

Comparación de dos métodos de diseño para ciclos de semáforos

María Liliana Alba Menéndez

Correo electrónico:lili@civil.cujae.edu.cu

Artículo Original

Oisy Hernández Menéndez

Correo electrónico:oismenendez@gmail.com

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Resumen

Para satisfacer la demanda de tránsito en las intersecciones urbanas de manera segura y eficiente es común utilizar el semáforo como dispositivo de control, de forma que el derecho de utilizar el espacio común de las mismas sea asignado alternativamente a las corrientes de tránsito que se cruzan, separando los conflictos en el tiempo. En Cuba, para el cálculo de los tiempos de ciclo y las fases semafóricas se utiliza el método de Poisson basado en la probabilidad de llegadas aleatorias de los vehículos a los accesos, desarrollado en la década de los años 50 del pasado siglo. En la actualidad muchos países utilizan el método desarrollado por Webster en Inglaterra en los años 60, basado en observaciones empíricas y que mantiene su actualidad, donde se calcula un ciclo óptimo con demoras mínimas y mejores niveles de servicio. En el presente trabajo se tomaron varias intersecciones complejas de La Habana y se calcularon los tiempos de ciclos y los intervalos de verde de las fases por cada método mencionado, y posteriormente se determinaron los parámetros que definen la calidad de la operación en cada uno para evaluar las diferencias. El resultado servirá para trazar estrategias en cuanto a la metodología a utilizar por parte del Centro Nacional de Ingeniería de Tránsito en el diseño de las temporizaciones semafóricas y el aumento de la calidad de la operación en las redes viales.

Palabras clave: semáforo, ciclo semafórico, demoras

Recibido: 24 de agosto del 2012

Aprobado: 13 de noviembre del 2012

INTRODUCCIÓN

La congestión del tránsito ha ido aumentando en gran parte del mundo sobre todo en este último siglo y con indicios de seguir esta tendencia, debido fundamentalmente al crecimiento del parque vehicular, lo que unido a los accidentes de tránsito, constituyen un problema prioritario a resolver por las administraciones viales. Como la congestión conlleva fuertes impactos tanto a corto como a largo plazo, se requiere de grandes esfuerzos para mantenerla bajo control mediante un conjunto de medidas apropiadas que regulen tan problemático fenómeno, difícil de solucionar, tratándose de garantizar con dichas medidas un mejor aprovechamiento de la vía por los usuarios, así como asegurar una oferta capaz de satisfacer la demanda del movimiento vehicular existente.

Para el control de la congestión se realizan planes a largo plazo en el desarrollo urbano, permitiendo la movilidad, crecimiento y competitividad del transporte necesarios para la sostenibilidad y calidad de vida de las ciudades en estos tiempos. Este es un tema muy complicado que requiere de un alto nivel profesional y de control por parte de las autoridades urbanas y de transporte circulante. [1]

Es lógico tratar de frenar la congestión con medidas sobre el transporte, dándole gran importancia a la calidad y disponibilidad de la infraestructura, los vehículos y la gestión sobre ellos, ya que esto conllevaría un aumento de la capacidad para realizar desplazamientos. Por ende el reducir la congestión tiene como uno de sus principales beneficios la disminución de la contaminación ambiental, ya que el sistema de transporte en la mayoría de las ciudades del mundo en uno de los principales emisores de contaminantes a la atmósfera.

Los semáforos son la forma de control del tránsito más común utilizada por las administraciones viales para organizar la operación de las corrientes vehiculares en el cruce de las vías urbanas principales. Permiten separar el uso, por parte de las mismas, del espacio común de la intersección, distanciando los conflictos en el tiempo y distribuyendo las demoras. También pueden ser utilizados para priorizar las maniobras de las corrientes principales en las arterias. [2] Las investigaciones han demostrado que su inadecuado diseño y ubicación produce un efecto adverso en la operación del tránsito, aumentando la congestión, los accidentes y los costos de operación por demoras y colas, lo que a su vez produce un incremento de emisión de contaminantes a la atmósfera. [3]

En Cuba son muchas las deficiencias que presenta la viabilidad urbana actual y que requieren atención, como el mejoramiento del diseño de las intersecciones, la señalización apropiada de las vías y el ajuste del diseño de los semáforos acorde con los volúmenes de demanda de tránsito mediante un método que eleve la eficiencia de su operación. Estas medidas pudieran atenuar la congestión, siendo por lo general de las llamadas de bajo costo, teniendo como premisa inicial el conocimiento y aplicación de la ingeniería de tránsito.

En la capital cubana se han incrementado los volúmenes de tránsito en estos últimos años, lo que ha provocado congestión de las intersecciones semaforizadas de las vías principales y el incremento de los niveles de accidentalidad, es por ello que el Centro Nacional de Ingeniería de Tránsito está adoptando importantes medidas tales como el completamiento de la señalización horizontal y vertical en dichas vías, la sustitución de los controles semafóricos por equipos modernos que en muchos casos cuentan con contadores regresivos que indican a los conductores el tiempo que resta para el cambio de luz, disminuyendo el tiempo perdido y el estrés del conductor y por lo tanto aumentando la seguridad vial, adecuando las temporizaciones semafóricas a los volúmenes de demanda y sincronizando el movimiento en las principales arterias. Conjuntamente con estas medidas se están realizando estudios para la futura implementación de un sistema de semáforos gestionados desde un centro de control como una de las medidas más eficaces para mitigar la congestión, [4] que será acompañada por un método de diseño de las temporizaciones acorde con las tendencias internacionales de probada efectividad.

Para el cálculo de los tiempos del ciclo y las fases del semáforo muchos países utilizan en la actualidad el método desarrollado por Webster [5] en Inglaterra en los años 60 del pasado ciclo, basado en observaciones empíricas y que aún mantiene su actualidad. Con este se calcula un tiempo de ciclo óptimo que resulte en demoras mínimas y mejores niveles de servicio. En Cuba sin embargo, se utiliza el método de Poisson [6] basado en la probabilidad de llegadas aleatorias de vehículos a los accesos, desarrollado en los

Estados Unidos en 1950, y que parte de proporcionar cierta eficiencia a la descarga de vehículos en los intervalos de verde, de manera que se puedan evacuar al menos el 85 % de los que llegan al acceso, pero sin tener en cuenta los parámetros de eficiencia resultantes tales como demora y capacidad

En el presente trabajo se tomaron varias intersecciones complejas de La Habana y se calcularon los tiempos de ciclos y los intervalos de verde por cada uno de los métodos mencionados, para luego determinar las diferencias obtenidas en relación con los parámetros que definen la calidad de la operación y compararlas cualitativamente, de forma que se pueda seleccionar el método más efectivo adecuado a las condiciones técnicas y de tránsito en Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las formulaciones matemáticas para el diseño de ciclos y fases semafóricas se basan en la evaluación de los tres elementos básicos que componen el tránsito: usuarios (peatones y conductores), vehículos y sistema vial (características del tránsito, del dispositivo de control y características geométricas) fundamentados en los estudios realizados por Webster (Transportation and Road Research Laboratory (TRRL), Inglaterra) [7] desde la década del 60 del siglo pasado.

En una intersección semaforizada el flujo total de vehículos que llega a cada uno de sus accesos debe ser dividido en diferentes fases de movimientos, según se efectúen una o varias maniobras. Para obtener un mínimo de demoras, cada fase debe incluir el mayor número posible de movimientos simultáneos, logrando así admitir un mayor volumen de vehículos en la intersección. Este debe ser un objetivo permanente en el diseño de las temporizaciones. [2] En general, el número de fases diferentes debe reducirse. al mínimo, considerando la seguridad y la eficiencia. La selección de los movimientos dentro de cada fase debe tender a reducir a un mínimo la frecuencia y gravedad de los puntos de conflicto y la secuencia de las fases debe tratar de reducir las demoras. [2]

Para el cálculo de los tiempos del semáforo existen varios métodos a nivel internacional; los utilizados para este estudio serán el método de Webster que es el que más recomienda la bibliografía internacional [2] y el método de Poisson [6] que es el que se utiliza en los Centros de Ingeniería de Tránsito en Cuba, en los que se hará mayor énfasis.

El método de Webster es universalmente aceptado precisamente por suministrar ciclos óptimos del que resultan demoras mínimas y por tanto buenos niveles de servicio, siendo el método que adoptan la mayoría de los software de diseño, pero al resultar ciclos de corta duración, en muchas ocasiones se obtiene una relación volumen/capacidad (v/c) superior a los eficientes por encima de 0,85, lo que pudiera ocasionar colas por llegadas aleatorias.

Este método se basa en observaciones de campo y simulación de un amplio rango de condiciones de tránsito, demostrándose que la demora mínima de todos los vehículos en la intersección se puede obtener para una longitud de ciclo óptimo que se calcula como:

$$C_o = \frac{1,5 L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\Phi} s_i} \quad (1)$$

$$s_i = \frac{\text{volumen del carril crítico}}{\text{flujo de saturación (1800)}} \quad (2)$$

donde:

C_o : Tiempo óptimo de ciclo (s).

L : Tiempo total perdido por ciclo (s) que se corresponde con la suma de los tiempos de cambio y todo rojo.

s_i : índice de saturación. Máximo valor de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación para el acceso o carril crítico de la fase i .

Φ : Número de fases.

El intervalo de valores aceptables para la longitud de un ciclo determinado está entre el 75 % y el 150 % del ciclo óptimo, para el cual las demoras nunca serán mayores en más del 10 % al 20 % de la demora mínima. [2]

El método de Poisson está basado en la determinación del tiempo de luz verde por fase a partir de la probabilidad de llegadas aleatorias de los vehículos a la intersección lo que se ajusta a esa distribución de probabilidades, [8] prefijando un tiempo de ciclo inicial y mediante un proceso iterativo se comprueba si la suposición es correcta. Este cálculo es complicado por cuanto es un proceso de prueba y error y generalmente resultan ciclos mayores del óptimo y valores elevados de demora con un nivel de servicio de baja calidad.

Por la complejidad de las situaciones actuales en la amplia gama existente de escenarios de tráfico, diseño del dispositivo de control y condiciones geométricas, la ingeniería de tránsito utiliza software como potente herramienta que permita analizar diferentes configuraciones y aspectos que influyen en el funcionamiento; en este trabajo se ha utilizado el Trafficware (módulo Synchro y SimTraffic). [9]

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Caracterización general de las intersecciones objetos de estudio

Considerando las intersecciones semaforizadas con que cuenta La Habana, su nivel de complejidad y la existencia de un estudio actualizado de los volúmenes de tránsito por movimientos, las intersecciones que se tomaron para el estudio son las siguientes:

1. Calzada del Cerro y Avenida 26.
2. Calzada del Cerro y Avenida Rancho Boyeros.

3. Avenida 51 y Calle 114.
4. Avenida 35 y Calle 114.
5. Avenida 41 y Avenida 31.
6. Vía Blanca y Lactret.
7. Reina y Belascoaín.

Todas presentan elevados volúmenes de tránsito y están ubicadas en zonas de la ciudad con características disímiles que permiten diversificar aspectos tales como: composición vehicular, conducta de usuarios, influencia de la zona geográfica y del centro comercial de la ciudad. La ubicación de cada una se presenta en la figura 1.



Fig. 1. Ubicación de las intersecciones tomadas para el estudio.

Los estudios de volúmenes de tránsito de las intersecciones se realizaron durante 12 h (7:00 a. m. a 7:00 p. m.) divididos en intervalos de 30 min. y clasificados por tipo de vehículo.

A partir del resultado de los estudios de campo se procesaron los datos utilizando hojas Excel, mediante las cuales se pueden obtener el comportamiento de los volúmenes en cada hora durante el período de estudio, lo que permite obtener los siguientes parámetros de tránsito [2] para cada intersección. El valor de cada uno de ellos se muestra en la tabla 1:

1. Hora pico de la intersección (HP).
2. Volumen para cada acceso en la hora pico de la intersección.
3. Porcentaje de vehículos pesados en la hora pico de la intersección.
4. Cantidad de accesos y fases semaforizadas.

Como puede observarse la hora de máxima demanda se ubica siempre en la mañana cuando se concentran los viajes laborales, comportamiento típico en las zonas urbanas, con volúmenes por encima de los 700 vehículos equivalentes por hora y que sobrepasan los 4 000 en el caso de Calzada del Cerro y Avenida Rancho Boyeros. El porcentaje de vehículos pesados está en el orden de los observados como promedio

en la ciudad. La tipicidad de la muestra puede observarse en el número de accesos y fases.

Aplicación del método de Webster

Una vez aplicado el método de Webster para cada una de las intersecciones seleccionadas se obtuvieron los resultados de intervalos y tiempo de ciclo que se muestran resumidos en la tabla 2.

La diferencia entre los valores de temporización obtenidos en las intersecciones está dada por la diferencia de los volúmenes de demanda en cada una y de sus características geométricas en cuanto a ancho de los accesos y número de carriles.

Aplicación del método de Poisson

Una vez aplicado el método de Poisson para cada una de las intersecciones seleccionadas se obtuvieron los resultados de intervalos y los tiempo, de ciclo que se muestran resumidos en la tabla 3. Es importante recalcar que los valores mostrados fueron obtenidos y suministrados para esta investigación por el Centro Nacional de Ingeniería de Tránsito, ya que cuentan con la experiencia y el personal técnico capacitado para esta labor técnica.

A partir de los resultados anteriores se impone considerar algunos aspectos. En primer lugar que al trabajar con probabilidades de llegada de n vehículos al carril crítico en un tiempo de ciclo prefijado de antemano (eficiencia), se puede trabajar con valores diferentes de eficiencia de manera que el tiempo de ciclo resultante no sobrepase ciertos valores (entre 40 y 120 s generalmente).

El tiempo de verde necesario para evacuar dichos vehículos se calcula partiendo de que los intervalos entre vehículos son uniformes tanto a la entrada como a la salida, lo que no es siempre cierto. La diferencia en los tiempos de ciclo se debe, como se expresó con anterioridad, a las diferencias observadas en los volúmenes de demanda.

Comparación de los tiempos de ciclo obtenidos por cada método

En la figura 2 se observa las diferencias entre los resultados de los ciclos calculados por ambos métodos.

De la figura anterior puede deducirse que no existe un comportamiento estable de los resultados, del cual pueda concluirse categóricamente que por alguno de los métodos empleados se obtiene un mayor o menor tiempo de ciclo. Sin embargo, se observa una tendencia en obtener mayores tiempos de ciclo por Webster en las intersecciones con altos volúmenes de tránsito y viceversa, aunque esta suposición no se cumple para la intersección de 51 y 114. Por otro lado, las de volúmenes medios presentan características geométricas diferentes lo que pudiera estar influenciando los resultados obtenidos. En algunas intersecciones la diferencia en tiempo de ciclo es significativa con variaciones en más de 20 s, que representarían una disminución en más del 20 % del valor de ciclo óptimo, que pudiera reflejarse a su vez en la formación de colas. Debido a que la relación entre los parámetros de eficiencia en las intersecciones semaforizadas es un problema complejo, el análisis particularizado se presenta a continuación.

Tabla 1 Información resumen de los parámetros en las intersecciones estudiadas					
Intersección	Hora pico	Volumen total en la hora pico (autos equivalentes)	Vehículos pesados (%)	Accesos	Fases
Calzada del Cerro y Avenida 26	7:00 a 8:00 a.m.	3 389	10	4	3
Calzada del Cerro y Avenida Rancho Boyeros	7:30 a 8:30 a.m.	4 125	8	4	3
Avenida 51 y Calle 114	7:00 a. 8:00 a.m.	994	18	4	3
Avenida 35 y Calle 114	8:00a 9:00a.m.	1 105	11	4	4
Avenida 41 y Avenida 31	8:00a 9:00a.m.	991	8	4	3
Vía Blanca y Lacret	7:00 a 8:00 a.m.	782	15	4	3
Reina y Belascoaín	8:00 a 9:00 a.m.	732	10	4	3

Tabla 2
Resumen del resultado del cálculo de ciclo de semáforo mediante el método de Webster

Intersección	Fases	Intervalo de cambio de fase (s)	Tiempo perdido por ciclo (s)	Ciclo óptimo (s)	Tiempo de verde efectivo total (s)	Tiempo de verde por fase (s)	Tiempo total de cada fase (s)
Calzada del Cerro y Avenida 26	1	5	13	109	96	20	25
	2	4				48	52
	3	4				28	32
Calzada del Cerro y Rancho Boyeros	1	6	24	115	91	39	45
	2	9				25	34
	3	9				27	36
Avenida 51 y Calle 114	1	5	15	67	52	27	32
	2	5				14	19
	3	5				11	16
Avenida 35 y Calle 114	1	4	12	107	95	50	54
	2	4				34	38
	3	4				11	15
Avenida 41 y Avenida 31	1	5	15	118	102	22	27
	2	5				28	33
	3	5				53	58
Vía Blanca y Lacret	1	5	13	50	37	15	20
	2	4				12	16
	3	4				10	14
Reina y Belascoaín	1	4	12	55	43	11	15
	2	4				17	21
	3	4				15	19

Comparación de los parámetros de eficiencia obtenidos por ambos métodos

Los parámetros de eficiencia de la operación que se tomarán para la comparación de los resultados son: [10]

1 Demora promedio por vehículo (s/veh).

La demora es sin dudas la variable relativa al tránsito que perciben mejor los usuarios de las intersecciones semaforizadas y es una medida de la molestia, frustración, consumo de combustible, seguridad y tiempo de viaje perdido por el conductor, es de naturaleza subjetiva y se utiliza para determinar el grado de movilidad que brinda un sistema vial.

2 Nivel de servicio (NS).

Es una medida cualitativa que describe las condiciones operacionales dentro de la corriente del tránsito y su percepción por el conductor. Se define en términos de demora media por vehículo que se espera en una intersección semaforizada para sus condiciones imperantes. Se definen seis niveles de servicio asignándoles de la letra "A" a la "F", siendo el nivel de servicio "A" el que representa las mejores condiciones de operación y el nivel de servicio "F", las peores condiciones. En la tabla 4 se muestran los criterios para el nivel de servicio en función de la demora.

Comparación de dos métodos de diseño para ciclos de semáforos

Tabla 3 Resumen del cálculo de ciclo de semáforo mediante el método de Poisson					
Intersección	Fases	Eficiencia (%)	Intervalo de verde (s)	Intervalo de cambio de fase (A+TR) (s)	Ciclo total (s)
Calzada del Cerro y Avenida 26	1	65,8	25	4	91
	2	72,1	29	4	
	3	69,4	25	4	
Calzada del Cerro y Avenida de Rancho Boyeros	1	88,3	15	6	102
	2	94,7	25	9	
	3	85,0	38	9	
Avenida 51 y Calle 114	1	77,3	27	5	80
	2	90,2	23	5	
	3	80,2	18	5	
Avenida 35 y Calle 114	1	74,6	36	4	85
	2	71,9	27	4	
	3	62,5	10	4	
Avenida 41 y Avenida 31	1	80,3	21	4	86
	2	78,4	19	4	
	3	83,0	34	4	
Vía Blanca y Laret	1	82,6	21	5	75
	2	80,9	19	4	
	3	81,8	17	4	
Reina y Belascoaín	1	84,4	17	4	60
	2	90,0	8	4	
	3	88,6	23	4	

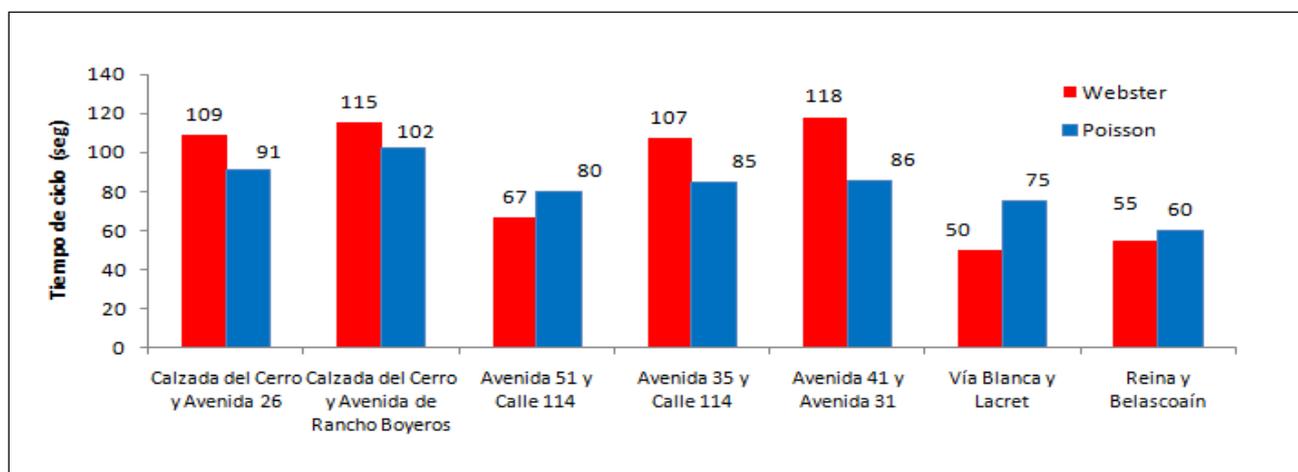


Fig. 2. Tiempos de ciclo obtenidos por cada método de diseño.

Tabla 4
Criterios para el Nivel de servicio en intersecciones semaforizadas

Nivel de servicio	Demora media de parada por vehículo (s/veh)
A	$\leq 10,0$
B	$> 10,0$ y $\leq 20,0$
C	$> 20,0$ y $\leq 35,0$
D	$> 35,0$ y $\leq 55,0$
E	$> 55,0$ y $\leq 80,0$
F	$> 80,0$

3. Relación volumen / capacidad (v/c).

Representa la relación entre la demanda de transporte y la capacidad de la infraestructura. Cuando su valor está por encima de la unidad representa congestión, pero en valores por debajo de la unidad y por encima de 0, 85 la circulación se torna inestable.

4. Tamaño de la cola para el percentil 95 (m).

El percentil 95 indica la máxima cola que se debe producir cuando los niveles de demanda son máximos, o sea, durante el intervalo de máxima demanda durante la hora pico.

Los resultados obtenidos de los parámetros anteriores para cada método de diseño se muestran en la tabla 5.

De la tabla anterior se pueden obtener las conclusiones siguientes con respecto a los indicadores analizados. *Demoras:* Se observa que los resultados no son uniformes ni están en relación con los tiempos de ciclo, aunque prevalecen menores demoras por el método de Poisson. Con respecto a la demora general de la intersección, el comportamiento se puede apreciar en la figura 3. Se observa que con una excepción, son mayores las obtenidas por el método de Webster, con diferencias pequeñas excepto en una de las intersecciones donde es bien marcada.

Niveles de servicio: La tendencia es similar, pero con menores diferencias, debido a que no responden a un único valor, sino a un intervalo de comportamiento de las demoras.

Relación volumen-capacidad: El comportamiento por acceso en cada intersección es similar a los anteriores con tendencias no uniformes.

Tabla 5
Resultados de los parámetros de eficiencia obtenidos para cada método de diseño

Intersección	Fases	Demora (s/veh) y NS		Relación volumen capacidad (v/c)		Tamaño de la cola para el percentil 95 (m)	
		W	P	W	p	W	P
Calzada del Cerro y Avenida 26	1	23,9 C	41,4 D	0,54	0,87	72,7	88,1
	2	275,9 F	55,2 E	0,51	0,91	217,1	147,3
	3	46,7 D	35,3 D	0,85	0,79	102,5	78,3
	P	Demora total: 41.4 s/veh			NS de la intersección: D		
	W	Demora total: 122.9 s/veh			NS de la intersección: F		
Calzada del Cerro y Rancho Boyeros	1	39,6 D	50,3 D	0,40	0,57	55,0	50,9
	2	41,3 D	35,1 D	0,65	0,62	78,0	69,1
	3	42,1 D	27,9 C	0,91	0,77	130,3	103,3
	P	Demora total: 27,0 s/veh			NS de la intersección: C		
	W	Demora total: 36,8 s/veh			NS de la intersección: D		
Avenida 51 y Calle 114	1	22,4 C	45,8 D	0,67	0,87	71,2	110,3
	2	25,7 C	18,2 B	0,88	0,83	66,7	54,0
	3	32,3 C	22,0 C	0,65	0,36	32,3	30,4
	P	Demora total: 26,1 s/veh			NS de la intersección: C		
	W	Demora total: 24,6 s/veh			NS de la intersección: C		

Comparación de dos métodos de diseño para ciclos de semáforos

Tabla 5 Continuación								
Resultados de los parámetros de eficiencia obtenidos para cada método de diseño								
Intersección	Fases	Demora (s/veh) y NS		Relación volumen capacidad (v/c)		Tamaño de la cola para el percentil 95 (m)		
		W	P	W	P	W	P	
Avenida 35 y Calle 114	1	47,7 D	43,1 D	0,91	0,92	207,1	170,5	
	2	39,0 D	40,3 D	0,72	0,80	109,9	103,5	
	3	64,4 E	47,2D	0,74	0,67	51,7	40,1	
	P	Demora total: 37,5 s/veh			NS de la intersección: D			
	W	Demora total: 42,0 s/veh			NS de la intersección:D			
Avenida 41 y Avenida 31	1	173,3 F	61,6 E	1,29	1,02	148,7	95,5	
	2	444,7 F	363,0 F	1,79	1,73	167,0	130,3	
	3	75,8 E	128,7 F	1,28	1,48	166,5	138,1	
	P	Demora total: 131,1 s/veh			NS de la intersección: F			
	W	Demora total: 157,1 s/veh			NS de la intersección:F			
Vía Blanca y Lacret	1	1151,0 F	607,4 F	3,49	2,28	110,5	62,1	
	2	31,0 C	24,1 C	0,59	0,70	34,5	32,3	
	3	29,5 C	20,1 C	0,53	0,61	48,4	31,0	
	P	Demora total: 17,7 s/veh			NS de la intersección: B			
	W	Demora total: 20,7 s/veh			NS de la intersección: C			
Reina y Belascoaín	1	33,7 C	21,4 C	0,82	0,58	48,8	39,6	
	2	5,1 A	9,2 A	0,42	0,59	16,1	23,1	
	3	27, 7 C	16,9 B	0,81	0,57	59,1	47,0	
	P	Demora total: 16,2 s/veh			NS de la intersección: B			
	W	Demora total: 22,4 s/veh			NS de la intersección: C			

Siendo W: Webster y P: Poisson

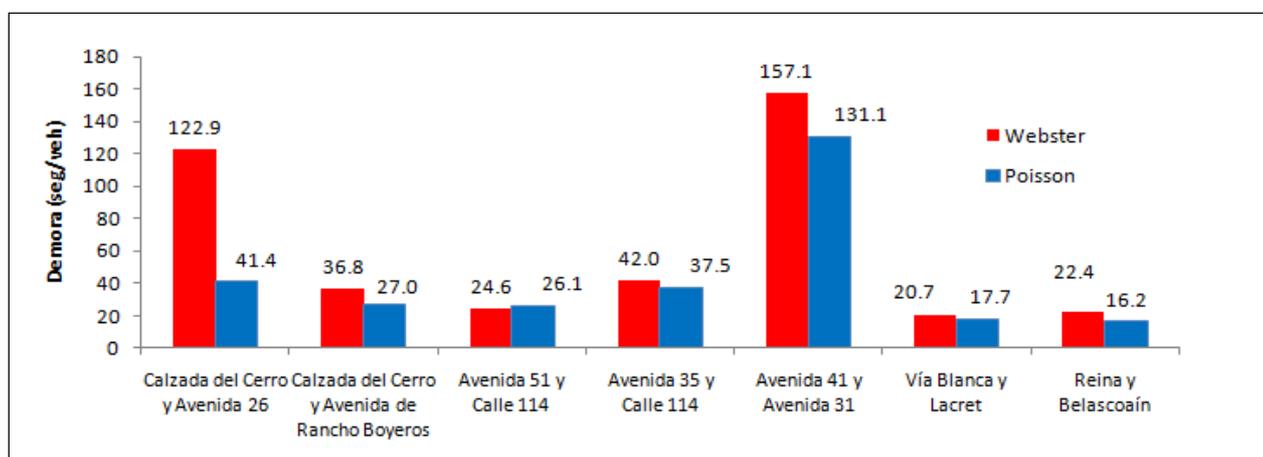


Fig. 3. Demora por intersección para cada método de diseño.

Tamaño de la cola: Se observa que los mayores tamaños de cola se obtienen por el método de Webster, aunque los resultados se corresponden con las demoras, mientras mayores sean estas, mayor será el tamaño de la cola.

Estos resultados muestran la incidencia que pudiera tener en estos parámetros el utilizar diferentes valores de eficiencia para el diseño por el método de Poisson.

CONCLUSIONES

- Las intersecciones de la muestra tienen un número similar de accesos y fases pero no exhiben un comportamiento similar de tránsito, geometría y dispositivos de control lo que podría estar incidiendo en los resultados obtenidos.

- Los tiempos de ciclo obtenidos por ambos métodos no muestran una uniformidad en los resultados, en algunas intersecciones es mayor el obtenido por Webster y en otras por Poisson.

- Para el cálculo con el método de Poisson se utilizaron diferentes valores de eficiencia dictados por la experiencia y la práctica local, lo que influye indudablemente en los parámetros de eficiencia obtenidos.

- Los parámetros de efectividad no arrojaron un comportamiento uniforme en función del método analizado, aunque las demoras totales de la intersección tienden a ser mayores por el método de Webster.

REFERENCIAS

1. **ALBA, María Liliana.** "Procedimiento para el tratamiento de emplazamientos urbanos con alta concentración de accidentes". Tesis de Doctorado, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, 2009.
2. **CAL Y MAYOR, Rafael; CÁRDENAS, James.** *Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y aplicaciones.* México: Alfaomega. 2007. 624 pp. ISBN: 970-151-238-3.
3. **RODEGERDTS, L. A. et al.** *Signalized Intersections: An Informational Guide.* Department of Transportation. Federal Highway Administration, FHWA-HRT-04-091. Virginia USA, 2004. 369 pp.

4. **BULL, Alberto.** *Congestión del tránsito. El problema y cómo enfrentarlo.* CEPAL, ONU: Santiago de Chile, 2003. 197 pp. ISBN 92-1-322162-2.
5. **WEBSTER, F.V.; COBBE, B. M.** *Traffic Signals.* London, England: Her Majesty's Stationery Office, 1966.
6. **MATSON, T. M.; HRD.F.W.** *Traffic Engineering,* Book Company INC. USA: McGraw Hill, 1955, 402 pp.
7. **WEBSTER, F.** *A Method for Measuring Saturation Flow at Traffic Signals?* Road Research Laboratory. London, Inglaterra, 1967.
8. **WALPOLE, Ronald; MYERS, Raimond.** *Probabilidad y estadística para ingenieros.* México DF: Pearson Educación, 6ta. ed. 1999. 237 pp. ISBN: 970-17-0264-6.
9. Trafficware Corporation. *Traffic Signal Coordination Software. Synchro and SimTraffic Version 6.0 DEMO.* Albany. USA, 2004.
10. Transportation Research Board (TRB). *Highway Capacity Manual 2000.* Washington DC. USA: National Academy of sciences, 2000, 940 pp. ISBN: 0-309-06681-6.

AUTORES

María Liliana Alba Menéndez

Ingeniera Civil, Doctora en Ciencias, Profesora Titular, Departamento de Ingeniería Vial, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba. Colaboradora del Centro Nacional de Ingeniería de Cuba, Centro Nacional de Vialidad y Ministerio del Transporte.

Oisy Hernández Menéndez

Ingeniera Civil, Máster en Ingeniería Vial, Profesora Asistente, Departamento de Ingeniería Vial, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba. Colaboradora del Centro Nacional de Ingeniería de Cuba y Ministerio del Transporte.

Comparison of Two Methods of Traffic Signal Design Cycle

Abstract

To satisfy the traffic demand in intersections, with safety and efficiency it is common to use a signal like control device, such that the right of using the common space of the intersections is assigned alternatively to the currents of such traffic flow that they cross. In Cuba, for the calculation of the cycle length and the phases of the signal the Method of Poisson is used, based on the probability of random arrivals of vehicles to the access point, developed in the 50th century. Presently many countries use the Method developed by Webster in England during 60th century, based on empiric observations then and unto today has proven effective, where an optimal cycle length is calculated, that is minimum delays and better levels of service. In this study several intersections in Havana with high levels of complexity were studied, the cycle length and the intervals of green were calculated by each method, the parameters that define the quality of the operation were determined in each method. The result will be vital in the strategic planning as see fit the National Centre of Traffic Engineering in the designing of traffic lights, with efficiency in road traffic.

Key words: traffic light, traffic light cycle, delays