

XVIIº CONGRESO ARGENTINO DE VIALIDAD Y TRANSITO

Presentación de Trabajo Técnico

“VALIDACION DEL USO DE SOFTWARES EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS DE LA CIUDAD DE CORDOBA”

Área:

Gerenciamiento en Redes

Autores:

Ings. **BERARDO**, María G.; **FREIRE**, Rodolfo G.; **MARCHESINI** Paula; **TARTABINI**, Mauro I.; **VANOLI**, Gustavo D.

Cátedra Transporte II – F.C.E.F. y N. - Universidad Nacional de Córdoba.

Dirección: Corro 142, 6º “A” (CP 5.000) Córdoba – República Argentina

Teléfono: 0054 - 0351 – 6443640. E-mail: teteberardo@gmail.com

RESUMEN

El rápido incremento de la demanda del tránsito que opera en las redes del sistema vial urbano de las ciudades, sumado a las capacidades limitadas de las infraestructuras, da como resultado un sistema con baja calidad de respuesta. La operación de las intersecciones que componen el sistema vial es un aspecto fundamental que presenta un alto impacto en el desempeño de la red en su conjunto.

La modelización es una herramienta que permite visualizar y calificar su nivel de operación.

En 2015, este equipo de investigación presentó al 10º Congreso de la Vialidad Uruguaya el trabajo denominado "*Evaluación de la Aplicación de Softwares para Análisis de la Operación del Tránsito en Intersecciones Urbanas*" que tenía como objetivo comparar resultados obtenidos con diferentes softwares de modelación, para definir su factibilidad de aplicación a la realidad local, habiéndose trabajado con intersecciones muy transitadas, reguladas por semáforos.

Se utilizaron dos softwares: un módulo del Highway Capacity Software 2000 y el NETSIM.

Las conclusiones indicaron que un 60% de casos coincidieron los Niveles de Servicio modelados por HCS-2000 y NETSIM, el 22% presentaron diferencias de 1 nivel y el 18% restante diferencias de 2 o más.

Estos guarismos no permitieron extraer conclusiones sobre la confiabilidad en la aplicación de estas herramientas. Tampoco se detectó una condición puntual que explicara la dispersión de los resultados.

El objetivo del presente trabajo es validar la utilización de uno u otro software en intersecciones semaforizadas de la Ciudad de Córdoba.

Para lo cual, se llevaron a cabo mediciones en campo de demoras de control en los accesos de las intersecciones analizadas. La comparación de los resultados con las mediciones a campo permitirá incorporar un análisis complementario a la su aplicabilidad a condiciones locales.

Las mediciones de las demoras en campo se realizaron siguiendo la metodología propuesta en Anexo A del HCM2000.

“VALIDACION DEL USO DE SOFTWARES EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS DE LA CIUDAD DE CORDOBA”

1. INTRODUCCION

El rápido incremento de la demanda del tránsito que opera en las redes del sistema vial urbano de las ciudades, sumado a las capacidades limitadas de las infraestructuras, da como resultado un sistema con una baja calidad de respuesta. La operación de las intersecciones que componen el sistema vial es un aspecto fundamental que presenta un alto impacto en el desempeño de la red en su conjunto.

Dada la complejidad de las diferentes intersecciones, -principalmente determinadas por el entorno, el diseño y el tipo de control que las regulan- y las variadas actuaciones que se pueden proponer como alternativas de optimización del funcionamiento de las mismas, es fundamental evaluar el impacto que tendría cada una de las posibles soluciones. Por ello, la modelización de las intersecciones es una herramienta sumamente útil que permite cuantificar las ventajas y desventajas resultantes de la implementación de cada una de las alternativas.

La ciudad de Córdoba, Argentina, no escapa a esta problemática, y dado que cuenta con diversas intersecciones conflictivas y de variadas características, se planteó como objetivo del presente trabajo la evaluación y comparación de los resultados de la modelización de la operación de intersecciones controladas por semáforos aplicando dos software diferentes, utilizando como indicador de la eficiencia de la operación de la intersección el Nivel de Servicio de cada uno de los accesos a la misma.

Se escogieron cuatro intersecciones importantes de la Ciudad de Córdoba, todas ellas tienen forma de cruz, cuatro ramas de doble sentido de circulación y están reguladas por semáforos.

El nivel de servicio actual de las cuatro intersecciones urbanas fue determinado mediante dos softwares: el Highway Capacity Software 2000 y el Traffic Software Integrated System.

El Manual de Capacidad de Carreteras de Estados Unidos (HCM 2000 - Highway Capacity Manual), elaborado por el Transport Research Board y National Research Council contiene diversas metodologías analíticas, para estudiar diversos casos de infraestructuras de transporte. En este caso particular se ha empleado el módulo del software correspondiente (HCS 2000, Highway Capacity Software 4.1 c), que sirve para evaluar la capacidad y nivel de servicio de intersecciones reguladas por semáforos (capítulo 16).

NETSIM es un modelo microscópico de tránsito que forma parte del paquete CORSIM, desarrollado por la Administración Federal de Caminos de Estados Unidos de Norteamérica (FHWA). Es utilizado y actualizado desde el año 1970.

Permite estudiar el movimiento individual de vehículos circulando en una red de tránsito urbana. Tiene en cuenta características de los vehículos, el comportamiento de los conductores y las condiciones del entorno.

Las conclusiones indicaron que en un 60% de los casos coincidieron los Niveles de Servicio modelados por HCS-2000 y NETSIM, en el 22% presentaron diferencias de 1 nivel y en el 18% restante diferencias de 2 o más niveles.

Estos guarismos no permitieron extraer conclusiones sobre la confiabilidad en la aplicación de estas herramientas. Tampoco se detectó una condición puntual que explicara la dispersión de los resultados.

El objetivo del presente trabajo es validar la utilización de uno u otro software en intersecciones semaforizadas de la Ciudad de Córdoba.

Para lo cual, se llevaron a cabo mediciones en campo de demoras de control en los accesos de las intersecciones analizadas. La comparación de los resultados con las mediciones a campo permitirá incorporar un análisis complementario a la su aplicabilidad a condiciones locales.

Las mediciones de las demoras en campo se realizaron siguiendo la metodología propuesta en el Anexo A, del Capítulo 16, del Manual de Capacidad de Carreteras de Estados Unidos (HCM 2000 - Highway Capacity Manual).

2. SITIOS DE ANALISIS

Las Figuras siguientes muestran una imagen satelital del sector en la cual se destaca la ubicación de las intersecciones analizadas en el presente trabajo.



Figura N° 1: Intersección de Av. Colón con Sagrada Familia y Pedro Oñate

- Intersección N°1 - Av. Colón - Av. Sagrada Familia: actualmente operada por señalización luminosa (semáforo de prioridad), en forma de cruz, con cuatro ramas de doble sentido

de circulación cada una, y con una cantidad de movimientos limitada según sus actuales características de operación (10 movimientos sobre un total de 12). En esta intersección se permite el giro a la izquierda desde Av. Sagrada Familia, en ambos sentidos de circulación. La señalización luminosa tiene un ciclo de 85 segundos.

- Intersección N° 2 - Av. Colón - P. Oñate: actualmente operada por señalización luminosa (semáforo de prioridad), en forma de cruz, con cuatro ramas de doble sentido de circulación cada una, y con una cantidad de movimientos limitada según sus actuales características de operación (9 movimientos sobre un total de 12). Solo se permite el giro a la izquierda desde Av. Colón a los vehículos que tienen sentido hacia el Oeste (Tropezón). La señalización luminosa tiene un ciclo de 85 segundos.



Figura N° 2: Intersección de Av. Colón con Bv. del Carmen y D. Zipoli

- Intersección 3: Av. Colón – Bv. del Carmen: actualmente operada por señalización luminosa (semáforo de prioridad con tres fases), en forma de “+”, con cuatro ramas de doble sentido de circulación y calzada dividida sobre Colón, con una cantidad total de 9 movimientos posibles.
- Intersección 4: Av. Colón – Domingo Zipoli: actualmente operada por señalización luminosa (semáforo de prioridad con dos fases), en forma de “+”, con cuatro ramas de doble sentido de circulación y calzadas divididas, con una cantidad total de 8 movimientos posibles.

2.1. Características de la Red Vial

- Avenida Colón: pertenece a la Red Vial Arterial Principal, según la clasificación funcional de la Municipalidad de Córdoba. Su perfil transversal se caracteriza por contar con dos calzadas, de pavimento asfáltico, de 10 metros de ancho cada una (3 carriles por sentido),

separadas por un cantero central, conformando un ancho total de calzada de 21,00 metros. El cantero central es de 1,00 m de ancho y los bordes externos de las calzadas se materializan mediante cordón cuneta de hormigón.

- Avenida Sagrada Familia: pertenece a la Red Vial Intersectorial Principal. El perfil transversal se caracteriza por contar con una calzada con pavimento de hormigón, de 12 metros de ancho (2 carriles por sentido), conformando un ancho total de calle de 20,00 metros.
- Domingo Zipoli: no posee clasificación funcional. En proximidad de intersección con Av. Colón se compone de dos calzadas de 7 metros de ancho, separadas por cantero central de 6 metros, alcanzando un ancho total de calzada de 14 m y un ancho de calle de 30 m.
- Bv. del Carmen: no posee clasificación funcional. Presenta la particularidad de que los ejes de sus ramas Norte y Sur se encuentran levemente desfasados, con igual ancho de calle (14 m), pero diferentes anchos de calzada (9 y 7 metros respectivamente).

3. MEDICION Y ANALISIS DEL TRANSITO

Para la determinación de la demanda actual en las intersecciones bajo estudio se procedió a la realización de un censo de giros simultáneo en las mismas, durante el día Jueves 20 de Noviembre de 2014 (Av. Colón con Av. Sgda. Familia y P. Oñate), y el día Jueves 12 de Marzo de 2015 (Av. Colón con Bv. del Carmen y Domingo Zipoli).

Se relevaron todos los movimientos de giro en cada intersección, en horario matutino (de 7 a 11 horas) y vespertino (17 a 21 horas), clasificando los tipos de vehículos en livianos (autos y pick ups), ómnibus (minibús, urbano e interurbano) y pesados (discriminando los mismos en camiones simples y con acoplado o semirremolque).

Para el desarrollo de las tareas, se utilizaron 8 operadores en forma conjunta, destinando siempre uno de los mismos para relevos parciales con el objeto de permitir descansos intermedios y disminuir los errores que se pudieran generar por falta de concentración luego de algunas horas de trabajo.

Las Figuras siguientes resumen la evolución del volumen de tránsito a lo largo de las horas de medición en las cuatro intersecciones. Para simplificar su lectura, se han considerado solamente los volúmenes totales de cada acceso a la intersección. Se identifica cada uno de los accesos (ramas) según el punto cardinal desde el cual arriban los vehículos a la intersección, considerando todos los tipos de vehículos, antes de que realicen maniobra alguna.

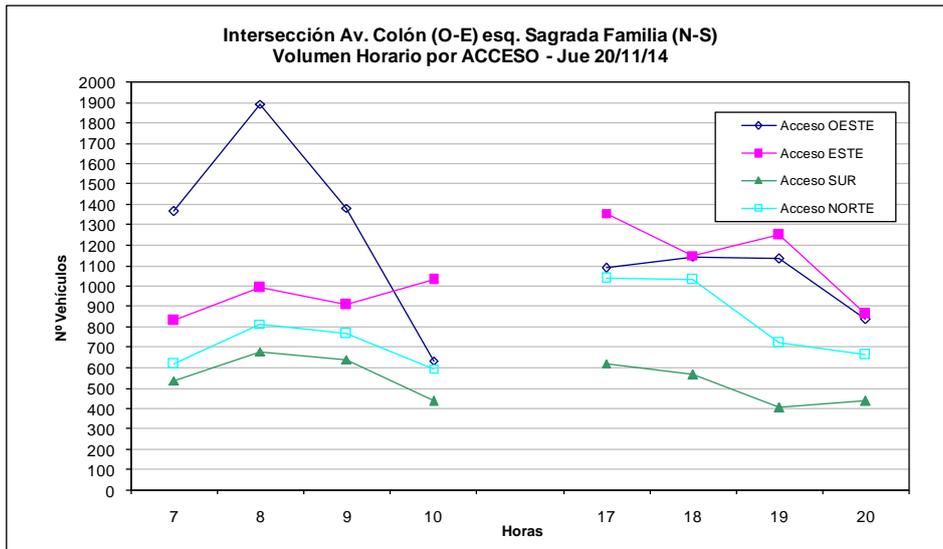


Figura N° 3: Volumen por acceso en Intersección N°1 (Sagrada Familia)

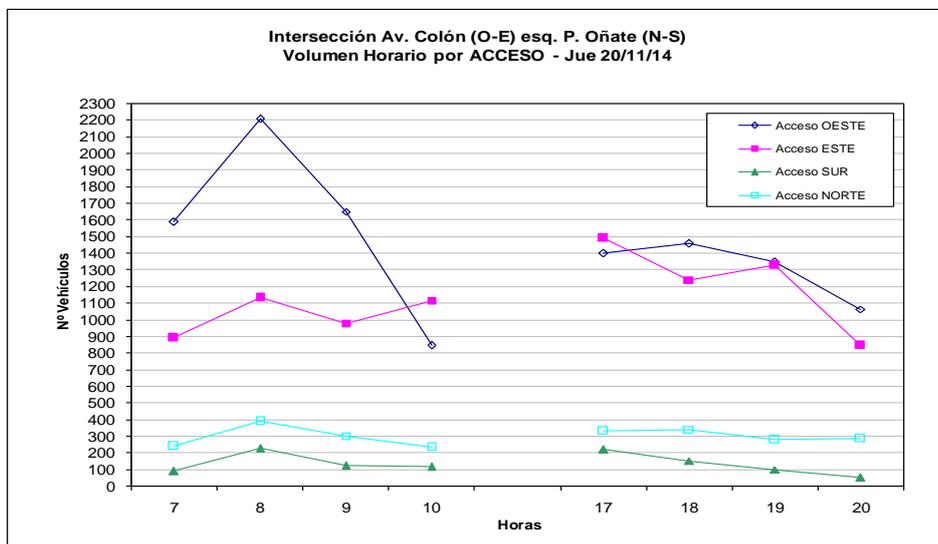


Figura N° 4: Volumen por acceso en Intersección N°2 (P. Oñate)

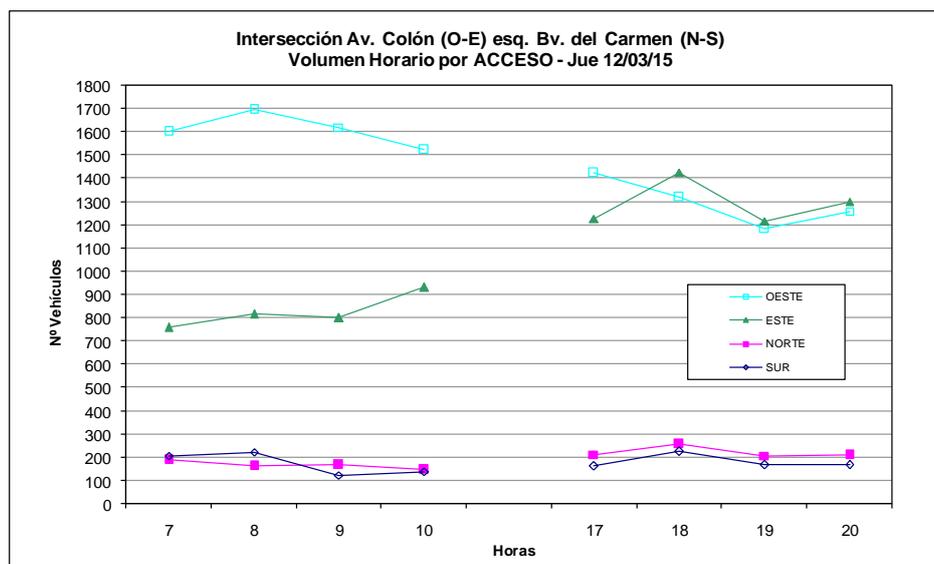


Figura N° 5: Volumen por acceso en Intersección N°3 (Bv. del Carmen)

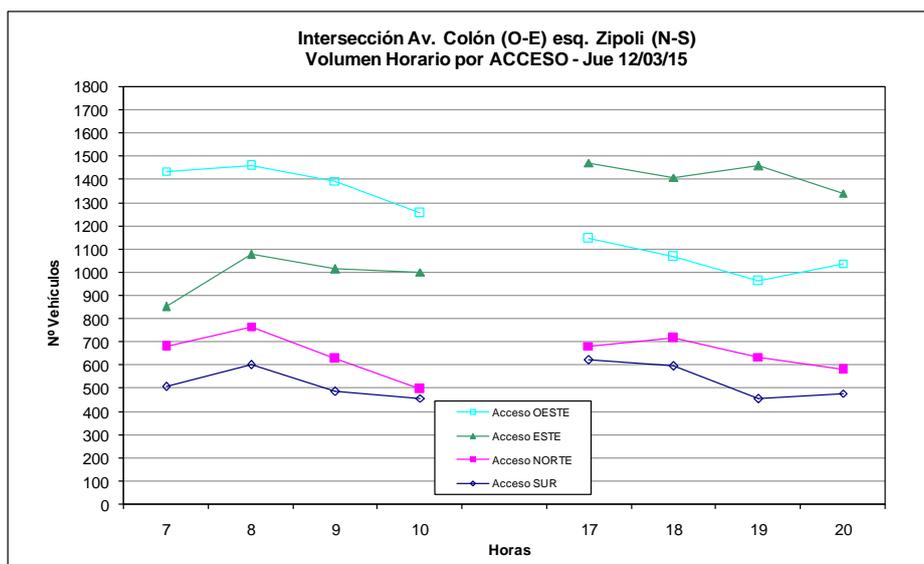


Figura N° 6: Volumen por acceso en Intersección N°4 (Domingo Zipoli)

Para establecer las horas pico matutinas y vespertinas en las cuales se produce la mayor demanda de tránsito en las intersecciones, se procedió a realizar la suma horaria de todos los volúmenes vehiculares concurrentes a las mismas, estableciendo como hora pico aquella en la que se concentra la mayor cantidad total de vehículos en la intersección, independientemente del tipo de movimiento que se trate.

En función del criterio expuesto, se ha comprobado que para un día hábil la hora pico matutina (HPM) en las cuatro intersecciones se registra entre las 8:00 y 9:00 hs. Asimismo, la hora pico vespertina (HPV) se ubica entre las 17 y 18 hs para las intersecciones N° 1 y 2, y entre 18 y 19 hs para las intersecciones N° 3 y 4. La Tabla N°1 resume la información de interés al respecto.

Tabla N°1: Volumen vehicular total de hora pico, según intersección y acceso.

Intersección	Tipo de día	Fecha	Hora Pico	Volumen por Acceso (veh/h)				
				Oeste	Este	Sur	Norte	TOTAL
1. Av. Colón - Sgda. Familia	Hábil	Jueves 20/11/14	8 a 9	1.892	990	678	812	4.372
			17 a 18	1.087	1.355	619	1.037	4.098
2. Av. Colón – P. Oñate			8 a 9	2.207	1.132	277	390	3.956
			17 a 18	1.398	1.491	221	331	3.441
3. Av. Colón – Bv. del Carmen	Hábil	Jueves 12/03/15	8 a 9	1.698	819	224	163	2.904
			18 a 19	1.319	1.428	227	257	3.231
4. Av. Colón - Zipoli			8 a 9	1.457	1.078	601	765	3.901
			18 a 19	1.066	1.408	596	717	3.787

3.1. Análisis Operacional y Tránsito Actual en Intersecciones

Intersección N°1 - Av. Colón - Av. Sagrada Familia: C = 85", con tres fases

- Fase 1: movimientos 7, 8 y 9 con 15" verde + 3" amarillo.
- Fase 2: movimientos 10, 11 y 12 con 22" verde + 3" amarillo.
- Fase 3: movimientos 2, 3, 5 y 6 con 38" verde + 4" amarillo.

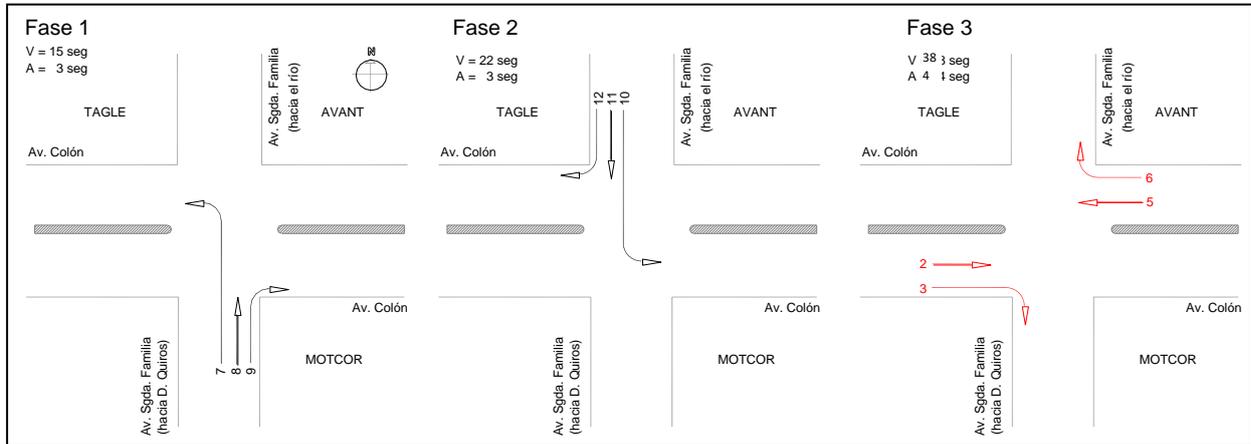


Figura N° 7: Fases de semáforo en intersección N°1 (Av. Sagrada Familia).

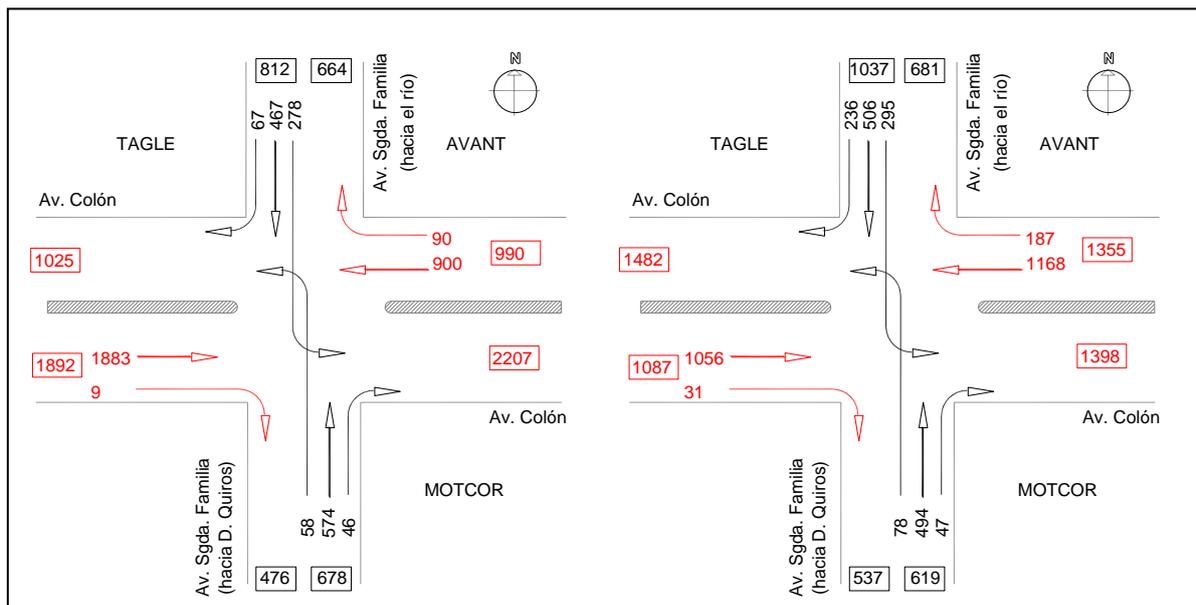


Figura N° 8: Volúmenes HPM y HPV en intersección N°1 (Av. Sagrada Familia - Nov. 2014)

Intersección N°2 - Av. Colón - P. Oñate: C = 85", con tres fases

- Fase 1: movimientos 8, 9, 11 y 12 con 18" verde + 3" amarillo.
- Fase 2: movimientos 4, 5 y 6 con 15" verde + 3" amarillo.
- Fase 3: movimientos 2, 3, 5 y 6 con 42" verde + 4" amarillo.

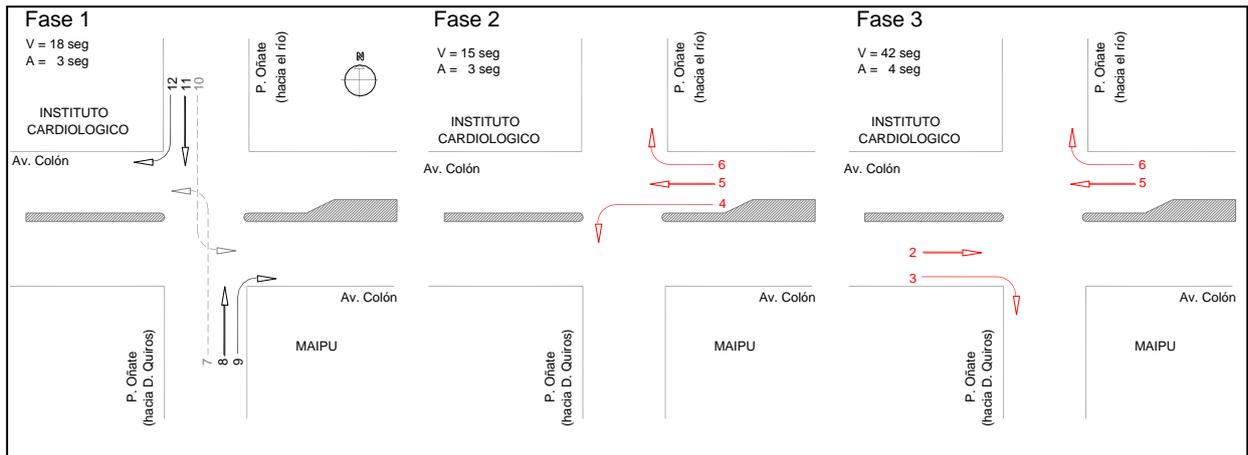


Figura Nº 9: Fases de semáforo en intersección Nº2 (P. Oñate).

Si bien los movimientos 7 y 10 (giros a la izquierda desde Oñate) no cuentan con fase propia, se han censado los mismos (dado que se registran de hecho), en función de lo cual cabe destacar que:

- **Movimiento 7:** representa entre un 14 y 20% (HPM y HPV respectivamente) del volumen horario total de rama Sur. En HPM es la mitad del giro a derecha y en HPV lo supera ampliamente.
- **Movimiento 10:** representa entre un 31 y 27% (HPM y HPV respectivamente) del volumen horario total de rama Norte. En HPM supera ampliamente al giro a derecha y en HPV resulta de similar magnitud que éste.

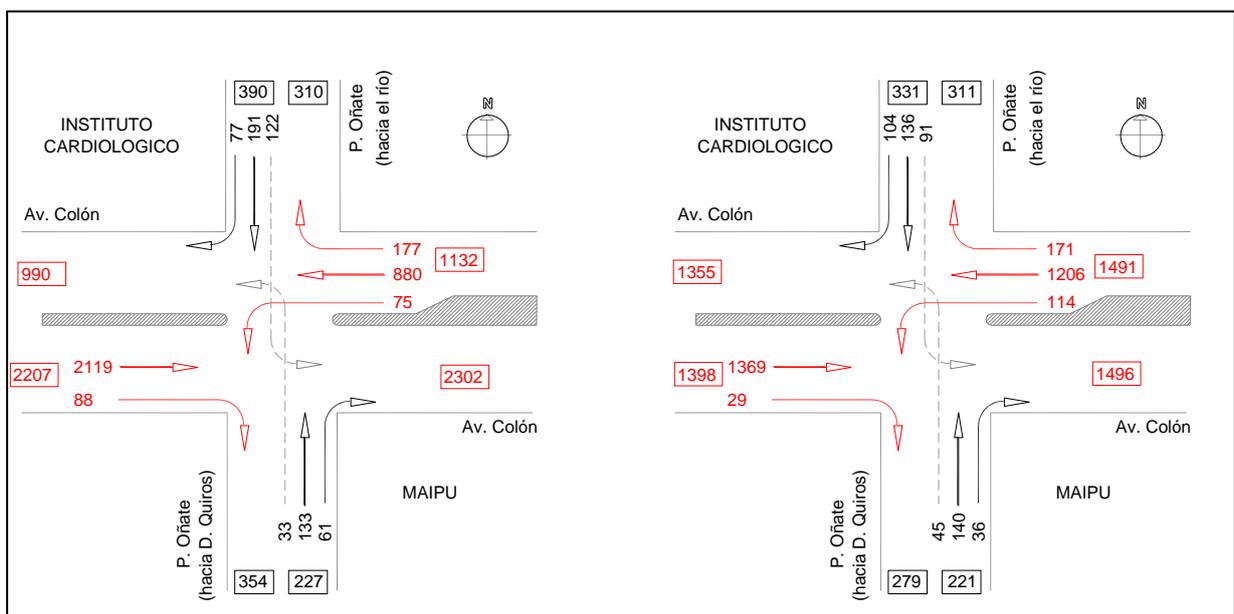


Figura Nº 10: Volúmenes HPM y HPV en intersección Nº2 (P. Oñate - Nov. 2014).

Intersección Nº3 - Av. Colón - Bv. del Carmen: C = 85", con tres fases

- Fase 1: movimientos 2, 3, 5 y 6 con 41" verde + 3" amarillo.
- Fase 2: movimientos 1, 2 y 3 con 15" verde + 3" amarillo.

- Fase 3: movimientos 7*, 8, 9, 10*, 11 y 12 con 15" verde + 3" amarillo.

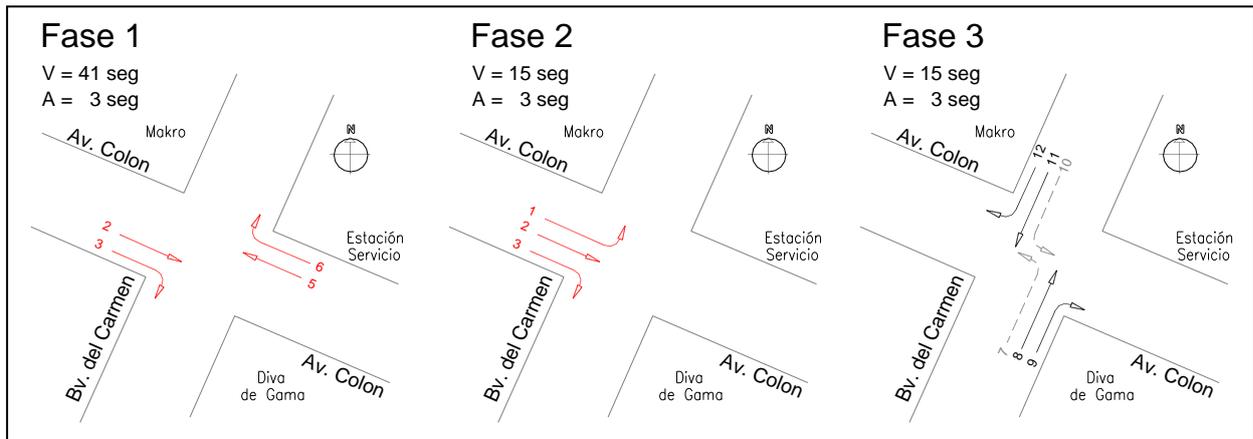


Figura N° 11: Fases de semáforo en intersección N°3 (Bv. del Carmen).

Esta intersección, presenta la particularidad de que se registran "de hecho" giros a la izquierda desde Bv. del Carmen que no cuentan con fase propia (protegidos). El de rama Norte (movimiento 10) resulta insignificante (9 veh/h), en tanto que el de rama Sur resulta de magnitud considerable (70 a 85 veh/h) en comparación con el resto de movimientos posibles en la misma. En tal sentido, cabe destacar que:

- Movimiento 7: representa entre un 38 y 30% (HPM y HPV respectivamente) del volumen horario total de rama Sur. En HPM cuadruplica al giro a derecha y en HPV lo duplica.
- Movimiento 10: representa entre un 5 y 3% (HPM y HPV respectivamente) del volumen horario total de rama Norte. En HPM representa la séptima parte del giro a derecha y en HPV resulta diez veces menor.

Se aprecia claramente la existencia de una demanda significativa de giro a izquierda desde rama Sur de Bv. del Carmen (movimiento 7) que actualmente no cuenta con fase propia. En la modelación de nivel de servicio de la intersección se ha tenido en cuenta dicha situación observada in-situ, considerando los giros a izquierda desde Bv. del Carmen como "permitidos" (comparten fase con pasantes y giros a derecha) en vez de "protegidos" (con fase propia).

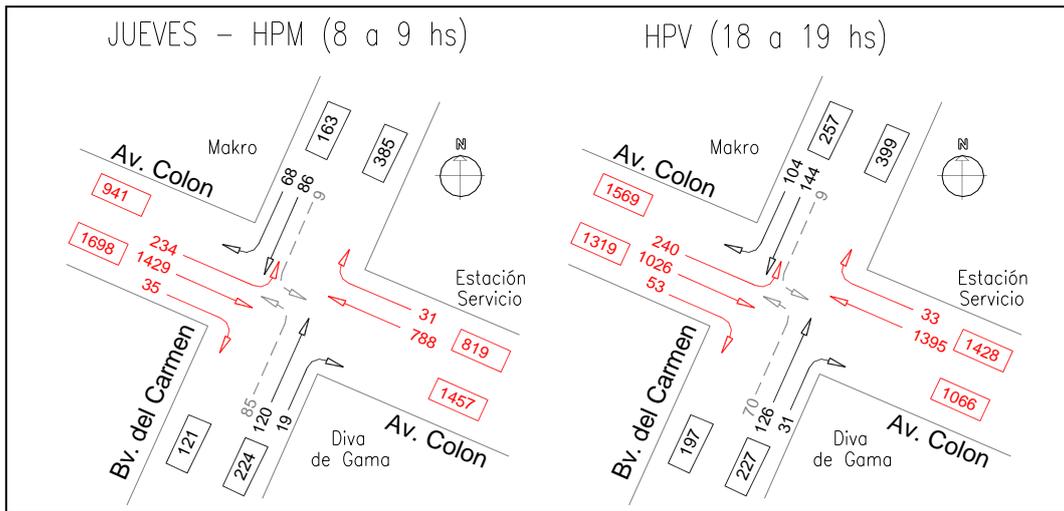


Figura Nº 12: Volúmenes HPM y HPV en intersección Nº3 (Bv. del Carmen - Mar. 2015).

Intersección Nº4 - Av. Colón - Zipoli: C = 85", con dos fases

- Fase 1: movimientos 2, 3, 5 y 6 con 54" verde + 3" amarillo.
- Fase 2: movimientos 8, 9, 11 y 12 con 23" verde + 3" amarillo.

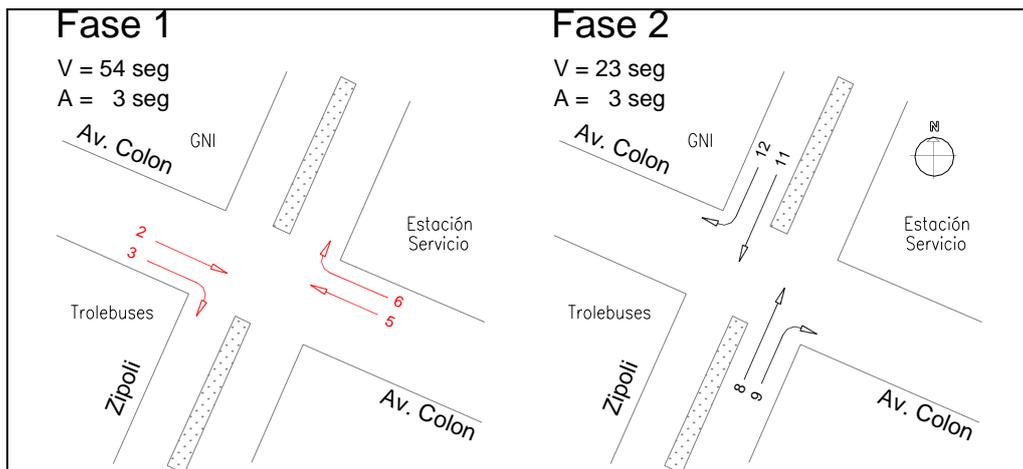


Figura Nº 13: Fases de semáforo en intersección Nº4 (Domingo Zipoli).

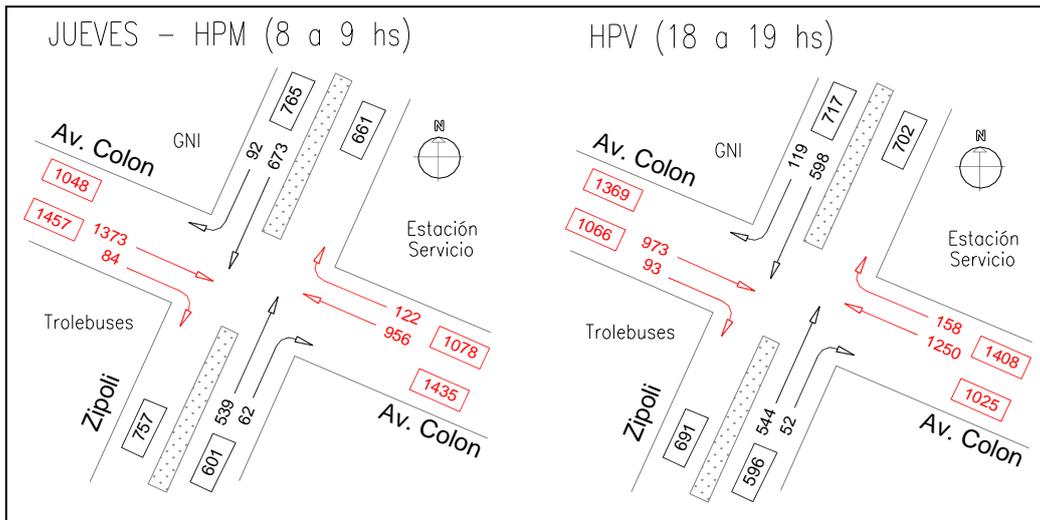


Figura N° 14: Volúmenes HPM y HPV en intersección N°4 (D. Zípoli - Mar. 2015).

4. CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO

Los estudios han sido realizados para dos períodos críticos del día: hora pico matutina (HPM) y hora pico vespertina (HPV) de la situación actual (años 2014-2015) en la cual se realizaron los censos de giros en cada intersección.

4.1. Manual de Capacidad (HCM 2000)

Las estimaciones de nivel de servicio en las intersecciones analizadas, se realizaron adoptando la metodología indicada en el Manual de Capacidad de Carreteras de Estados Unidos (HCM 2000 - Highway Capacity Manual), elaborado por el Transport Research Board y National Research Council.

Dicho Manual contiene diversas metodologías analíticas, para estudiar diversos casos de infraestructuras de transporte. En este caso particular se ha empleado el módulo del software correspondiente (HCS 2000, Highway Capacity Software 4.1c), que sirve para evaluar la capacidad y nivel de servicio de intersecciones reguladas por semáforos (capítulo 16).

Cada intersección ha sido analizada considerando el esquema geométrico y operativo existente en la misma (considerando actuales anchos de calzada, sentidos de circulación, cantidad de movimientos posibles, fases de semáforo, etc.).

A los fines del establecimiento de parámetros de aceptación de las situaciones planteadas, se pueden considerar los siguientes niveles:

- Niveles de Servicio A o B. Nivel de circulación más que aceptable (muy bueno).
- Nivel de Servicio C. Nivel de circulación aceptable (bueno).
- Nivel de Servicio D. Nivel de circulación admisible, con ligeras molestias en el momento de análisis (hora pico).
- Asimismo, niveles de servicio E o F se consideran inaceptables, ya que implican congestión y circulación forzada con elevadas demoras.

Una vez calculada la demora de un movimiento en particular, de un acceso de la intersección, y/o de la intersección en su conjunto, se determina el nivel de servicio comparando el valor obtenido con los rangos especificados en la siguiente Tabla.

*Tabla N°2: Nivel de servicio en intersecciones semaforizadas.
Fuente: Highway Capacity Manual. Capítulo 16. TRB. Año 2000.*

Nivel de Servicio	Demora de Control Promedio [seg/veh]
A	<10
B	> 10 - 20
C	> 20 - 35
D	> 35 - 55
E	> 55 - 80
F	> 80

4.2. NETSIM

NETSIM es un modelo microscópico de tránsito que forma parte del paquete CORSIM, desarrollado por la Administración Federal de Caminos de Estados Unidos de Norteamérica (FHWA). Es utilizado y actualizado desde el año 1970.

Permite estudiar el movimiento individual de vehículos circulando en una red de tránsito urbana. Tiene en cuenta características de los vehículos, el comportamiento de los conductores y las condiciones del entorno, tales como la presencia de peatones cruzando las intersecciones.

NETSIM modela el movimiento individual de los vehículos a intervalos de un segundo. Cada vehículo es considerado un objeto distinto al que se le asignan aleatoriamente características tales como tipo auto, camión u ómnibus (nueve categorías están disponibles), velocidades deseadas, capacidad de aceleración o tipo de respuesta a los condicionantes del tránsito.

Segundo a segundo el modelo calcula la posición tanto lateral como longitudinal de cada vehículo, la velocidad instantánea, tiempo y aceleración. El rango de velocidades que cada vehículo experimenta a lo largo del arco está influenciado por el control del tránsito y por los vehículos circundantes. Las tasas de aceleración correspondientes a cada velocidad instantáneamente generada están restringidas por el modelo de seguimiento y por las capacidades máximas de aceleración, que son función de las velocidades.

El modelo Netsim está desarrollado por medio de tarjetas de 80 columnas. Cada N° de tarjeta responde a una necesidad diferente del modelo; pueden ser tarjetas de carácter genérico, para descripción de cuestiones generales del modelo, nombre del usuario, tipo de corrida, duración, etc.; tarjetas que describen las características geométricas de la red, tarjetas para ingreso de datos del tránsito y las que indican las características del control.

Netsim produce un archivo de salida de la simulación donde resume los datos de ingreso, resultados de las instancias previas al inicio de la corrida, resultados intermedios y los

correspondientes a todo el periodo de análisis. También puede especificarse una salida para un periodo particular.

El modelo reporta medidas de eficiencia entre las que pueden nombrarse, para la evaluación de intersecciones semaforizadas, las siguientes:

Demora en cola por vehículo (seg por veh): calculada tomando los vehículos que han tenido tasas de aceleración menores que 2 pies/seg² (0.6 m/seg²) y velocidades menores a 9 pies/seg (2.7 m/seg). Netsim utiliza como concepto de demora de control por vehículo (seg/veh) el utilizado por el Manual de Capacidad en su versión del año 1997, incluyendo la demora por deceleración, tiempo de movimiento en cola, demora parado y la demora por aceleración.

Tiempo parada por vehículo (seg por veh): considerando el tiempo en que la velocidad es menor a 3 pies por segundo (1 m/seg) en un arco y los tiempos de permanencia de los ómnibus en las paradas.

Porcentaje de paradas: proporción entre el número de vehículos que pararon al menos una vez en un arco y el total de viajes en el arco.

Volumen promedio (veh por hora): Total de viajes dividido por el tiempo de la simulación.

Longitud de la cola por carril (veh): La máxima longitud de la cola que fue observada en un carril desde el comienzo de la simulación.

Número de cambio de carriles: El número de cambios de carriles que ocurre en un arco durante la corrida de la simulación.

Vehículos descargados por carril

Transporte de pasajeros: el modelo devuelve como resultado de la simulación la cantidad de viajes de ómnibus, tiempo total de viaje (bus-min), tiempo medio de viaje (seg/bus), viajes de personas y tiempo-personas que viajan (min).

5. RESULTADOS DE LAS MODELACIONES

En el caso del HCS 2000, los valores indicados se corresponden con los resultados obtenidos de modelar las horas pico matutina y vespertina para los volúmenes de giro respectivos, señalados previamente en apartado 3.1. Una de las ventajas que presenta el mismo es que se obtienen varios indicadores detallados, tales como: relación v/c, demora y nivel de servicio por movimiento (giros exclusivos) y/o accesos (ramas de la intersección), así como un indicador global para la intersección en conjunto.

Atento que el Software NETSIM (microsimulación) genera aleatoriamente la cantidad de vehículos que ingresan al sistema modelado, los resultados que se indican a continuación para este caso, responden a valores promedio de "demora en cola por vehículo" (seg/veh)

resultantes de realizar diez corridas del mismo modelo de análisis. Asimismo, cabe agregar que en este caso se obtiene un solo indicador, con menor detalle que en el caso anterior atento el objetivo que motiva el presente trabajo. Para definir el nivel de servicio obtenido con este software, se ha comparado el valor de demora en cola obtenido como resultado, con los valores de referencia señalados por HCS 2000 (*Tabla N°2*).

Se describen a continuación los resultados obtenidos para cada una de las intersecciones analizadas.

5.1. Av. Colón - Sagrada Familia

En términos generales se aprecia que las **demoras** estimadas con NETSIM para niveles de servicio altos (B y C) resultan entre 35 a 40 % menores (7 a 9 seg/veh) que las estimadas según HCS. En este caso se observa un resultado particular según HCS para el sentido de circulación hacia el Este por Av. Colón, ya que el nivel de servicio así definido resulta totalmente disímil al estimado mediante NETSIM (nivel E vs. B).

Para el caso de niveles de servicio deficientes (F), dichas demoras resultan en el orden de 50 a 60% menores. En un caso particular, donde la relación v/c estimada según HCS resulta próxima a la unidad (1,03), las demoras estimadas con Netsim resultan 35% menores que las de HCS.

En lo que respecta a niveles de servicio, se aprecia que los mismos resultan prácticamente coincidentes en todos los accesos de la intersección analizada. En el caso de Av. Colón (dirección E-O) el nivel de servicio "C" para HPV que se obtiene con HCS se encuentra prácticamente en el límite con el nivel de servicio "B" (demora < 20 segundos).

Tabla N°3: Nivel de servicio Intersección N°1 (HPM/HPV)

Rama	HCS 2000				NETSIM		
	v/c	Mov/Acceso		Intersección		Acceso	
		Demora de Control [seg]	NdS	Demora de Control [seg]	NdS	Demora en Cola [seg]	NdS
HPM (8 a 9 hs)							
Hacia E	0,96	60,6	E	117,1	F	15,7	B
Hacia O	0,54	18,3	B			11,5	B
Hacia N	1,32	313,2	F			138,4	F
Hacia S	1,03	214,1	F			139,4	F
HPV (17 a 18 hs)							
Hacia E	0,64	20,4	C	139,7	F	13,3	B
Hacia O	0,72	22,7	C			13,2	B
Hacia N	1,17	249,8	F			122,5	F
Hacia S	1,41	373,8	F			142,6	F

El siguiente gráfico resume los datos mostrados en la tabla anterior; en abscisas se muestra la relación v/c y el nivel de servicio obtenido según el HCS y en ordenadas el NS según Netsim. El rectángulo en rojo destaca un acceso para el cual el resultado de los dos softwares empleados es muy dispar (rama hacia el E en horario matutino); Netsim sobreestima el NS respecto de HCS.

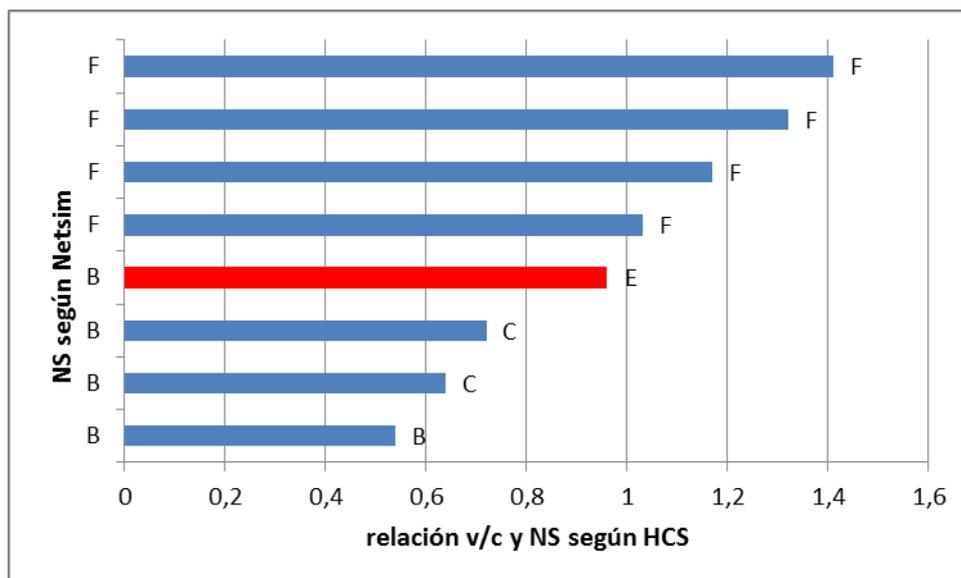


Figura N° 155: Nivel de servicio Intersección N°1 (HPM/HPV)

5.2. Av. Colón - Pedro Oñate

Esta intersección presenta la particularidad de que registra un giro a la izquierda desde Av. Colón (rama Este) hacia Oñate, del cual se estima demora y nivel de servicio según HCS, pero esto no resulta posible realizarlo con NETSIM, por lo que la comparación se realiza considerando el movimiento principal de la rama (pasantes y giro a derecha). En este caso aplican similares conclusiones generales señaladas para la intersección anterior, con la particularidad de que en este caso, la rama Sur de esta intersección (Oñate) según NETSIM, presenta un nivel de servicio sensiblemente diferente (D) al estimado con HCS (F).

Tabla N°4: Nivel de servicio Intersección N°2 (HPM/HPV)

Rama	HCS 2000				NETSIM		
	v/c	Mov/Acceso		Intersección		Acceso	
		Demora de Control [seg]	NdS	Demora de Control [seg]	NdS	Demora en Cola [seg]	NdS
HPM (8 a 9 hs)							
Hacia E	1,01	72,2	E	135,9	F	8,7	A
Hacia O	*0,31	34,3	C			7,6	A
	0,37	2,3	A			49,0	D
Hacia S	0,99	837,7	F			159,3	F
HPV (17 a 18 hs)							
Hacia E	0,70	17,2	B	54,5	D	5,8	A
Hacia O	*0,49	38,6	D			9,0	A
	0,48	2,7	A			43,1	D
Hacia S	0,76	449,6	F			158,1	F

* Giro izquierda

En el gráfico siguiente se destaca el acceso hacia el Este en horario matutino para el cual NETSIM resulta con un NS "A" mientras que HSC da un NS "E". En otros dos accesos NETSIM también sobrestima el NS pero el rango de diferencia es menor ("D" a "F").

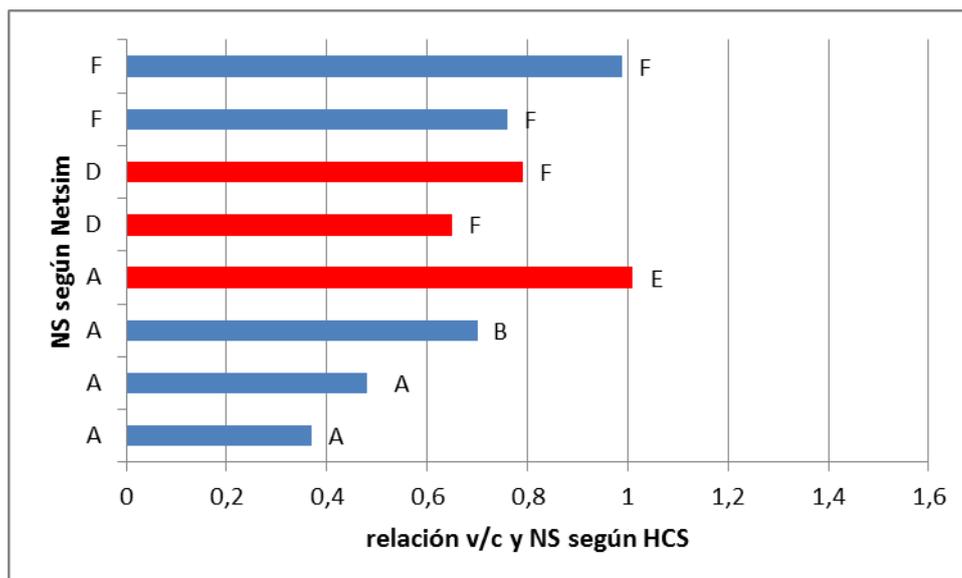


Figura N° 166: Nivel de servicio Intersección N°2 (HPM/HPV)

5.3. Av. Colón - Bv. del Carmen

Esta intersección también presenta un giro a la izquierda desde Av. Colon (rama Oeste) hacia Bv. del Carmen, del cual se estima demora y nivel de servicio según HCS, pero esto no resulta posible realizarlo con NETSIM. Asimismo tiene también un giro a derecha exclusivo desde la rama Norte de Bv. del Carmen.

Además de resultar aplicable también en este caso lo expresado anteriormente en relación a las demoras estimadas según HCS y NETSIM, cabe destacar que los niveles de servicio estimados mediante ellos, resultan prácticamente iguales en tres ramas de la intersección, excepto la de Av. Colón con sentido el Centro (Hacia E), donde la demora estimada por NETSIM prácticamente cuadriplica la calculada mediante HCS.

Tabla N°5: Nivel de servicio Intersección N°3 (HPM/HPV)

Rama	HCS 2000						NETSIM		
	v/c	Mov/Acceso		Acceso		Intersección		Acceso	
		Demora de Control [seg]	NdS	Demora de Control [seg]	NdS	Demora de Control [seg]	NdS	Demora en Cola [seg]	NdS
HPM (8 a 9 hs)									
Hacia E	*0,80	52,7	D	9,8	A	34,8	C	34,5	C
	0,68	3,7	A						
Hacia O	0,40	10,8	B	10,8	B				
Hacia N	1,53	301,4	F	301,4	F				
Hacia S	0,40	34,9	C	34,2	C				
	**0,29	33,0	C						
HPV (18 a 19 hs)									
Hacia E	*0,85	57,9	E	12,2	B	85,8	F	46,3	D
	0,47	2,2	A						
Hacia O	0,62	13,3	B	13,3	B				
Hacia N	2,86	898,8	F	898,8	F				
Hacia S	0,66	43,3	D	40,9	D				
	**0,45	36,8	D						

* Giro Izquierda

** Giro Derecha

En esta intersección, a diferencia de las dos anteriores, NETSIM subestima el NS respecto de HCS. Aquí las dos diferencias más notables se presentan en el mismo acceso (hacia el Este); en el horario matutino NETSIM estima NS “C” (y HCS “A”) mientras que en el vespertino es “D” contra el “B” estimado por HSC.

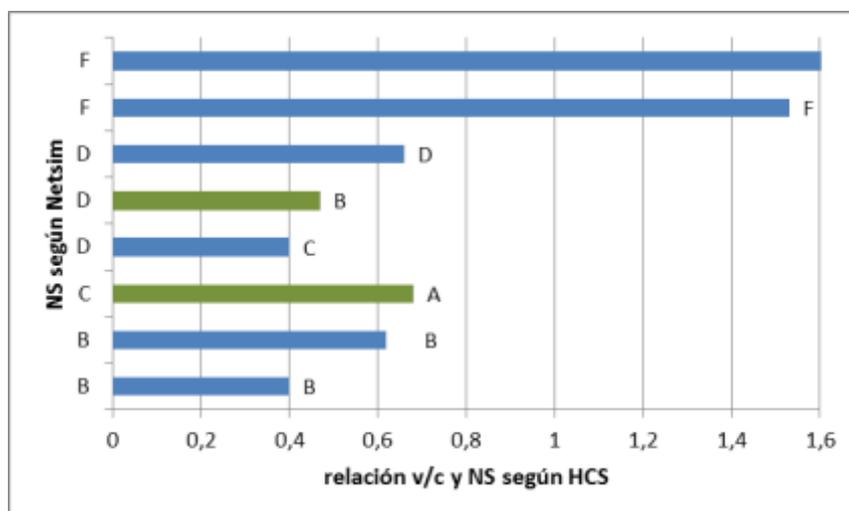


Figura N° 177: Nivel de servicio Intersección N°3 (HPM/HPV)

5.4. Av. Colón - Domingo Zipoli

En esta intersección la mayor diferencia en la estimación de demoras según NETSIM y HCS, se registra sobre Domingo Zipoli, dirección N-S (ver rectángulo en rojo en Figura 18), aunque en todos los casos los niveles de servicio resultan prácticamente coincidentes. En los casos donde no coinciden (rama Norte de la intersección, con sentido Hacia S) se observa que la diferencia de nivel de servicio se debe a que las demoras estimadas se ubican muy próximas al límite de tiempo que diferencia uno de otro.

Tabla N°6: Nivel de servicio Intersección N°4 (HPM/HPV)

Rama	HCS 2000				NETSIM		
	v/c	Mov/Acceso		Intersección		Acceso	
		Demora de Control [seg]	NdS	Demora de Control [seg]	NdS	Demora en Cola [seg]	NdS
HPM (8 a 9 hs)							
Hacia E	0,54	6,0	A	16,9	B	2,5	A
Hacia O	0,41	4,2	A			5,4	A
Hacia N	0,72	41,5	D			26,2	C
Hacia S	0,79	37,5	D			55,7	E
HPV (18 a 19 hs)							
Hacia E	0,38	4,1	A	19,2	B	2,9	A
Hacia O	0,48	5,6	A			5,6	A
Hacia N	0,60	30,3	C			25,4	C
Hacia S	0,85	56,9	E			46,1	D

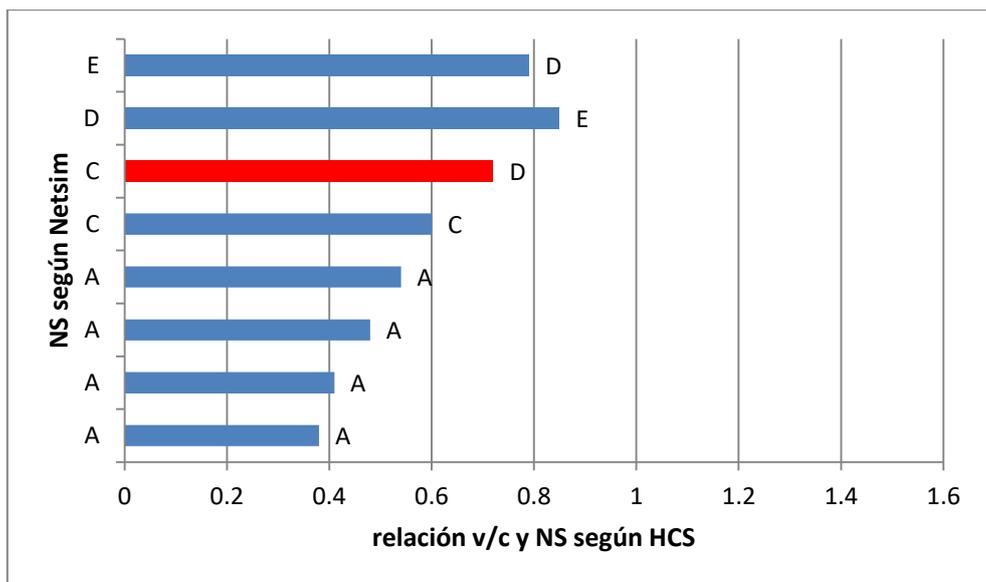


Figura N° 188: Nivel de servicio Intersección N° 4 (HPM/HPV)

5.5. Análisis Comparativo de las Modelaciones

De la comparación de las modelaciones de las intersecciones con los dos software, de los 32 resultados - dos modelaciones, matutina y vespertina, por cada uno de los 16 accesos -, se observa que: en 19, los Niveles de Servicios son iguales; en 7 los Niveles de Servicios difieren entre los software en un nivel y en 6 resultados, en 2 o más niveles.

Es decir que cerca del 60 % de los casos coinciden los Niveles de Servicio modelados por el HCS 2000 y el NETSIM, el 22 % de los casos presentan una diferencia de 1 nivel y el 18 % de resultados arrojan diferencias de 2 o más niveles.

Las demoras estimadas por cada software arrojan valores que van desde la coincidencia hasta diferencias de más de ocho veces entre uno y otro. En 10 resultados las demoras arrojan una diferencia menor al 50 %; 7 resultados presentan diferencias entre un 50 y 100 %; 9 resultados difieren entre el 100 y 200 % y en 6 oportunidades los valores difieren en más de dos veces.

Los resultados anteriormente expuestos no muestran relaciones claras entre los dos softwares empleados. En algunas intersecciones NETSIM sobreestima el NS respecto de HCS, mientras que en otra, lo subestima. No se detectó una condición puntual en la cual se dieran estos resultados, como podría haber sido las situaciones en la que los accesos presentan una relación v/c cercana a la unidad.

6. DETERMINACION DE DEMORAS CON MEDICION EN CAMPO

Para determinar las demoras a partir de mediciones en campo se adoptó la metodología propuesta en el Manual de Capacidad de Carreteras de Estados Unidos 2000 (HCM 2000 - Highway Capacity Manual). En el Anexo A, del Capítulo 16, se describen la metodología y

los procedimientos para las mediciones en campo de las demoras y las ecuaciones a aplicar para calcular las demoras del grupo de carriles.

El método prevé la medición de los vehículos demorados en cada grupo de carriles durante 15 minutos, en intervalos de entre 10 a 20 segundos, de tal manera que la cantidad de intervalos no sea un divisor entero del ciclo del semáforo de la intersección.

Además de contar la cantidad de vehículos demorados en cada intervalo, se debe contabilizar la cantidad total de vehículos que acceden a la intersección durante los 15 minutos. Por otra parte se deben contar la totalidad de los vehículos detenidos.

La ecuación para calcular el tiempo de demora en cola de cada vehículo “d” es:

$$d = dvq + dad$$

Donde:

dvq: Tiempo en cola por vehículo (seg)

dad: Corrección por demora por aceleración / deceleración

$$dvq = \left(I_s \times \frac{\sum V_{iq}}{V_{tot}} \right) \times 0,9$$

En la cual:

I_s: Duración del Intervalo de Conteo (seg).

$\sum V_{iq}$: Sumatoria de los vehículos en cola en cada Intervalo de Conteo (veh).

V_{tot}: Total de Vehículos que llegan a la intersección (veh).

0,9: factor de ajuste empírico.

Y:

$$dad = FVS \times CF$$

Con:

FVS: Fracción de vehículos parados

CF: Factor de Corrección por aceleración / deceleración, dado por la Tabla A16-2 del HCM 2000.

6.1. MEDICIÓN DE CAMPO

Se realizó la medición de los cuatro accesos de la intersección N° 2, Av. Colón – Pedro Oñate. Resultando los siguientes valores:

Tabla N°7: Resumen de mediciones y demoras en los Accesos de **Av. Colón y P. Oñate**

ACCESO	Av. Colón al	Av. Colón al	Pedro Oñate al	Pedro Oñate al
--------	--------------	--------------	----------------	----------------

	Oeste	Este	Sur	Norte
V total	478	421	111	44
V stop	180	173	111	27
∑ Veh. en cola	429	295	1.396	91
dvq	12,1	9,5	170	28
FVS	0,38	0,41	1,00	0,61
Nº Veh stop/ca.ci	10	10	19	5
CF	2	2	2	5
dad	0,75	0,82	2,00	3,07
d	12,9	10,3	172	31

6.2. COMPARATIVA DE RESULTADOS

En las siguientes tablas se muestra, a modo de resumen, la comparación de los resultados de la aplicación de cada uno de los softwares, HCS 2000 y NETSIM, y los obtenidos por medición en campo en cada uno de los cuatro accesos de la intersección.

Tabla N°8: Comparativa de Nivel de Servicio s/ Método – Av. Colón hacia el OESTE

Método	Tránsito			Demora		NdS	
	(veh/hora) – (veh/15min)			(Seg)		Movim	Acc
	Movimiento	Acceso		Movimiento	Acceso		
HCM	Giro Derecha	171	1.491 veh/ h	2,7	5,4	A	A
	Pasantes	1.206					
	Giro Izquierda	114		38,6		D	
NETSIM	1.491 veh/h			9,0		A	
MEDICION EN CAMPO	478 veh/15min			12,9		B	

Tabla N°9: Comparativa de Nivel de Servicio s/ Método – Av. Colón hacia el ESTE

Método	Tránsito			Demora		NdS	
	(veh/hora) – (veh/15min)			(Seg)		Movim	Acc
	Movimiento	Acceso		Movimiento	Acceso		
HCM	Giro Derecha	29	1.398 veh/ h	17,2	17,2	B	B
	Pasantes	1.369					
	Giro Izquierda	0					
NETSIM	1.398 veh/h			5,8		A	
MEDICION EN CAMPO	421 veh/15min			10,3		B	

Tabla N°10: Comparativa de Nivel de Servicio s/ Método – Pedro Oñate hacia el SUR

Método	Tránsito			Demora		NdS	
	(veh/hora) – (veh/15min)			(Seg)			
	Movimiento	Acceso		Movimiento	Acceso	Movim	Acc
HCM	Giro Derecha	104	331 veh/ h	449,6	449,6	F	F
	Pasantes	136					
	Giro Izquierda	91					
NETSIM	331 veh/h			158,1		F	
MEDICION EN CAMPO	111 veh/15min			172		F	

Tabla N°11: Comparativa de Nivel de Servicio s/ Método – Pedro Oñate hacia el NORTE

Método	Tránsito			Demora		NdS	
	(veh/hora) – (veh/15min)			(Seg)			
	Movimiento	Acceso		Movimiento	Acceso	Movim	Acc
HCM	Giro Derecha	36	221 veh/ h	86,9	86,9	F	F
	Pasantes	140					
	Giro Izquierda	45					
NETSIM	221 veh/h			43,1		D	
MEDICION EN CAMPO	44 veh/15min			31		C	

7. CONCLUSIONES

En cuanto a los resultados de las demoras y los Niveles de Servicios asociados y su comparación respecto de los resultados obtenidos por los dos software, no se observa una coincidencia plena con ninguno de los dos modelos.

Frente a estos resultados y a los fines de poder validar y/o precisar la aplicabilidad en condiciones locales los softwares analizados se recomienda la repetición de determinación de las demoras y niveles de servicios en una mayor cantidad de intersecciones, tanto con la aplicación de los softwares como con la medición de campo.

Las intersecciones que se elijan deberían presentar diferentes características en su geometría, en el flujo de tránsito y en diferentes horarios, no solo en condiciones de horas punta para evitar situaciones de desborde del acceso.

8. BIBLIOGRAFIA

Albrieu Laura, *Factores locales para cálculo de demora en intersecciones semaforizadas*, Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería – Mención Transporte, Director Galarraga J., Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. (2014).

Berardo, María G.; Freire, Rodolfo G.; Marchesini Paula; Tartabini, Mauro I.; Vanoli, Gustavo D. Cátedra Transporte II – FCEF y N - Universidad Nacional de Córdoba. Evaluación de la Aplicación de Softwares para Análisis de la Operación del Tránsito en Intersecciones Urbanas. Xº Congreso de la Vialidad Uruguaya. Montevideo. (2015).

Galarraga J., Albrieu L., Depiante V, Herz M. *Simulación de tránsito con modelos microscópicos*. XIII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, C1-179, Buenos Aires. (2001).

Galarraga J., Herz M., Albrieu L., Depiante V. *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. (2001).

Galarraga J; Herz M; Albrieu L. (2005). *Capacidad y Nivel de Servicio en Calles Urbanas*. XIV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Buenos Aires (2005).

Kaman Science Corporation. Federal Highway Administration, Turner-Fairbank Highway Research Center, *TSIS Users Guide, Versión 4.3.1*. Washington DC (1998).

Kaman Science Corporation. Federal Highway Administration, Research, Development and Technology, Turner-Fairbank Highway Research Center. *TSIS Users Guide, Versión 3.00*. Washington DC (1992).

May, A. D., *Traffic Flow Fundamentals*, Prentice Hall, New Jersey, (1990)

Radelat E. Guido; *Simulation Developments in Progress: The Application of Traffic Simulation Models*. Special Report 194. National Academy of Sciences. Washington DC (1981).

TRB (Transportation Research Board), *Highway Capacity Manual*, National Research Council, Washington, D.C., EUA. (2000)

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

US Department of Transportation. Federal Highway Administration, Office of Traffic Operations, *Traf-Netsim Users Manual*. Washington DC (1988).