hacia el norte y este del microcentro.

La ciudad fue creciendo hacia ambas márgenes de dicho río, separando la zona de mayor densidad de población (microcentro), de áreas con uso de suelo exclusivamente residencial con viviendas de tipo unifamiliar.

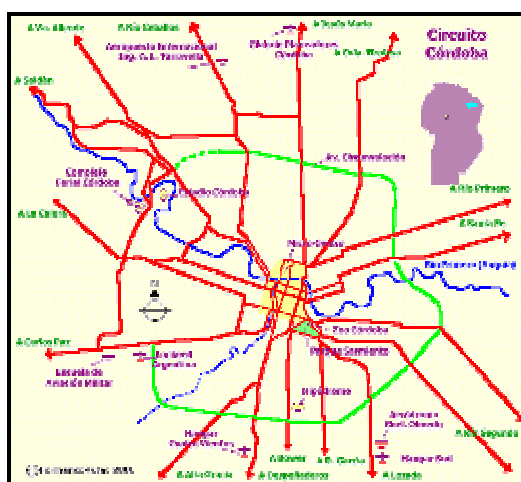


Gráfico 1. Plano de ubicación de la ciudad de Córdoba

Este tipo de urbanización con multiplicación de los barrios hacia la zona periurbana, las exigencias creadas por la industrialización, la administración central que mantiene sus dependencias en el área central, como así también, la influencia ejercida por la capital sobre las zonas próximas, son factores, entre otros que inciden decisivamente sobre el transporte de la ciudad, generando problemas de congestión en el microcentro.

Se hace indispensable hacer más eficiente la circulación en el centro de la ciudad. Es conocido que los sistemas de transporte público masivo, debido al menor uso de la capacidad vial para transportar grandes cantidades de pasajeros, constituyen el modo adecuado para viabilizar dicha meta.

Sin embargo, en los últimos años se ha observado una tendencia a la disminución de su utilización, notándose un fuerte incremento en los taxis y remises. En los últimos años el municipio ha duplicado la cantidad de matrículas otorgadas. No obstante la nueva administración municipal ha enfocado con dedicación sus esfuerzos en pos de la recuperación del sistema masivo que lentamente va revirtiendo su situación.

Dentro del transporte público la velocidad es uno de los parámetros clave de impacto sobre el tránsito para medir la eficiencia de la circulación en las calles urbanas. Una gestión adecuada orientada a la priorización del transporte público masivo beneficia tanto a usuarios como operadores del sistema de movilidad urbana. Los primeros disminuyendo su tiempo total de recorrido y los segundos optimizando el tamaño de sus flotas.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ANALIZADO

El sistema de transporte urbano de pasajeros de la ciudad de Córdoba está integrado por líneas de colectivos urbanos, líneas de trolebuses, remises y taxis.

Los trolebuses circulan en los barrios por corredores sobre los cuales tienen exclusividad frente a las líneas de ómnibus y en el microcentro comparten los carriles exclusivos para el transporte público.

Los taxis operan por todas las calles de la ciudad, sin restricciones, haciendo uso cuando lo creen conveniente de los beneficios del transporte público. Pueden ser contratados telefónicamente o directamente desde la vía pública. En el área central cuentan con paradas debidamente demarcadas para el ascenso y descenso de los pasajeros.

Los remises son autos contratados por teléfono (únicamente) y también pueden hacer uso de las prerrogativas del transporte público en el centro de la ciudad. Esta modalidad que viene funcionando desde mediados de los años 90 se ha ido incrementando paulatinamente duplicando la cantidad de transporte público individual que actualmente circula por las calles cordobesas.

Los colectivos urbanos están organizados en corredores radiales que atraviesan la ciudad pasando por el microcentro y anillos perimetrales. Las distintas líneas se distinguen por diferentes colores, según la empresa y zona en que operen. A su vez, en cada zona existen sublíneas que se diferencian con números.

En el microcentro, los ómnibus circulan, en general, por arterias o carriles exclusivos para el transporte público, con semáforos en todas las intersecciones, incluidos en el Sistema Centralizado de Control de Tránsito de la ciudad. Este sistema no contempla prioridad de paso al transporte público.

Los carriles selectivos para la circulación de vehículos de transporte público son compartidos con taxis y remises. Se encuentran ubicados a la derecha siguiendo el sentido de circulación única de la arteria. En todos los casos existen por lo menos dos carriles permitiendo que la circulación de los vehículos no se vea entorpecida por la operación de carga y descarga de pasajeros.

Las paradas ubicadas al borde de la acera, tienen una densidad de entre 2 y 3 paradas por km. Cada parada cuenta con una sola área de carga; donde se detienen varias

líneas, por este motivo suelen ocurrir formaciones de colas de ómnibus en el momento que transcurre el tiempo de servicio del que lo precede.

La carga de pasajeros se realiza por la puerta delantera y el descenso por la puerta trasera o por trasera y media, cuando existiera, estando prohibido el descenso por puerta delantera.

El sistema de pago de tarifas se hace por medio de un cospel que el usuario puede adquirir en kioscos autorizados por la Municipalidad o exclusivos para su venta. El sistema no cuenta con guarda, cumpliendo el chofer la función de recolectar la tarifa en el momento de ascenso del pasajero

La existencia de carriles exclusivos para el tránsito de los ómnibus y lógicamente la prohibición del estacionamiento en estos carriles permite que el vehículo se vaya aproximando a su parada en una longitud equivalente a dos vehículos, se ubica en la misma, abre las puertas delanteras y trasera y empieza el descenso y ascenso de pasajeros.

VELOCIDADES ANTES Y DESPUÉS

A finales del año 2000 cambió la política de operación de la calle Colón, pasando de dos carriles exclusivos para el transporte público a tres carriles con exclusividad para ómnibus, troles y taxis o remises.

Se contaba con registros filmicos del tramo comprendido entre las calles Sucre y Tucumán, obtenidos desde el Centro de Control Inteligente de Semáforos en el año 2000, cuando la calle Colón tenía sólo dos carriles selectivos. Esto permitió tomar las velocidades de los ómnibus para ese tramo, en esta situación hoy inexistente, como así también registrar los volúmenes y la composición vehicular en cada carril.

Para dicha sección se midieron, en campaña, las velocidades de ómnibus y el volumen vehicular de los tres carriles selectivos que actualmente son utilizados por el transporte urbano público (TUP); en la misma franja horaria en que se habían realizado las filmaciones.

Dado que se deseaba estudiar la influencia del carril extra en la circulación, se descartaron las velocidades de aquellos vehículos que tenían paradas en dicho tramo.

De la filmación se obtuvo una velocidad de 16 Km/h para un volumen horario vehicular de aproximadamente 800 vehículos mixtos, con un 13% de participación de los ómnibus; mientras que las mediciones de campaña arrojaron una velocidad de 19 Km/hora para un flujo vehicular de 1200 vehículos y un 13 % de ómnibus.

Es de destacar que en la situación anterior el tercer carril que actualmente tiene exclusividad para el transporte público, masivo e individual, estaba destinado a los vehículos particulares, pero era ocupado en ocasiones por los ómnibus en la maniobra de sobrepaso de vehículos más lentos circulando en el segundo carril exclusivo. La

proporción de taxis que utilizaban el tercer carril se revirtió con la implementación de la medida, habiéndose observado en la actualidad un valor del 30% de vehículos particulares mientras en la situación anterior ésta era la proporción de transporte público individual.

Los valores de velocidad, volúmenes totales y de ómnibus obtenidos para la situación antes (dos carriles selectivos) y después (tres carriles selectivos) están reportados en el Cuadro 1.

	ANTES	DESPUES
CARRILES SELECTIVOS	2	3
VELOCIDAD (Km/h)	16	19
VOLUMEN MIXTO	821	1186
VOLUMEN OMNIBUS	110	160

Cuadro 1. Relevamientos de velocidad y volúmenes

Es de notar que con la medida de priorización de transporte público adoptada se logró mejorar en un 20% la velocidad de operación de los ómnibus en el tramo, aún cuando los flujos vehiculares se incrementaron en un 45% (como producto de un aumento en el parque móvil y la circulación a lo largo del tercer carril).

MODELACIÓN DE LA ARTERIA

Los modelos de simulación de tránsito permiten analizar una variedad de situaciones que se pueden presentar en la realidad. En particular, los modelos de simulación microscópica permiten un seguimiento individual de las unidades móviles que conforman el tránsito. El modelo microscópico de simulación de tránsito utilizado en esta oportunidad fue el NETSIM por la posibilidad que ofrece de incorporar líneas de colectivos mediante la definición de rutas específicas a lo largo de la red, paradas, y tiempos de permanencia en paradas; y por la posibilidad de obtener medidas diferenciadas de efectividad para los colectivos. El modelo reporta resultados desglosados por arco (cantidad de viajes y tiempo total de viaje en minutos), por parada de ascenso y descenso de pasajeros (unidades servidas, tiempo de detención, relación de tiempos en que se excede la capacidad de la parada) y por recorrido de la línea o ruta (tiempo medio).

Los modelos microscópicos requieren de una gran cantidad de datos para poder funcionar modelando la situación real. A su vez se requieren de datos para ajustar ese funcionamiento a la realidad, es decir para calibrarlo. Para poder correr el modelo se requieren datos referidos a las características del funcionamiento de los colectivos: recorridos, paradas, tiempos de ascenso y descenso de pasajeros, frecuencias, características de los vehículos, y datos de la infraestructura, de la señalización, y de los conductores. También se deben relevar velocidades de operación como medidas de efectividad para chequear la consistencia de la simulación.

Los relevamientos fueron realizados en días laborables en horario pico de circulación del tránsito (de 11:30 a 13:30 hs.).

El tramo bajo estudio es parte integrante de una de las arterias principales y cruza el centro de la ciudad de Córdoba en sentido oeste-este. Se extiende hacia el oeste desde la Avda. Santa Fe hasta Avda. Gral. Paz cruzando por once intersecciones intermedias totalizando 1,549 km. Todas las intersecciones se encuentran semaforizadas excepto la tercera desde la Avda. Santa Fe. Los volúmenes vehiculares a lo largo de la arteria fluctúan entre 900 y 1700 vph. aproximadamente en horas pico. Los volúmenes de transporte público de pasajeros son del orden de los 90 uph. en el primer sector y 160 uph. en el último.

A lo largo de su recorrido presenta tramos bien diferenciados de tres carriles. El primero con una longitud de cuatro cuadras (544.5 m) en donde la circulación no se encuentra restringida y el volumen vehicular es del orden de los 1400 vph siendo el 74% de vehículos particulares y el resto de taxis o remises, y 90 uph de transporte público, un segundo tramo de transición hacia carril selectivo y un tercer tramo en donde claramente los carriles son selectivos y los volúmenes vehiculares son del orden de los 1700 vph y del orden de 160 uph. los volúmenes del transporte público masivo.

Todas las cuadras presentan paradas excepto la primera y cuarta del primer tramo. Las paradas de las cuadras 2 y 3 funcionan con un tiempo medio de servicio de 35 seg., en cambio las paradas de las cuadras últimas cuatro cuadras funcionan con un tiempo medio de servicio de 50 seg.

El tramo de circulación restringida para vehículos particulares, está reservada para el transporte público masivo de pasajeros y para taxis y remises, pese a ello en los diferentes relevamientos realizados también se pudo observar la presencia de algunos vehículos particulares, la mayoría especialmente autorizados a circular.

A lo largo de todo el tramo se presentan 25 paradas. Cada parada alberga una línea con sus respectivas sublíneas las que totalizan 21 recorridos. Existe un fuerte ingreso de líneas al comienzo del tramo de transición por lo cual la cantidad de flujo de colectivos se ve incrementada notablemente. Cada línea realiza en el trayecto dos detenciones para ascenso y descenso de pasajeros en general espaciadas tres cuadras. Las líneas que ingresan desde el primer tramo realizan en el trayecto tres detenciones por ascenso y descenso de pasajeros.

El modelo presenta seis distintos tipos de paradas clasificadas por la distribución del tiempo medio de servicio en parada. Teniendo en cuenta las frecuencias de los tiempos de servicio relevados en las paradas del tramo y su coeficiente de variación se determinó que el tipo de parada 1 resultaba la más adecuada para la simulación.

El Cuadro 2 más abajo presenta los valores empleados por el modelo de simulación (NETSIM). Para cada caso el modelo genera aleatoriamente un número entre 1 y 10

que define el tiempo específico para ese vehículo. Si el tiempo medio de servicio fuera de 50 segundos, la parada fuera de tipo 6, y el número aleatorio fuera 9, entonces el valor asignado de tiempo de servicio de ese ómnibus sería el 198% de 50 segundos, es decir 99 segundos.

Tipo de parada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	40	60	70	80	90	100	120	130	140	170
2	24	48	59	75	85	94	111	126	155	223
3	30	47	65	77	90	103	116	137	157	178
4	0	29	59	75	92	108	125	148	170	194
5	0	18	36	70	104	125	144	156	167	180
6	0	0	0	48	96	120	144	171	198	223

Cuadro 2: Porcentaje de tiempo medio de servicio (NETSIM)

Las paradas 1 a 19 que corresponden al tramo de carriles selectivos y tramo de transición funcionan con un tiempo medio de servicio de 50 seg., en cambio las paradas 20 a 25 correspondientes al tramo de flujo mixto funcionan con un tiempo medio de servicio de 35 seg.

Se relevaron tiempos de ingreso y egreso en siete secciones a lo largo de la arteria. Al comienzo y final del primer y último tramo; una medición en el tramo de transición y dos en el tramo de carriles selectivos.

Los datos relevados del tramo permitieron la determinación de una velocidad de operación de 10.40 km/h, lo cual se relaciona adecuadamente con estudios previamente realizados que arrojaron valores del orden de los 11 km/h,

Se simularon las situaciones relevadas mediante el empleo del modelo NETSIM y compararon resultados entre las medidas de efectividad simuladas y medidas. Se realizaron los ajustes requeridos a fin de representar adecuadamente la situación real. Los valores medidos de tiempo total de recorrido del tramo arrojaron una media de 8.80 minutos (muestra de 50 datos). La situación simulada un valor de 9.17 minutos.

El tiempo de recorrido del tramo completo obtenido de la simulación fue de 9.17 minutos, con 2.93 minutos empleados en el tramo de flujo mixto, 4.35 minutos en el tramo selectivo.

Estos valores compararon razonablemente con los relevados en campaña, que fueron de 2.94 minutos empleados en el tramo de flujo mixto, 4.31 minutos en el tramo selectivo.

A los efectos de corroborar la confiabilidad de estos datos se realizaron 16 corridas del Caso Base (situación actual) para generar datos de tiempos de recorrido medios. Los valores medios encontrados fueron de 9.08 minutos, 2.96 minutos y 3.98 minutos para la arteria, tramo de flujo mixto y tramo selectivo respectivamente.

A fin de verificar que las diferencias encontradas no eran significativas, se realizaron tests de hipótesis sobre los tiempos medios de recorrido, para los tramos de flujo mixto y de carriles selectivos medidos y simulados. Los valores encontrados se presentan en el Cuadro 3 donde se observa que los estadísticos son menores que los valores críticos, por lo tanto no se pudo rechazar la igualdad entre las medias de los tiempos de recorrido de cada sección.

Estadístico	Flujo Mixto	Carriles selectivos
t	0,125	0,160
T	2,002	1,984

Cuadro 3: Test de hipótesis

Es decir que con un nivel de significancia de 0.05 se puede afirmar que las similitudes encontradas no son consecuencia del azar, por lo tanto se puede colegir que la simulación tal como ha sido calibrada representa acertadamente la realidad.

Posteriormente se simuló en forma sistemática el efecto de cambios en políticas de operación evaluando situaciones diferentes. Considerando la situación actual como Escenario 1 se plantearon tres situaciones hipotéticas a fin de analizar el comportamiento de la velocidad en el transporte público masivo:

Escenario 1: SITUACIÓN ACTUAL. Tres carriles selectivos

Escenario 2: PROGNOSIS: Disminución del número de carriles en uno respecto del caso base en el tramo selectivo. Pretende reflejar el efecto que hubiera ocasionado mantener los dos carriles selectivos que existían originariamente en el año 2000 sin ejercer acción alguna.

Escenario 3: CARRILES SOLO ÓMNIBUS: Disminución del número de carriles en uno respecto de la situación actual considerando los dos carriles selectivos para uso exclusivo de colectivos. Pretende reflejar el efecto que hubiera ocasionado mantener los dos carriles selectivos que existían originariamente en el año 2000 pero restringiendo su uso al transporte público individual.

Escenario 4: PROHIBICIÓN DE GIROS A LA DERECHA. Pretende reflejar el efecto que ocasionaría en la actualidad una política de priorización del transporte público masivo de pasajeros.

El Cuadro 4 resume algunos de los resultados obtenidos para la arteria completa y para los tramos de flujo mixto y de carriles selectivos.

ESCENARIO	ARTERIA	FLUJO MIXTO	CARRILES SELECTIVOS
1	9,17	2,93	4,35
2	14,65	3,22	7,02
3	8,03	3,00	2,98
4	8,55	3,14	3,31

Cuadro 4: Tiempos de recorrido simulados por tramos

Una disminución del número de carriles en uno (Escenario 2) ocasionaría un incremento en el tiempo de recorrido total del orden del 60%, elevando el tiempo total de viaje a 14.65 minutos. El flujo de ómnibus alcanza los 110 vehículos por hora (22% de disminución), la capacidad de las paradas y de la calle limitan la demanda. En las cuadras sin paradas del tramo de tránsito mixto prácticamente no se modifica la velocidad de los ómnibus. En el resto se advierte un incremento del tiempo de viaje debido a la mayor fricción del tránsito, mayor cuanto más cercana se encuentra la cuadra al final del tramo. En el tramo no selectivo los tiempos de recorrido se vieron incrementados en un 10%.

En el tramo de transición se observa el mismo fenómeno anterior lo cual revela que el cuello de botella generado aguas abajo repercute en mayor medida cuanto más cerca nos encontremos de él y cuanto más tiempo perdure en el tiempo.

En el tramo de carriles selectivos es donde se ve claramente el efecto de la acción tomada, registrándose una disminución en la velocidad de más de un 60 %.

De haberse implementado en los dos carriles selectivos existentes en el año 2000 una política de priorización del transporte público masivo (Escenario 3) se hubiera ocasionado un incremento de velocidad en la arteria del orden del 12% no afectándose el movimiento vehicular en la zona de flujo mixto beneficiándose en un 30% las velocidades de circulación en el tramo selectivo. El flujo de ómnibus se incrementó en un 12% debido al incremento en la capacidad de la calle

La prohibición de giros a la derecha de vehículos livianos (Escenario 4) ocasionaría una disminución en el tiempo de recorrido total de la arteria del orden del 7% lográndose los mayores beneficios en la velocidad de circulación de los colectivos en el tramo de carriles selectivos del orden del 25%.

El Gráfico 1 presenta los tiempos de recorrido de la arteria en su totalidad y de cada tramo (flujo mixto y carriles selectivos).

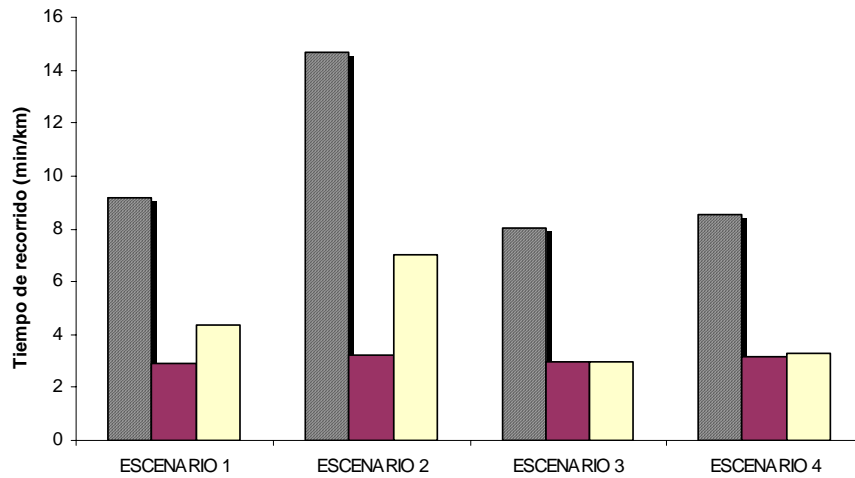


Gráfico 1 : Tiempos simulados de recorrido de ómnibus

Es indudable que la arteria, de no haberse colocado el tercer carril, funcionaría con velocidades muy inferiores a las actuales,

Por otro lado, si se hubieran mantenido los dos carriles selectivos, sólo que exclusivos para ómnibus, los resultados obtenidos serían ligeramente superiores a los de tres carriles selectivos para todo el transporte público.

Además, si a la política actual se le agrega la prohibición al transporte público individual de realizar giros a la derecha, la circulación de ómnibus se vería nuevamente beneficiada

CONCLUSIONES

La utilización del transporte público en grandes ciudades es una forma de optimizar el uso de los recursos haciéndolos eficientes. El hecho de posibilitar un incremento de velocidad de operación en la circulación a lo largo zonas de elevado movimiento vehicular como son las áreas centrales es importante, al permitir la reducción de tiempos de vuelta generando beneficios tanto para operadores como para usuarios del sistema.

Los resultados obtenidos permiten destacar la importancia de la política de gestión del tránsito para hacer más eficiente la circulación del transporte público masivo,

No siempre la mejor política consiste en colocar mas carriles selectivos. De hecho, se ha mostrado la eficiencia en la circulación del transporte público masivo adoptando medidas tendientes a su priorización mediante vías sólo ómnibus y prohibición de giros a la derecha de vehículos livianos en carriles selectivos logrando mejoras del orden del 25% en la velocidad de operación.

Los estudios de antes y después permiten verificar si los impactos pronosticados han sido cumplidos y brindan las bases para futuros estudios.

Existen herramientas, tales como los modelos de simulación que proveen buenos resultados a la hora de estudiar distintas políticas de gestión.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras desean expresar su agradecimiento a los alumnos de la cátedra de Transporte I de la carrera de ingeniería civil de la Universidad Nacional de Córdoba que colaboraron con los relevamientos de campaña y al Instituto Superior de Ingeniería de Transporte (ISIT) de la Universidad Nacional de Córdoba

REFERENCIAS:

GALARRAGA J., M. HERZ, L. ALBRIEU, V.DEPIANTE (2001,b): *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.

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

GALARRAGA J., M. HERZ, V.DEPIANTE (2005) *Análisis de velocidad del transporte público en calles urbanas*. XIV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Buenos Aires.

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

ST JACQUES K. (1997): Operational analysis of bus lanes on arterials. Transit Cooperative Research Program Project A-07, TCRP Report 26, Washington,D.C.

Transit Capacity and Quality of Service Manual (1999) .Transit Cooperative Research Program Web Document N° 6. TRB. Washington, D.C.

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