



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

manuela@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión
Tecnológica de Santiago de Cuba
Cuba

González-Fernández, Hilda; Ruiz-Caballero, Pilar; Castilla-González, Aníbal
ANÁLISIS FUNCIONAL DE LA INTERSECCIÓN CALVARIO-AGUILERA PARA
DISMINUIR LOS RIESGOS DE ACCIDENTES EN LA CIRCULACIÓN VEHICULAR Y
PEATONAL

Ciencia en su PC, núm. 4, 2017, pp. 68-77
Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba
Santiago de Cuba, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181353794004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

**ANÁLISIS FUNCIONAL DE LA INTERSECCIÓN CALVARIO-AGUILERA
PARA DISMINUIR LOS RIESGOS DE ACCIDENTES EN LA CIRCULACIÓN
VEHICULAR Y PEATONAL**

**FUNCTIONAL ANALYSIS OF THE INTERSECTION CALVARIO-AGUILERA
TO DIMINISH RISKS OF ACCIDENTS IN THE VEHICULAR AND
PEDESTRIAN CIRCULATION**

Autores:

Hilda González-Fernández, hglez@uo.edu.cu. Universidad de Oriente.
Santiago de Cuba, Cuba.

Pilar Ruiz-Caballero, pilar@scu.unaicc.cu. Centro Provincial de Vialidad
de Santiago de Cuba. Santiago de Cuba, Cuba.

Aníbal Castilla-González, cpc@megcen.ciges.inf.cu. Centro Provincial de
Ingeniería de Tránsito. Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo analizar las condiciones actuales del tránsito en la intersección Calvario- Aguilera, ubicada en el centro histórico de la ciudad de Santiago de Cuba, debido a las quejas recibidas por los usuarios que transitan por calle Calvario en relación con el tiempo de espera que sufren cuando intentan cruzar o incorporarse a la calle Aguilera, con sus consecuencias en el aumento de tiempo de viaje y riesgos de accidentes. Para esto, sobre la base de una revisión bibliográfica, se analizó el funcionamiento de esta intersección. Primero se realizaron estudios de volúmenes vehiculares y peatonales, así como comprobaciones de las demoras por calle Calvario, lo cual exigió mediciones de campo y el posterior análisis de los resultados. Estos permitieron indicar que el control del semáforo en el referido cruzamiento debe ser en tiempos fijos, ya que no resulta efectivo continuar con un régimen de intermitencia. Finalmente se presenta el cálculo del semáforo y como resultado la propuesta de solución mediante gráfico.

Palabras clave: intersección, riesgos de accidentes, semáforo.

ABSTRACT

This paper aims to analyze the current traffic conditions at the Calvario-Aguilera intersection located in the Historic Center of the city of Santiago de Cuba, motivated to complaints received by users who cross Calvario Street in relation to the waiting time they suffer when try to cross or join the street Aguilera, with its consequences in increasing travel time and accident risks. For this, based on a bibliographical review, the operation of the same is analyzed. First, studies of vehicular and pedestrian volumes are carried out, as well as verifications of the delays by Calvario Street, requiring field measurements and the subsequent analysis of the results, allowing to affirm that the control of the traffic light in said crossing must be in fixed times, not being effective to continue with intermittent regime. Finally the calculation of the traffic light is presented and as a result the proposed solution graphically.

Key words: intersection, accident risks, traffic light.

INTRODUCCIÓN

Es conocido que las calles y avenidas son el medio físico de circulación de los vehículos en una ciudad. Normalmente en un cruce entre dos o más vías existen vehículos cuyos movimientos no se pueden realizar simultáneamente, pues son conflictivos entre sí. Por tanto, es necesario el establecimiento de algunas normas de control de derecho de paso, a fin de aumentar o reducir los riesgos de accidentes, tanto entre vehículos como entre vehículos y peatones.

En las vías que presentan bajos volúmenes de tránsito los conflictos entre vehículos son, en la mayoría de los casos, fácilmente resueltos por los conductores, a través de una regla implícita de conducta. Sin embargo, con el aumento de los vehículos esa regla no siempre es obedecida y las disputas por el derecho de paso pueden ser, en ocasiones, motivo de discordia y discusión. Para resolver este problema se establecieron reglas de prioridad entre las aproximaciones del cruce. Así, por ejemplo, los vehículos de las calles de mayor volumen de tráfico normalmente tienen prioridad para atravesar la intersección, debiendo los vehículos en la vía transversal (menor prioridad) parar y/o ceder el paso. Este esquema puede ser obtenido a través de la colocación de placas y pintura de solo PARE en las transversales.

La solución anterior ha provocado algunos problemas; pues, dependiendo del volumen del tránsito de la vía principal, los vehículos en la vía secundaria sufren una demora muy grande por lo que tienen que esperar durante un largo tiempo para poder atravesar el cruce. Con el fin de superar esta dificultad, se procedió a una ordenación secuencial y cíclica del paso en la intersección, que consiste en dar un período específico de tiempo para realizar el recorrido a una determinada corriente de tránsito. Durante ese período no es permitido el movimiento de vehículos de las corrientes del tránsito conflictivas. Normalmente, la autorización de movimientos para los vehículos de una corriente de tránsito es hecha por medio de un equipamiento instalado en el cruce, denominado semáforo.

Aunque los semáforos instalados en las intersecciones entre calles de un sistema vial de una ciudad tengan por objetivo disciplinar las maniobras de cruce, preservando la seguridad de los vehículos y peatones; variaciones en el tiempo de los volúmenes o una instalación de un semáforo sin

un previo estudio pueden causar demoras en la circulación de los vehículos en algunos de sus accesos de llegada, lo cual puede incentivar la ocurrencia de accidentes. Un ejemplo de esta situación se observa en la intersección Aguilera-Calvario, ubicada en el casco histórico de la ciudad de Santiago de Cuba. Ante esta problemática es necesario evaluar el funcionamiento de dicho cruzamiento. De ahí que el objetivo de la investigación realizada fue evaluar el funcionamiento de la intersección semaforizada Aguilera-Calvario, ubicada en el centro histórico de la ciudad de Santiago de Cuba.

METODOLOGÍA

Según DENATRAM (2011), semáforo o grupo focal es un dispositivo de control del tránsito que, a través de indicaciones luminosas transmitidas para conductores y peatones, alterna el derecho de paso de vehículos y/o peatones en intersecciones de dos o más vías.

Pereira (2011) refiere que son dos los tipos de control proporcionados por la señalización semafórica. El primero es el control en tiempo fijo u operación prefijada; el segundo, el control accionado por el tránsito, que posee niveles distintos de respuestas a las variaciones observadas en los flujos controlados.

Este autor señala que el control en tiempo fijo es el tipo más común, que opera de acuerdo con programaciones predeterminadas de tiempo, donde el tiempo de ciclo es constante y los instantes de cambio de las fases son fijos en relación con el ciclo.

Criterios para la instalación de semáforos

La instalación de semáforos en tiempo fijo, según Cal y Mayor (2010), que coincide con otros autores (Cuba. Ministerio del Interior, 2008; DENATRAM, 2011), debe estar supeditada al cumplimiento de los siguientes criterios:

1. Volumen mínimo de vehículos
2. Volumen mínimo de peatones
3. Movimiento progresivo
4. Experiencias en accidentes
5. Combinaciones de justificaciones

El criterio 1 constituye el factor más importante para determinar la necesidad de la instalación de un semáforo en régimen fijo, de ahí que se presentan los

valores mínimos de vehículos equivalentes, establecidos para la situación en estudio: dos accesos de llegada cuyas secciones transversales poseen un solo carril (Tabla 1).

Tabla 1 Volumen mínimo de vehículo

Número de carriles de tránsito en cada acceso		Vehículos por hora en la calle principal (total en ambos accesos)	Vehículos por hora en el acceso de mayor volumen de la calle secundaria
Calle principal	Calle secundaria		
1	1	750	75
		670	100
		580	125
		500	150
		410	175
		380	190

En relación con el segundo criterio, se plantea que el conflicto vehículo-peatón en una sección de la vía justifica la implantación de un semáforo cuando 150 o más peatones por hora cruzan la vía de mayor volumen durante cada una de cualquiera de las ocho horas de un día representativo.

Cálculo de los tiempos del semáforo

En la realización de este trabajo se siguió la siguiente metodología para el cálculo del semáforo:

1. Convertir los volúmenes mixtos a flujo de vehículos ligeros directos equivalentes, aplicando la siguiente expresión:

$$q_{AQDE} = \frac{VHMD}{FHMD} \left(\frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{V(I \& D)}) \quad (1)$$

donde:

$FHMD$: Factor que convierte volúmenes a flujo.

$E_{V(I \& D)}$: Factor que convierte automóviles que dan vuelta izquierda o derecha a automóviles directos equivalentes

f_{HV} : Factor que convierte volúmenes vehiculares mixtos a automóviles.

2. Calcular la longitud de los intervalos de cambio de la fase.

Cal y Mayor (2010) recomienda aplicar la siguiente expresión:

$$y = \left(t + \frac{v}{2a} \right) + \left(\frac{W + L}{v} \right) \quad (2)$$

donde:

y : intervalo de cambio de fase, amarillo más todo rojo, seg.

t : tiempo de percepción-reacción del conductor (usualmente 1 seg.).

v : velocidad de aproximación de los vehículos, m/s.

a : tasa de aceleración (valor usual $3,05 \text{ m/s}^2$).

W : ancho de la intersección, m.

L : longitud del vehículo tipo que accede a la intersección, m.

Los dos primeros términos identifican el tiempo amarillo y el tercero el tiempo de todo rojo

3. Cálculo de la tasa de ocupación o grado de saturación de una aproximación.

Adalpe (1976) plantea, a partir de la experiencia mexicana, un valor de flujo de saturación ideal igual a 1800 auto/hora de luz verde por carril, bajo condiciones ideales. El HCM (2000) indica el valor planteado por los americanos, igual a 1900 auto/h. Sea cual fuere este número, deberá ser ajustado a las condiciones prevalecientes para obtener el flujo de saturación del grupo de carriles o carril que se esté considerando.

4. Cálculo del tiempo de ciclo óptimo de la intersección.

Sobre la base de lo indicado por DENATRAN (2011) y Cal y Mayor (2010) la tasa de ocupación (Y_i) puede definirse como la relación entre el flujo de automóviles directos equivalentes máximo por carril para cada fase y el flujo de saturación, o sea:

$$Y_i = \frac{q_{AQDE \text{ max del carril } i}}{S_i} \quad (3)$$

5. Cálculo de la duración de ciclo y los tiempos de verde para cada fase.

De los varios métodos existentes para el cálculo del semáforo, DENATRAN (2011), Cal y Mayor (2010) y Nicholas (2002) recomiendan el método de Webster por considerar que es un método completo y detallado, que posibilita la determinación de los tiempos verdes y de longitud de ciclo, con lo cual se produce el menor atraso general posible en la intersección.

La ecuación planteada por Webster es:

$$C_o = \frac{1,5 \cdot L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\varphi} Y_i} \quad (4)$$

donde:

C_o : duración óptima del ciclo, seg.

L : tiempo total perdido por ciclo, seg.

Y_i : valor máximo de las relaciones de flujo actual y el flujo de saturación para el acceso o movimiento o carril crítico de la fase i .

φ : número de fases

El tiempo efectivo de luz verde disponible por ciclo se determina con la aplicación de la siguiente expresión:

$$g_T = C - L = C - \left[\sum_{i=1}^{\varphi} (A_i + TR_i) \right] \quad (5)$$

donde:

g_T : duración de verde efectivo total por ciclo disponible para todos los accesos, seg.

C : duración real del ciclo que se utiliza (generalmente obtenida al redondear los siguientes 5 seg.).

Para obtener la demora mínima total, el tiempo efectivo total de luz verde debe distribuirse entre las diferentes fases proporcionalmente a los valores de Y_i para alcanzar el tiempo efectivo de luz verde para cada fase, o sea:

$$g_i = \frac{Y_i}{\sum_{i=1}^{\varphi} Y_i} (g_T) Y_i = \frac{q_{AQDE \text{ max del carril } i}}{S_i} \quad (6)$$

Estudio de demoras

En la realización de esta investigación el cálculo de las demoras promedio de los vehículos se determinó siguiendo el procedimiento indicado por SEDESOL (2003). Este método mide solo las demoras durante las cuales el vehículo permanece parado, las reducciones de velocidad no son consideradas en el mismo. El trabajo de campo consiste en:

1. Contar el número de vehículos que se paran en un afluente de la intersección en intervalos sucesivos.
2. Contar el volumen del afluente, incluyendo los vehículos que paran y los que no paran.

Obtenida la demora promedio por vehículo, se puede determinar el nivel de servicio que le corresponde (Tabla 2).

Tabla 2 Criterio para definir nivel de servicio en intersección

Nivel de servicio	Demora promedio (seg/veh)
A	0-10
B	>10-15
C	>15-25
D	>25-35
E	>35-50

RESULTADOS

Se estudia el funcionamiento de la intersección a nivel Aguilera-Calvario (Figura 1) localizada en el casco histórico de Santiago de Cuba, a la que accede una parte importante del flujo vehicular que transita por el centro de la ciudad. La misma posee dos accesos de llegada, a saber:

- Acceso I por calle Aguilera
- Acceso II por calle Calvario

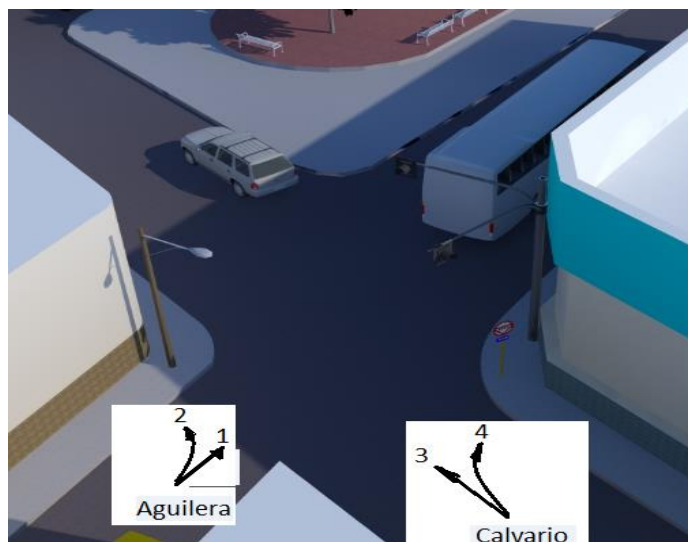


Figura 1: Vista planimétrica de la intersección

Los conteos vehiculares realizados en los meses de marzo, abril y agosto de 2016 permitieron encontrar el volumen horario de máxima demanda y la hora pico correspondiente. En la tabla 3 se resumen los volúmenes máximos mixtos obtenidos los tres días que duró el estudio para el mes de marzo (por acceso y para la intersección), por ser el mes donde se registraron los mayores valores;

en la tabla 4 los correspondientes equivalentes expresados en autos o vehículos ligeros, según los coeficientes de equivalencia establecidos por la normas del Minint (2008) y los por cientos por tipo de vehículos determinados como resultado del conteo.

Tabla 3 Volúmenes horarios mixtos máximos

Día	Hora pico	Volumen por acceso						Volumen total máximo en la intersección
		I (Aguilera)			II (Calvario)			
		Mov.1	Mov. 2	Total	Mov.3	Mov.4	Total	
Martes	10:15-11:15	619	71	690	118	141	259	949
Miércoles	11:30-12:30	600	79	679	143	101	244	923
Jueves	8:45-9:45	762	67	829	131	136	267	1096

Tabla 4 Volúmenes horarios equivalentes

Día	Hora pico	Volumen por acceso						Volumen total máximo en la intersección
		I (Aguilera)			II (Calvario)			
		Mov.1	Mov.2	Total	Mov.3	Mov4	Total	
Martes	10:15-11:15	449	59	508	88	104	192	700
Miércoles	11:30-12:30	436	66	502	122	81	204	706
Jueves	8:45-9:45	538	80	618	95	90	185	803

En la Tabla 3 se observa que el mayor valor de volumen mixto registrado fue 1096 veh/h en el horario comprendido entre las 8:45-9:45 am del jueves.

El primer criterio para la instalación de un semáforo exige del conocimiento del volumen medio de las 8 horas de mayor volumen en la intersección. Para el día de máxima demanda estos fueron los valores obtenidos: para la vía principal (Aguilera) 578 veh./h, para la vía secundaria (Calvario) 266 veh./h; superiores a los mínimos establecidos en la tabla 1 (500 veh./h y 150 veh/h respectivamente). Lo anterior indica que se justifica el cambio del semáforo en intermitencia a control en tiempo fijo. Los valores obtenidos el martes y el miércoles también sobrepasan los mínimos, lo que valida aún más la afirmación anterior.

Además de cumplir el requisito de volumen de tránsito (criterio 1), que constituye el factor más importante para determinar la necesidad de instalación

de un semáforo, en el conteo de peatones que cruzan la vía principal los volúmenes horarios que se obtuvieron superan el mínimo establecido de 150 peatones/h; por tanto, se justifica también por este criterio el semáforo con control en tiempo fijo.

Del estudio de demora por la vía secundaria se alcanzó como valor medio 41 seg./veh, que es inaceptable al corresponderse con un nivel de servicio E, según se verifica en la tabla 2. Este resultado valida la situación que se crea con el actual semáforo, programado en régimen de intermitencia.

Sobre la base de los volúmenes horarios equivalentes para el día de máxima demanda se pasa al cálculo del semáforo. Como resultado se propone el siguiente diagrama de fases (Figura 2).

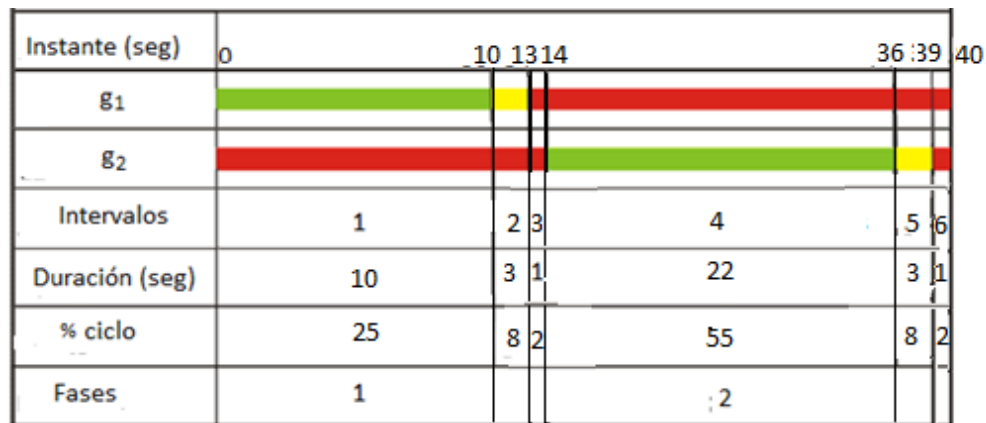


Figura 2: Diagrama de fases para el semáforo de tiempo fijo propuesto

CONCLUSIONES

1. Se realizó un extenso trabajo de medición de volúmenes y demoras. Como resultado del mismo la hora de máxima demanda está comprendida entre las 8:45 y las 9:45 am, correspondiéndole un volumen mixto total de llegada a la intersección igual a 1096 veh/h: 829 veh/h por Aguilera y 267 veh/h por Calvario. Las demoras promedio de los vehículos que acceden por calle Calvario se encuentran en el orden de los 41 segundos, valor que indica un nivel de servicio E.
2. El promedio de los volúmenes máximos equivalentes obtenidos durante 8 horas los tres días que duró el conteo son superiores a los mínimos establecidos en el criterio 1; además, se cumple el requisito 2; lo cual confirma la necesidad de modificar el régimen del semáforo en la

intersección objeto de estudio de intermitente a tiempo fijo, con lo que disminuirían los riesgos de accidentes.

3. El cálculo del semáforo indica que este debe ser programado para una duración total de ciclo igual a 40 seg, asignándole 10 seg del verde efectivo al acceso por calle Calvario y 22 seg al acceso por calle Aguilera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cuba. Ministerio del Interior (Minint). (2008). *Normas de Semáforos*. La Habana, Cuba.

DENATRAN (2011). *Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito* (Volumen V). Brasília DF, Brasil.

Pereira, C. (2011). *Análise da programação semafórica das interseções do eixo monumental de Brasília*. Brasil: Universidade estadual de Goiás, Unidade Universitária de Ciências exatas e tecnológicas.

Cal y Mayor, R. (2010). *Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones*. La Habana: Editorial Félix Varela.

Adalpe, C. (1976). *Los semáforos y el control dinámico del tránsito*. México: Representaciones y Servicios de Ingeniería.

Highway Capacity Manual [HCM]. (2000). (4ta edición). USA: Transportation Research Board.

Nicholas, J. (2002). *Traffic Highway Engineering*. USA: Thomson Learning.

SEDESOL (2003). *Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito, programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias mexicanas*. México.

Recibido: marzo de 2017

Aprobado: septiembre de 2017