

# **SEMAFORIZACION FIJA DE VIAS DE DOS SENTIDOS (1+1) SIN RESTRICCION DE MOVIMIENTOS POR RAZONES DE SEGURIDAD VIAL, SOLUCION NO RECOMENDABLE Y ANTIECONOMICA**

J. Julián Rivera – Subdirector LEMaC

LEMaC Centro de Investigaciones Viales  
Universidad Tecnológica Nacional, Fac. Reg. La Plata – Argentina  
Calle 60 y 124 (1900) La Plata, Bs. As. Te/Fax: 0054-221-4890413. [lemac@frlp.utn.edu.ar](mailto:lemac@frlp.utn.edu.ar)  
[www.frlp.utn.edu.ar/lemac](http://www.frlp.utn.edu.ar/lemac)

## **RESUMEN**

Las intersecciones de vías urbanas de dos sentidos con un carril por sentido (1+1) son habituales en Argentina y el resto de Latinoamérica. Generalmente cuando la demanda y los accidentes sobre intersecciones aisladas de estas vías se tornan elevados, la población reclama la colocación de semáforos, asumiendo una efectividad de los mismos en tales sentidos. Pero complementariamente este tipo de reclamos no suele venir acompañado de un análisis adecuado de si el semáforo es el elemento de seguridad vial más adecuado y de una aptitud al cambio por parte de la población, ya que se pretende que ningún movimiento sea restringido. Esto deja sólo como opción el empleo de semáforos de cuatro fases, solución no necesariamente óptima desde el punto de vista de la seguridad vial y desaconsejable por muchos autores que entienden de la ingeniería de tránsito.

El presente trabajo analiza esta situación y establece una herramienta por micro-simulación, utilizable por los responsables municipales del ordenamiento de tránsito, que permite demostrar que en este tipo de intersecciones existen alternativas válidas a la semaforización y/o que no debería semaforizarse sin sacrificar movimientos con semáforos de tiempo fijo.

Las tareas relacionadas con este aporte son parte del proyecto I+D “Empleo de micro-simulación de tránsito para análisis de soluciones viales”, incluido en el Programa de Incentivos del Ministerio de la Nación, llevado adelante por el LEMaC con el apoyo de la empresa PSA Peugeot-Citroen Argentina.

## **1. INTRODUCCION**

En intersecciones aisladas entre vías urbanas 1+1, habituales en las tramas urbanas argentinas, es común que ante aumentos en la demanda y en los índices accidentológicos la población reclame la colocación de semáforos para regular el tránsito y como medida de seguridad vial, asumiendo una efectividad de los mismos en tales sentidos. Pero complementariamente estos reclamos no suelen venir acompañados de una aptitud al cambio ni de un análisis profundo de si esta es la solución de seguridad adecuada, pretendiéndose además que ningún movimiento sea restringido. Estas circunstancias dejan sólo como solución el empleo de semáforos de cuatro fases, lo cual resulta desaconsejable por muchos autores que entienden de la ingeniería de tránsito.

A lo ya descrito debe adicionarse que muy difícilmente un municipio de envergadura no significativa pueda contar con una dirección especializada en la instalación y mantenimiento de instalaciones semaforicas, lo cual se traduce, al menos aun hoy en día, en el empleo exclusivo de semáforos de tiempos fijos en estas poblaciones.

Para ayudar a los responsables municipales de las áreas de tránsito a demostrar que en estos casos y con estos condicionantes, estas soluciones pueden no ser adecuadas desde el punto de vista de la seguridad vial y no ser técnico-económicamente óptimas, se decide efectuar un análisis general al respecto empleando condicionantes locales habituales. Se demuestra así que en este tipo de intersecciones existen opciones válidas a la semaforización y/o que no debería semaforizarse sin sacrificar movimientos, al menos mediante el empleo de semáforos de tiempo fijo.

## **2. CAMPO DE APLICACIÓN DE LOS SEMAFOROS DE TIEMPO FIJO COMO ELEMENTOS DE SEGURIDAD VIAL**

La forma directa de evidenciar que un dispositivo de control de tránsito sirve a los efectos de otorgar "seguridad vial" es posiblemente la disminución de la accidentología, pero este requisito por si sólo no justifica la instalación de semáforos. Esto se debe a que en muchas ocasiones suceden más accidentes después de instalarlos que antes, por lo tanto, si ninguno de los requisitos habituales para la

colocación de semáforos (volumen mínimo de vehículos, interrupción de tránsito continuo, volumen mínimo de peatones, circulación progresiva), exceptuando el relativo a los accidentes, se satisface, debe presuponerse que no será necesario instalar un semáforo.

Aclarado este punto, entonces si es válido decir que los requisitos relativos a los accidentes se satisfacen si:

- Otros procedimientos menos restrictivos, que se han experimentado satisfactoriamente en otros casos, no han reducido la frecuencia de accidentes.
- Cinco o más accidentes hayan ocurrido en los últimos doce meses y cuyo tipo sea susceptible de corregirse con semáforos y en los que hubo heridos o daños físicos con valor mayor a treinta veces el salario mínimo vigente.
- Existen volúmenes de peatones y vehículos no menores al 80 % de los que se especifican para los requisitos de los volúmenes mínimos.
- La instalación del semáforo no desorganiza la circulación progresiva del tránsito.

Complementariamente es recomendable que los semáforos que se instalen con base a la experiencia de los accidentes deben ser del tipo semiaccionados y si se instalan en una intersección aislada del tipo totalmente accionados (Cal y Mayor R., Cárdenas J. 1995).

### **3. CONSIDERACIONES DE BASE PARA LA SIMULACION**

En trabajos técnicos anteriores, los autores han determinado mediante micro-simulación el ámbito de empleo de mini-rotondas urbanas de dos carriles vs. intersecciones simples en vías urbanas 1+1 (Rivera J. et al 2007b). En el presente trabajo se complementa el análisis comparativo estableciendo el ámbito de empleo ideal (en forma técnico-económica) para semaforización de tiempo fijo sobre esta misma tipología de intersección. Para esto se emplean nuevamente herramientas de micro-simulación y una metodología simplificada de cálculo de fases derivada del HCM2000 (Rivera J. 2007a).

Las condiciones base sobre las que se efectúan las micro-simulaciones y los pasos y resultados del análisis son:

- Tránsito de solo automóviles con longitud de 4,3 m y máxima desaceleración en emergencia de  $4,6 \text{ m/s}^2$  y en situaciones de no emergencia de  $2,4 \text{ m/s}^2$ .
- Ingreso de los vehículos al sistema en intervalos con distribución normal.
- Intersección de vía principal de dos sentidos con un carril por sentido (1+1) y vía secundaria de idéntica geometría.
- Vía principal y secundaria sin carriles de estacionamiento, con velocidad de flujo libre de 40 km/h (máxima admisible para vías de estas características según la Ley Nacional de Tránsito 24.449).
- Anchos de carril 3,65 m.
- Giros a izquierda y derecha en 10 % del volumen cada uno, según lo recomendado por HCM ante la ausencia de datos locales (Default values in absence of turning movement data, Chapter 10 – Urban street concepts signalized intersections).
- Tiempo de simulación 1 hora.
- Configuración básica de intersección sirviendo a 4 cuadras de 100 m cada una.
- Volúmenes horarios de 100, 300, 500 y 700 veh/sentidoxhora, en sus combinaciones vía principal – vía secundaria, considerados flujos de hora pico para el ingreso posterior a las tablas resultantes.
- Los parámetros indicadores obtenidos de la micro-simulación son Tiempo Total (TT), constituido por la sumatoria del Tiempo de Recorrido (TR) de todos los vehículos simulados desde el ingreso hasta la salida del sistema y el Tiempo de Demora (TD) de estos mismos vehículos (por detenciones o por tramos en donde no pueden alcanzar la velocidad máxima de flujo libre establecida).
- Para el análisis deben llevarse las comparaciones a términos monetarios. Para esto, suponiendo un costo de operación medio por recorrido de 0,50 \$/km (considerar \$ 3,1 por dólar estadounidense) y un recorrido de 40 km/h, en función de la velocidad máxima de flujo libre buscada, podemos suponer un costo por recorrido de 20 \$/hora para los vehículos en hora pico dada por los volúmenes con que se ingresa al cuadro.

- Suponiendo que la intersección normal ya se encuentra pavimentada y que, en función del mercado actual, para la rotonda de dos carriles de \$ 350.000 (aproximadamente 250 \$/m<sup>2</sup> por pavimentación, más demolición, señalización y demarcación) y para la intersección semaforizada de \$ 45.000 de obra (semaforización, señalamiento, demarcación, etc.) y \$ 2.000 de consumo y mantenimiento por año. Una vida útil de la obra de 15 años de 52 semanas de 5 días típicos con 6 horas “pico” en las cuales es justificable la obra (tres por la mañana y tres por la tarde), tenemos un costo por hora de \$ 15 para la mini-rotonda de dos carriles y de \$ 3 para la semaforización. Para simplificar el análisis no se incluyen los conceptos de tasas de descuento para llevar los valores monetarios al año 0, ya que esta consideración nos pone del lado de la seguridad al analizar costos de funcionamiento del semáforo un poco por debajo de los que se tendría. En realidad, se han considerado adrede costos de la mini-rotonda altos y costos de obra y mantenimiento de semaforización bajos para reforzar la hipótesis planteada.
- La elección de la solución óptima se basa en tomar el menor costo total (costo por recorrido más costo de obra) entre las tres alternativas (se analiza el costo de recorrido por hora por el TT más el costo de la obra por hora).
- Los costos totales para la intersección simple y la mini-rotonda de dos carriles se obtienen de un trabajo técnico anterior efectuado con tal propósito (Rivera J. et al 2007b), los mismos son promediados e incluidos directamente en este análisis comparativo.

VOL VIA PPAL	VOL VIA SEC	COSTOS TOTALES (\$/hora)	
		N	R2

100	100	41	52
300	100	84	90
300	300	126	128
500	100	131	129
500	300	176	169
500	500	227	209
700	100	190	169
700	300	237	210
700	500	303	254

Donde:

N = Intersección normal

R2 = Mini-rotonda de dos carriles

- Para el análisis de la semaforización se establecen cuatro fases (una por sentido con todos los movimientos protegidos) y se efectúa el análisis preliminar de los volúmenes equivalentes ( $v_i$ ) y tasas de saturación ( $s_i$ ) empleando el HCS2000. Para esto se establecen las siguientes características de la intersección, acordes a lo establecido en el análisis comparativo efectuado para las mini-rotondas:

- Espaciamiento medio en la cola de 7,6 m
- Longitud de cola disponible de 80 m
- Sin demanda inicial
- Arribo en verde tipo 3
- Extensión unitaria de 3 seg
- Tiempo perdido inicial de 2 seg
- Extensión del verde efectivo de 2 seg
- Sin tránsito peatonal ni ciclista
- Tasa de flujo de saturación ideal de 1.900 veh/horaverdexcarril
- Ancho de carril 3,6 m
- Solo automóviles
- Pendiente 0 %
- Sin maniobras de estacionamiento ni paradas de colectivos

Con estos parámetros se obtiene una  $s_i$  por aproximación de 1.865 veh/horaverdexcarril, y los  $v_i$  correspondientes son:

VOL VIA	VOL VEH EQ
---------	---------------

100	111
300	333
500	556
700	778

- Se establece entonces un tiempo de amarillo ( $a_i$ ) de 4 seg y de todo rojo ( $r_i$ ) de 2 seg para cada aproximación, totalizando un tiempo perdido ( $L$ ) de 24 seg. Con estos valores se calcula la relación v/c crítica mínima ( $X_{Cmin}$ ) y con esta la longitud de ciclo mínima ( $C_{min}$ ), la longitud de ciclo adoptada ( $C$ ) resulta 1,2 veces la mínima (valor adoptado para este estudio). Se calcula entonces la relación v/c crítica para la intersección ( $X_c$ ) y finalmente los tiempos de verde correspondientes ( $g_i$ ).

VOL VIA PPAL	VOL VIA SEC	FLUJO SAT	TIEMPO PERDIDO			VC CRIT MIN	CICLO MIN	CICLO ADOP	VC CRIT	VERDE PPAL	VERDE SEC
veh/h	veh/h	veh/hvc	seg	seg	seg	$X_{Cmin}$	seg	seg	$X_c$	seg	seg
$v_{1,2}$	$v_{3,4}$	$s_{1,2,3,4}$	$a_{1,2,3,4}$	$r_{1,2,3,4}$	L		$C_{min}$	C		$g_{1,2}$	$g_{3,4}$
111	111	1865	4	1	20	0,24	26	31	0,65	3	3
333	111	1865	4	1	20	0,48	38	46	0,85	10	3
556	111	1865	4	1	20	0,72	70	84	0,94	27	5
778	111	1865	4	1	20	0,95					
333	333	1865	4	1	20	0,71	70	84	0,94	16	16
556	333	1865	4	1	20	0,95					
778	333	1865	4	1	20	1,19					
556	556	1865	4	1	20	1,19					
778	556	1865	4	1	20	1,43					
778	778	1865	4	1	20	1,67					

NO SE ACEPTAN  $X_{cmin}$  MAYORES A 0,9

Si bien los tiempos de verde resultan reducidos en algunos casos, se decide mantener los mismos en un primer análisis para continuar con una paridad de criterios.

- Reingresando los datos al HCM se establecen los niveles de servicio (LOS) para cada aproximación, el LOS general de la intersección y la demora.

VOL VIA PPAL	VOL VIA SEC	LOS VIA PPAL	LOS VIA SEC	LOS INTERS
100	100	C	C	C
300	100	C	F	D
500	100	D	F	E
300	300	E	E	F

- Con las fases calculadas se efectúa la micro-simulación de la intersección semaforizada, obteniéndose los siguientes indicadores y costos totales:

VOL VIA PPAL	VOL VIA SEC	TR	TD	TT	CT
-----------------	----------------	----	----	----	----

100	100	1,95	1,53	3,48	73
300	100	3,93	4,13	8,06	164
500	100	5,88	9,85	15,73	318
300	300	5,9	11,1	17	343

Donde:

TR = tiempo de recorrido de todos los vehículos por el sistema en horaxveh

TD = tiempo de demora de todos los vehículos por el sistema en horaxveh

TT = TR + TD

CT = costo de recorrido más costo fijo horario de la obra (\$/hora)

- La comparación de costos queda entonces:

VOL VIA PPAL	VOL VIA SEC	COSTOS TOTALES (\$/hora)		
		N	R2	S

100	100	41	52	73
300	100	84	90	164
300	300	126	128	343
500	100	131	129	318

#### 4. CONCLUSIONES

- La inclusión de semáforos de tiempo fijo con cuatro fases en intersección de vías de dos sentidos con un carril por sentido no es justificable solo por razones de “seguridad vial” de acuerdo a las experiencias internacionales en tal sentido.
- Si aun así se decide continuar con los estudios para su implementación, al menos bajo las hipótesis adoptadas y para los volúmenes analizados, no resulta justificable desde el punto de vista de costos totales, por más

económico que sea el sistema semafórico, debido principalmente a la demora generada por un tiempo perdido dado por cuatro fases de amarillo y cuatro fases de todo rojo.

- Ante estas configuraciones de intersección, habituales en redes urbanas, al menos para los resultados obtenidos en este análisis, resultan más efectivas las intersecciones normales o las mini-rotondas.
- En caso de analizarse la semaforización de estas intersecciones debería pensarse en semáforos actuados o eliminando movimientos (giros a izquierda por ejemplo) para disminuir el número de fases y el consecuente tiempo perdido, y cumplirse complementariamente con otros requisitos además del de disminución de accidentes.

## **5. BIBLIOGRAFIA**

- Cal y Mayor R., Cárdenas J. (1995), "Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones", Alfaomega, México.
- Rivera J. (2007), "Metodología simplificada para el análisis de intersecciones urbanas a ser semaforizadas con semáforos de tiempo fijo en pequeñas localidades", LEMaC-UTN, Argentina.
- Rivera J., Das Neves G., Villanueva M., Rolón R. (2007), "Empleo de mini-rotondas urbanas, características y campos de aplicación", LEMaC-UTN La Plata, Argentina.
- Transportation Research Board (2000), "Highway Capacity Manual 2000", National Research Council, EEUU.