

INTERVALOS CRITICOS EN INTERSECCIONES NO SEMAFORIZADAS

Violeta Depiante
Facultad de Ciencias Exactas, Fisica y Naturales.
Universidad Nacional de Cordoba. Argentina
vdepiante@yahoo.com

Jorge Galarraga
Facultad de Ciencias Exactas, Fisica y Naturales.
Universidad Nacional de Cordoba. Argentina
jorgala@efn.uncor.edu

RESUMEN

Dentro de las intersecciones no semaforizadas, los movimientos desde la calle secundaria son los que requieren mayor atención en el sentido de que finalmente pueden determinar la necesidad de un cambio en la operación de la misma. Su estudio permitirá, en base al comportamiento de los conductores, definir de manera adecuada para las condiciones locales las medidas de eficiencia resultantes.

En este trabajo se estudian los parámetros relevantes en el giro a la izquierda desde la calle secundaria de una intersección no semaforizada, como son el intervalo crítico y de seguimiento que permiten la determinación de la capacidad del movimiento de giro.

Mediante relevamientos de campo y análisis estadísticos se determinaron los valores de intervalos críticos de giros a la izquierda desde la calle secundaria en una intersección no semaforizada de la ciudad de Córdoba en Argentina. Los intervalos crítico y el de seguimiento para la intersección estudiada resultaron ser inferiores en un 25% y 20% respectivamente a los propuestos en el Manual de Capacidad del año 2010 de Estados Unidos de Norteamérica.

PALABRAS CLAVE

Intervalo crítico, intervalo de seguimiento, aceptación de intervalos

ABSTRACT

At unsignalized intersections, movements of the minor street require much attention on behalf that they are the ones that finally decide over a change in the intersection's operation. Their study, based on drivers's behaviors, can define measures of effectiveness adequated to local conditions.

This paper studies the relevant parameters of minor left turn at unsignalized intersections which are the critical gap and the follow up time. Capacity can be determined from both parameters.

Field surveys and statistical analysis were performed to estimate the critical gap and follow up time of minor left turn at an unsignalized intersection of Cordoba, Argentina. Critical gap and follow up time were 25% and 20% lower than proposed by the 2010 United States Highway Capacity Manual for minor left turn vehicles.

KEYWORDS

Critical headway, follow up time, gap acceptance

1. INTRODUCCION

Las intersecciones sin control semafórico son las más comunes en una red vial urbana. El comportamiento de los conductores, ante la corriente conflictiva a la cual se enfrentan, es un factor crucial que permite afirmar que las decisiones adoptadas son más complicadas que al enfrentarse a una intersección semaforizada, en donde el momento del cruce se encuentra claramente especificado al serle asignado en forma alternativa un tiempo de uso propio de la zona conflictiva o en un cruce a desnivel en donde se asigna un espacio diferente. En las conclusiones reportadas en el informe NCHRP 572 (2007) se resalta el comportamiento del conductor como la variable que mayormente afecta la operación y se recomienda fuertemente la calibración de modelos para tener en cuenta el comportamiento local de los conductores y sus cambios a lo largo del tiempo para realizar estimaciones de capacidad acertadas.

El conductor en una intersección no semaforizada debe enfrentarse a dos cuestiones básicas: (1) la de decidir según su propio criterio y uso cuando debería ingresar a la intersección porque le corresponde y (2) la de definir el momento en que resulta seguro hacerlo. Según Raff (1950) se puede interpretar como una oferta continua de intervalos en la corriente principal que el conductor acepta o rechaza según su criterio personal. Habrá algún intervalo intermedio que definirá el límite entre el ingreso o no a la corriente prioritaria. Este intervalo será relevante a la hora de analizar la operación de la intersección. Según sea su valor será la capacidad del acceso no prioritario.

El Manual de Capacidad de Carreteras compendio de años de investigación empírica y teórica realizada en Estados Unidos de Norteamérica, en su versión del año 2010 (TRB, 2010) contiene una detallada metodología para calcular la capacidad y el nivel de servicio en intersecciones controladas por dos señales de pare (Capítulo 19) en correspondencia con el funcionamiento de intersecciones de una calle principal con una secundaria existente en nuestra realidad. Dentro de su metodología presenta valores de intervalos críticos y de seguimiento obtenidos empíricamente para su realidad.

Bajo la premisa de representar las condiciones locales en modelos no desarrollados para nuestra realidad y dada la complejidad de las interrelaciones entre las variables intervinientes en la comprensión de la operación en intersecciones no semaforizadas y a la escasa producción local en la temática, se propone el estudio de los intervalos críticos y de seguimiento para el caso particular del giro a la izquierda desde la calle secundaria en una intersección de tres ramas.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

La metodología más adecuada, aceptada y utilizada en la determinación de los intervalos críticos es la del modelo de aceptación de intervalos (Brilon et al., 1997), (Wang et al., 2005). 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 crítico (t_c). Ningún conductor entrará en la intersección a menos que el intervalo que tenga en la corriente principal sea igual o mayor al intervalo crítico. También se asume que dos o más conductores del acceso secundario podrían emplearlo para entrar en la misma. La separación, medida en tiempo, entre vehículos de la corriente secundaria que aprovechan un mismo intervalo se conoce como tiempo de seguimiento (t_f). En ambos casos se estiman valores

medios a partir de una muestra, y se los considera como representativos de la población. La exactitud de la estimación de la capacidad está fuertemente influenciada por la precisión de los valores de t_c y t_f . El tiempo de seguimiento se puede determinar directamente en el campo (Tian et al., 1996) mientras que el intervalo crítico no se puede medir en forma directa en campo, lo que sí se puede registrar es el intervalo de aceptación.

Se han desarrollado numerosos estudios y técnicas para estimar el intervalo crítico. Troutbeck y Brilon (1996) reportan que el método de máxima verosimilitud es un método adecuado para la determinación del intervalo crítico. En Tian et al. (1999) se realiza la comparación de diez metodologías utilizadas para la determinación de los intervalos críticos concluyendo que la de máxima verosimilitud ha mostrado ser el más exacto y confiable, por la mayor eficiencia en el uso de los datos recolectados al no tener que descartar tantos casos. No obstante siempre deben descartarse los datos en el que el intervalo aceptado resulte menor al máximo rechazado. La ARRB (Akcelik, 2007) utiliza el método de máxima verosimilitud para estudiar la distribución de los intervalos críticos. Para la población de conductores frecuentemente se asume que los intervalos críticos tienen una distribución log-normal. Estudios anteriores han propuesto procedimientos y métodos de estimación de intervalos críticos. Los más comúnmente mencionados en Kyte et al (1996) son los de Asworth, Siegloch y máxima verosimilitud de Troutbeck.

3. MODELOS DISPONIBLES

Existen básicamente dos grandes grupos de metodologías para la estimación del intervalo crítico y del tiempo de seguimiento ya sea en forma conjunta o en forma independiente. Unas, Siegloch, lo hacen en forma conjunta y determinan ambos intervalos a la vez utilizando técnicas de regresión, mientras que máxima verosimilitud y Asworth, calculan los valores medios esperados del intervalo crítico y del tiempo de seguimiento por separado considerando el proceso como probabilístico.

3.1. Método de determinación conjunta de ambos intervalos

El método para la estimación de los intervalos críticos y de seguimiento en forma conjunta de Siegloch es bastante confiable y simple pero solamente aplicable en condiciones de saturación, es decir con cola continua sobre el ingreso por la calle secundaria. Se basa en el análisis de regresión del número de vehículos que utilizan un mismo intervalo versus el tamaño del intervalo. Con esto se determina tanto el intervalo crítico como el intervalo de seguimiento. El procedimiento incluye los siguientes pasos: (1) Registrar para cada tamaño de intervalo " t ", el número de vehículos " i " que ingresan en ese intervalo, (2) calcular el tamaño promedio del intervalo $E(t)$ para cada uno de los intervalos aceptados por solamente " n " vehículos, (3) ajustar una regresión lineal entre los valores promedios de tamaño de intervalo $E(t)$ (como variable dependiente) y el número de vehículos que ingresan durante este tamaño promedio de intervalo, " n " (como variable independiente), (4) la pendiente de la recta de regresión es el valor estimado para el tiempo de seguimiento (t_f), ya que representa el tiempo que agrega el paso de un vehículo más de " i " a " $i+1$ ", (5) el intervalo de aceptación crítico se calcula como la ordenada al origen (t_0) más la mitad del tiempo de seguimiento, ya que con menos de ese valor no entra ningún vehículo. El método de regresión no se puede aplicar si no existe cola continua. En estos casos es necesario aplicar un método probabilístico.

3.2. Determinación independiente del intervalo de seguimiento

Si por la calle secundaria no se observa formación continua de cola, que es el caso más frecuente, no se puede aplicar el método de regresión lineal debido a que los intervalos de la corriente principal no serían completamente aprovechados y en consecuencia se deben emplear otras metodologías. Para la estimación del tiempo de seguimiento se debe obtener el intervalo promedio entre vehículos que utilizan el mismo intervalo en la corriente principal en condiciones de cola continua. Si el vehículo no se encontrara en cola, no se lo consideraría en los cálculos. El procedimiento es análogo al que se emplea para calcular la tasa de flujo de saturación en intersecciones semaforizadas (TRB, 2010).

3.3. Determinación del intervalo crítico por el método de máxima verosimilitud

Troutbeck (1992) describe un procedimiento de estimación de intervalos críticos mediante máxima verosimilitud. Este procedimiento permite la estimación bajo condiciones de tráfico que no sean sobresaturadas. Sabemos que el intervalo crítico de cada conductor se encuentra entre el intervalo máximo rechazado y el intervalo aceptado por él mismo. Si el intervalo aceptado fuera inferior al máximo rechazado se considera que el conductor está desatento. El valor rechazado puede descartarse, o bien cambiarse por un valor justo por debajo del aceptado. Este procedimiento requiere asumir como primera medida una distribución probabilística de los valores de intervalo crítico para la población de conductores. Para la mayoría de los casos es razonable y aceptado en muchos estudios asumir una distribución log-normal, ya que está sesgada hacia la derecha y no presenta valores negativos.

Conceptualmente este método permite ajustar una distribución de probabilidades a una muestra de datos, algo análogo al ajuste por regresión lineal. Considerando la siguiente notación:

a_i = logaritmo del intervalo aceptado por el i -ésimo conductor

r_i = logaritmo del máximo intervalo rechazado por el i -ésimo conductor

μ y σ^2 = media y varianza de los logaritmos de los intervalos críticos de los conductores individuales (considerando una distribución log-normal); y

$f(\cdot)$ y $F(\cdot)$ la función de densidad de probabilidad y la función de frecuencias acumuladas respectivamente para la distribución normal.

La probabilidad de que el intervalo crítico de un conductor individual se ubique entre r_i y a_i es $F(a_i) - F(r_i)$.

Se puede demostrar que para encontrar la solución deben resolverse las siguientes dos ecuaciones que deben ser resueltas en forma iterativa:

$$\sum_{i=1}^{i=n} \frac{f(r_i) - f(a_i)}{F(a_i) - F(r_i)} = 0 \quad (3.1)$$

$$\sum_{i=1}^{i=n} \frac{(r_i - \mu^*)f(r_i) - (a_i - \mu^*)f(a_i)}{F(a_i) - F(r_i)} = 0 \quad (3.2)$$

Donde μ^* es una estimación de μ y $f(x)$ $F(x)$ son funciones de la media y varianza estimadas. La resolución simultánea de estas ecuaciones permite obtener la media $E(t_c)$ y la varianza $Var(t_c)$ de la distribución del intervalo crítico que viene expresada en función de los parámetros de la distribución log-normal hallados como:

$$E(t_c) = e^{[\mu + 0.50\sigma^2]} \quad (3.3)$$

$$Var(t_c) = E(t_c)^2 e^{[\sigma^2]} \quad (3.4)$$

El intervalo crítico utilizado en los cálculos de aceptación de intervalos es entonces igual a $E(t_c)$. El valor debería ser inferior a la media de los intervalos aceptados. La información utilizada es la máxima al incluir el efecto de un número grande de intervalos rechazados. Pero no pueden ser incluidos entre los datos, los conductores que aceptan el primer intervalo que se les presenta sin rechazar ninguno. El método de Máxima Verosimilitud contempla situaciones tan diversas en cuanto al volumen de la corriente conflictiva como a la distribución de los intervalos en la misma. Estas situaciones podrían ocasionar modificaciones en los valores de los intervalos críticos, como ser la de suponer que el intervalo crítico sería mayor si el flujo conflictivo fuera bajo y viceversa.

3.4. Determinación del intervalo del intervalo crítico por el método de Ashworth

Dado una serie de intervalos aceptados, estos pueden describirse mediante una función de distribución estadística empírica (Kyte et al., 1996), y lo mismo ocurrirá para los intervalos críticos. Pero esta curva de distribución de frecuencias acumuladas para los intervalos críticos estaría a la izquierda de la curva de distribución de frecuencias acumuladas de los intervalos aceptados. Bajo esta premisa y si se asume una distribución exponencial de los intervalos en la corriente principal y una distribución normal para los intervalos aceptados y críticos, Ashworth encontró que el intervalo crítico medio se podía estimar a partir del intervalo de aceptación medio como:

$$t_c = t_a - V_p s_a^2 \quad (3.5)$$

donde:

- V_p : es el volumen de tráfico prioritario de la corriente principal (vps) y
- s_a^2 : es la varianza de la distribución de intervalos aceptados (s^2)
- t_a : intervalo medio de aceptación (s)

4. CASO DE APLICACION

4.1. Breve descripción del relevamiento y procesamiento de datos

Para el estudio se seleccionó una intersección de la ciudad. La misma se encuentra ubicada en la zona sur sobre una de las vías principales de egreso del centro de la ciudad. La intersección corresponde a una de tres ramas de acceso, es decir una intersección en T. La intersección corresponde a la esquina de Avenida Cruz Roja Argentina (paralela y adyacente a la línea de FFCC sur de oeste a este) y Avda. Nores Martínez (que presenta un desvío hacia la intersección en cuestión). Ver Figura 4.1.



Figura 4.1. Vista de la intersección seleccionada

Toda la corriente vehicular proveniente del norte por Avda. Neres Martínez que desea proseguir hacia el sur debe indefectiblemente desviarse hacia el oeste y luego realizar un giro a la izquierda. El mismo se realiza desde un acceso secundario, de un solo carril y un único movimiento. Los conductores son asiduos, conocedores. Las velocidades de acceso al desvío son elevadas y las decisiones de cruce precisas. Esta situación no es sencilla de encontrar en la trama urbana de allí lo interesante de la intersección. La posibilidad de contar con mucha información respecto de una situación en particular permite obtener conclusiones robustas respecto del comportamiento de los conductores en esta situación. La Avda. Cruz Roja Argentina en ese sector, funciona como una arteria de un carril funcional por sentido con un pequeño cordón divisorio que puede ser utilizado por solamente un vehículo para cruzar en etapas de manera forzada afectando de alguna manera la circulación sobre la calle principal.

Para la recolección de datos se realizaron filmaciones en días laborables en horarios de mayor movimiento vehicular. Se seleccionaron dichos períodos con el objeto de poder recabar mayor información en menor tiempo. Se empleó una cámara digital ubicada de forma tal que se tuviera una visual adecuada de los vehículos que llegaban a la línea de parada desde la calle secundaria. Para definir los horarios pico se realizaron recorridas de la intersección en varios horarios del día, por la mañana a medio día y por la tarde. Se observaron mayores volúmenes en horarios de la tarde por lo que se registraron datos en esa franja horaria entre las 17:30 y las 20:30 hs. Se realizaron las mediciones durante seis períodos diferentes en los horarios mencionados. No obstante también se realizaron otras filmaciones de apoyo. Se totalizaron más de cuatro horas de filmación realizadas durante el mes de julio de 2009. De ellas se extrajeron manualmente, lo que requirió un denotado esfuerzo en tiempo y procesamiento de datos necesarios tanto para la estimación de intervalos críticos y de seguimiento. Para la estimación de los intervalos crítico y de seguimiento se registraron tiempos: (1) de llegada a la línea de parada del vehículo desde la calle secundaria, (2) tiempo de egreso de la mismo, (3) tiempos de paso de los vehículos de la principal por una línea de referencia ubicada en la esquina. También se registraron (4) los vehículos que utilizaron el mismo intervalo de la

principal para cruzar para obtener el tiempo de seguimiento, si éste existió. Todos estos datos recolectados manualmente de las filmaciones fueron ingresados a una planilla de cálculo para disponer de una base de datos y ser analizados a fin de observar incoherencias en los mismos para contar con una base sólida. Los registros de todos los tiempos fueron ordenados secuencialmente en las planillas y luego a partir de diferencias entre tiempos se obtuvieron: (1) intervalos, ya sea entre vehículos de la principal o entre vehículos de la secundaria, (2) definición de intervalos aceptados, intervalos rechazados, (3) cantidad de vehículos que cruzan una línea definida por unidad de tiempo tanto de ingreso por los accesos como tasas de descarga desde la línea de parada de la calle secundaria, cantidad de vehículos por unidad de tiempo que utilizan un intervalo dado de la corriente principal.

Para cada uno de los accesos se verificaron si los arribos se realizaban en forma aleatoria. Para la calle secundaria en uno de los períodos considerados de 40 minutos con un total de 218 vehículos, la media de la cantidad de vehículos que llegó a la línea de parada fue de 5.04 y la desviación estándar de 2.01 resultando el estadístico chi-cuadrado calculado de 4.1 mientras que el de tabla correspondiente para siete grados de libertad es de 14.0671. Para el acceso desde la izquierda de un total de 368 vehículos, la media de la cantidad de vehículos que llegó a la línea de parada por minuto fue de 8.56 y la desviación estándar de 3.42 resultando el estadístico chi-cuadrado calculado de 5.50 mientras que el de tabla correspondiente a dieciocho grados de libertad es de 28.87. Para el acceso desde la derecha con un total de 657 vehículos, la media de la cantidad de vehículos que llegó a la línea de parada por minuto fue de 15.28 y la desviación estándar de 4 resultando el estadístico chi-cuadrado calculado de 17.70 mientras que el de tabla correspondiente a dieciséis grados de libertad es de 26.30; con lo cual se puede decir que las llegadas son aleatorias.

4.2. Estimación de los intervalos mediante regresión lineal

A manera de ejemplificación se presenta en uno de los períodos analizados en el que se registraron colas prácticamente en forma permanente sobre la calle secundaria la determinación de los intervalos críticos y de seguimiento en forma conjunta por la técnica de regresión propuesta por Siegloch, ya que al menos un vehículo permanecía en cola a lo largo del período. Del total de vehículos en la calle secundaria (de 185 en el período analizado de 30 minutos) sólo se registraron 33 eventos de cruce desde una fila en un intervalo determinado.

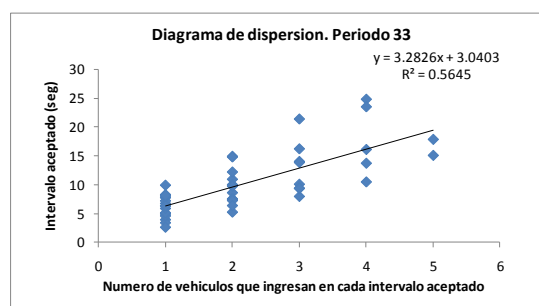


Figura 4.2 Regresión entre el tamaño de intervalo aceptado y número de vehículos

Las Figuras 4.2 y 4.3 muestran los pares ordenados y las líneas de tendencia. Los resultados para este período muestran que la pendiente de la recta de regresión es la estimación del tiempo de seguimiento (t_f), ya que representa el tiempo que agrega el paso de un vehículo

más, en el ejemplo 3.2826s. Por su parte el intervalo crítico se calcula como la ordenada al origen (t_0) más la mitad del tiempo de seguimiento, ya que con menos de ese valor no entra ningún vehículo. En el ejemplo 4.8027s ($3.0403s+3.826/2$ s) para el caso de considerar todos los intervalos aceptados. Si realizamos la regresión considerando como variable dependiente la media de los intervalos aceptados para cada número de vehículos considerado, el intervalo de seguimiento resulta de 2.879s y el intervalo crítico resulta de 5.4021s ($3.9531s+ 2.879/2$ s). Estos resultados difieren bastante debido a la diferencia en la cantidad de datos por caso. Se dispone de muchos datos correspondientes a uno y dos vehículos y muy pocos en donde ingresen 3, 4, 5 o más vehículos. Se decidió agrupar todos los períodos. La Figura 4.4 presenta el gráfico de dispersión de los datos. La proporción de datos para ingresos de 4 y 5 vehículos sigue siendo muy baja. Sólo 13 de los 265 casos registrados corresponden a esos valores por lo que decidió descartarlos de la regresión. Así la cantidad de datos utilizados para la regresión resultó de 252 de los cuales 133, 87 y 32 corresponden a uno, dos y tres vehículos que ingresan respectivamente.

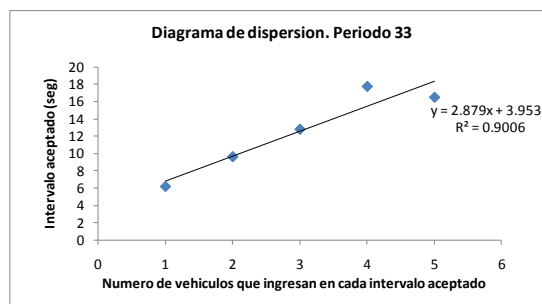


Figura 4.3. Regresión tamaño de intervalo medio aceptado y número de vehículos

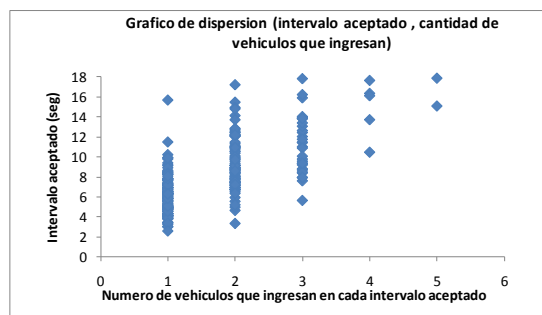


Figura 4.4. Dispersión intervalo aceptado y número de vehículos para todos los casos

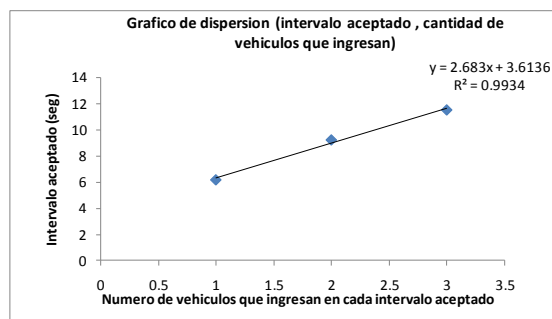


Figura 4.5. Dispersión intervalo medio aceptado y número de vehículos

La Figura 4.5 muestra los datos finalmente utilizados para el cálculo del intervalo crítico y de seguimiento y la ecuación de la recta de regresión encontrada. El valor de intervalo crítico en

este caso resulta de 4.96s ($3.6136s + 2.683/2s$) y el tiempo de seguimiento corresponde al valor del coeficiente angular de 2.683s.

4.3. Intervalo de seguimiento

Los tiempos de seguimiento individuales se obtuvieron a través de la medición directa en campaña del intervalo (en segundos) entre dos vehículos sucesivos de una cola que hacía uso de un mismo intervalo de la corriente conflictiva. Se calculó la media y varianza considerando todos los períodos de filmación en conjunto para la estimación de los intervalos de seguimiento. No obstante se presentan los intervalos de seguimiento por período y para el conjunto total de datos y la cantidad de casos respectivos en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Valores estimados de intervalo de seguimiento para los distintos períodos analizados, desviación estándar y número de casos

Período	Media $E(t_f)$ (s)	Varianza $Var(t_f)$ (s ²)	Casos
1	2.794	0.896	23
2	2.848	0.709	39
3	2.857	0.944	65
4	2.796	0.864	59
5	2.517	1.009	26
6	2.773	0.832	13
Todos	2.80	0.861	225

4.4. Intervalo crítico mediante el Método de máxima Verosimilitud

Se consideraron varias opciones en cuanto a la división y promedio de datos. Según Tian (Tian et al., 2001) pueden obtenerse nueve valores de intervalo crítico en un período de dos horas si los flujos medidos resultan superiores a los 200 vph. En casos en que se disponía de grabaciones de una hora en donde el volumen de la secundaria superara los 100 vph se calculó el intervalo crítico considerando la cantidad total de datos y agrupándolos en intervalos menores, encontrando que los valores obtenidos no presentaron diferencias significativas por lo que se analizó el período completo. El total de períodos analizados fue de seis.

Con el objetivo de caracterizar el comportamiento general se procedió a calcular los valores del intervalo crítico y varianza considerando cada período de medición realizado por separado, como un conjunto de datos, para observar si existían modificaciones en el valor de t_c con el volumen conflictivo entre períodos. La Figura 4.6 muestra los pares ordenados volumen de conflicto - intervalo crítico para los períodos analizados. Cada uno de los puntos indica el t_c encontrado con el método de máxima verosimilitud para diferentes volúmenes de conflicto del movimiento. Se observa que los intervalos en su mayoría se ubican entre 4.65 y 5 segundos excepto uno. El valor inferior obtenido de 4.28s puede deberse a que realmente se observen cambios en el comportamiento de los conductores a medida que se incrementan los volúmenes de conflicto en la corriente principal o que alguna de las condiciones base no se esté cumpliendo.

En el campo se observaron en el período de medición de volúmenes más elevados que los vehículos de la corriente principal debían frenar ante el ingreso de algunos de los vehículos de

la calle secundaria, con lo cual la prioridad de los vehículos de la principal se ve limitada por la maniobra del vehículo de la secundaria lo cual modifica los valores de intervalo crítico. A volúmenes cercanos a la capacidad los conductores de las corrientes conflictivas “comparten” prioridades. Debido a esto se consideraron en la unificación de períodos todos menos este. Este fenómeno de limitación de la prioridad de la corriente principal generando intervalos críticos menores y capacidades superiores en la corriente no prioritaria ya fue estudiado (Troutbeck y Kako, 1999).

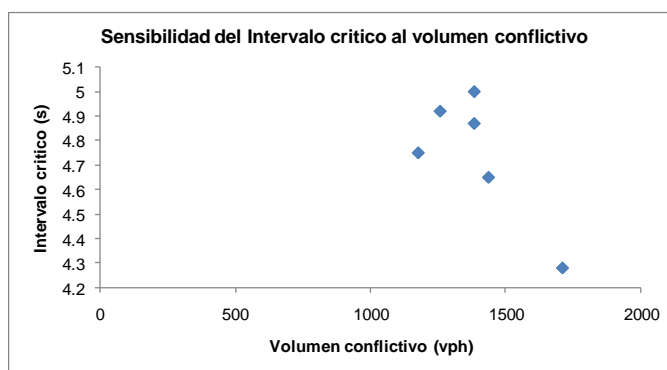


Figura 4.6. Sensibilidad del intervalo crítico al volumen conflictivo

En la Tabla 4.2 se consignan los valores obtenidos para las medias y varianzas de los intervalos críticos para cada período contemplado y para el conjunto total y se incluye además el número de casos empleados para el cálculo.

Tabla 4.2. Valores estimados de intervalo crítico para los distintos períodos analizados, varianza y número de casos

Período	Media $E(t_c)$ (s)	Varianza $Var(t_c)$ (s ²)	Casos
1	4,28	0.83	50
2	4.65	1.12	94
3	4.75	2.45	82
4	4.92	1.61	49
5	4.87	1.43	55
6	5	1.74	28
Todos	4.77	1.83	308

Una muestra de 138 vehículos hubiera sido requerida (considerando un margen de error igual a medio segundo utilizado como punto de partida para establecer el tamaño de la muestra, una desviación estándar teórica de valor 3 y un valor de z crítico para un 95% de confiabilidad de 1.96). Considerando los períodos 2 a 6, según el método de máxima verosimilitud el valor del intervalo crítico para una intersección en T es de 4.77 ± 1.35 s (n= 308 datos). El valor de intervalo de seguimiento determinado como promedio de todos los casos analizados resultó de 2.80 ± 0.86 s (n= 225 datos). Estos son los valores adoptados como locales.

Con el fin de precisar estadísticamente las diferencias existentes se estimó un intervalo de confianza del 95% sobre las medias locales, si el mismo excluyera al valor propuesto por el HCM2010, podría afirmarse que las mismas difieren significativamente de las de Estados Unidos de Norte América. La Tabla 4.3 presenta los límites inferior y superior del intervalo

de confianza de la media obtenidos para el intervalo crítico en intersecciones con vías principales de dos carriles. Entre paréntesis, junto al valor medio propuesto por el HCM2010, se consigna si el mismo está incluido dentro del intervalo de confianza del 95%. Si consideramos los resultados obtenidos por el método de regresión lineal de 4.96 para el intervalo crítico y 2.683 s para el tiempo de seguimiento estos se encuentran muy próximos al límite superior e inferior respectivamente.

Tabla 4.3. Intervalo de confianza para el intervalo crítico medio

	Córdoba			HCM2010
	Media (s)	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Media (incluida en el intervalo)
Intervalo crítico	4.77	4.62	4.92	6.4 (no)
Intervalo de seguimiento	2.8	2.69	2.91	3.5 (no)

4.5. Intervalo crítico mediante el Método de Asworth

También se estimaron los valores de intervalos críticos obtenidos mediante el método de Asworth. La Tabla 4.4 resume el resultado obtenido de intervalo crítico y el valor de intervalo aceptado, su varianza y número de casos para uno de los seis períodos analizados.

Tabla 4.4. Intervalo crítico por el método de Asworth

Período	Media intervalo aceptado (s)	Varianza intervalo aceptado (s^2)	Casos	Intervalo crítico (s)
1	7.1366	5.931492	102	3.98896

Las diferencias que se pudieran observar con los valores obtenidos con máxima verosimilitud pueden obedecer al hecho de considerar una distribución de los intervalos críticos y aceptados diferente de la log-normal utilizada para la máxima verosimilitud.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El parámetro clave en el análisis de capacidad en intersecciones no semaforizadas es el valor del intervalo crítico (tiempo mínimo necesario entre los vehículos de la corriente principal para el ingreso de un vehículo de la calle secundaria); como así también el intervalo de seguimiento (intervalo entre vehículos en cola sobre la secundaria que ingresan en un mismo intervalo crítico de la corriente conflictiva o principal). Estos valores son los que mejor representan la influencia del comportamiento de los conductores en las condiciones del tráfico (Weinert, A., 1999).

En general, en este tipo de intersecciones, los problemas que se presentan no son grandes si los volúmenes intervinientes no lo son (Troutbeck y Brilon, 1996). A medida que los volúmenes (de ambos tipos de accesos) se incrementan, las demoras y las colas también lo hacen y las diferencias en las estimaciones de capacidad por diferencias en los intervalos críticos se hacen cada vez más marcadas con el incremento de los volúmenes conflictivos. Es importante notar que los valores de intervalos críticos por sí solos no son importantes sino en

la medida en que son utilizados en las ecuaciones de determinación de capacidad y demora en la intersección no semaforizada de allí la importancia de su estimación para la realidad local.

La intersección estudiada presenta un espacio mínimo de canalización del giro a la izquierda que numerosos vehículos emplean para efectuar el cruce en etapas. En consecuencia los resultados obtenidos deben considerarse aplicables exclusivamente al caso de estudio o una intersección similar. El método adoptado para la estimación del intervalo crítico es el de máxima verosimilitud siendo el valor obtenido de 4.77 ± 1.35 s (n= 308 datos) y el valor de intervalo de seguimiento determinado como promedio de todos los casos analizados resultó de 2.80 ± 0.86 s (n= 225 datos). El intervalo de confianza del 95% no incluye las medias del HCM2010 para calles principales de dos carriles e intersecciones de tres ramas.

Dado que lo desarrollado se ha limitado al estudio de un caso particular, resulta recomendable extender las investigaciones para otros movimientos (giros a la derecha y pasantes desde la secundaria y giros a la izquierda desde la principal) y para otras condiciones geométricas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AKCELIK, R. (2007) – *A review of Gap-Acceptance Capacity Models* – 29th Conference of Australian Institutes of Transport Research – University of South Australia. Adelaide. Australia.

BRILON, W.; KÖNIG, R.; TROUTBECK, R. (1997)-*Useful Estimation Procedures for Critical Gaps.*- Proceeding of Third Int. Symposium on Intersections Without Traffic Signals, Portland, Oregon, USA.

DEPIANTE, V.S. (2011) – *Giros a la izquierda en intersecciones no semaforizadas* – Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería – Mención Transporte – F.C.E.F. y N. – Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

NCHRP Report 572 (2007) – *Roundabouts in the United States* – National Cooperative Highway Research Program. TRB of the National Academies.

RAFF, M. S. y HART, J. W. (1950). *A Volume Warrant for Urban Stop Sign.* Traffic Engineering and Control , 5/1983, pp.255-258.

TIAN Z., VANDEHEY M., ROBINSON B., KITTELSON, W., KYTE M., TROUTBECK R., BRILON, W., WU, N. (1999) – *Implementing the maximum likelihood methodology to measure a driver's critical gap* – Transportation Research Part A 33 p 197-197

TRB (2010). - *Highway Capacity Manual (HCM)* - Chapter 19- *Two Way STOP Controlled Intersections*, Washington, D.C.

TROUTBECK, R.; BRILON, W. (1996) - *Unsignalized Intersection Theory. Chapter 8* - Página de internet : <http://www.tfhrc.gov/its/tft/chap8.pdf>.

TROUTBECK R. Y KAKO S. (1999) - Limited Priority merge at unsignalized intersections-TRBA33 p291-304

WANG R., ZHANG W. y MIAO Q. (2005) - *Effects of Driver Behavior on Traffic Flow at Three-lane Roundabouts* - International Journal of Intelligent Control and Systems - Vol. 10, no. 2, June, 123-130.

WEINERT, A. (1999) - *Estimation of Critical Gaps and Follow-Up Times at Rural Unsignalized Intersections in Germany* - Transportation Research Circular E-C018: 4th International Symposium on Highway Capacity- pages 409-421