

<https://rcientificaesteli.unan.edu.ni>

DOI: <https://doi.org/10.5377/farem.v11i3.14914>

Evaluación de la incidencia de los ciclos sobre el nivel de servicio de intersecciones no semaforizadas en la ciudad de Holguín

Evaluation of the incidence of cycles on the level of service of non-signalized intersections in the city of Holguín

Eunices Soler Sánchez

Profesora asistente de la Universidad de Holguín, Cuba

<https://orcid.org/0000-0002-8165-6225>

eunices@uho.edu.cu

Silvia Campos Movilla

Profesora auxiliar de la Universidad de Holguín, Cuba

<https://orcid.org/0000-0001-6521-0218>

silvia.campos@uho.edu.cu

Mariela Silva Cruz

Profesora titular de la Universidad de Holguín, Cuba

<https://orcid.org/0000-0001-8233-1919>

marielas@uho.edu.cu

RESUMEN

El análisis de la circulación del tránsito en la zona urbana es complejo, pues varios son los parámetros que intervienen en las corrientes vehiculares. En el Manual de Capacidad de Carretera (*Highway Capacity Manual*, 2010), se establecen diferentes metodologías de análisis que permiten evaluar las condiciones de operación del tráfico; pero se deben adaptar a las características de la zona donde se realice el estudio. Tal es el caso de utilizarlo en el territorio holguinero, donde el volumen de ciclos es elevado y los mismos no están considerados. Para emplear la metodología para intersecciones no semaforizadas debe ajustarse con un factor que considere los ciclos, pues al no hacerlo, los resultados no estarán acordes a lo que se percibe en el terreno. El objetivo principal de esta investigación radica en evaluar cómo inciden los ciclos en la operación del tránsito en intersecciones no semaforizadas de la ciudad de Holguín a partir de los análisis de capacidad, Nivel de Servicio y la determinación de un factor de equivalencia de ciclos a autos ligeros para lograr una misma unidad de cálculo. Se emplean en el estudio un conjunto de métodos teóricos, empíricos y estadísticos que permitieron constatar a partir de los estudios de tránsito que el factor de equivalencia de ciclos a autos ligeros de 1: 0.33 (1 ciclo equivale a 0.33 auto) y en el análisis sin la consideración de las bicicletas de la condición de operación del flujo es favorable (Nivel de Servicio C); sin embargo al tenerlo en cuenta se alcanza una condición desfavorable (Nivel de Servicio E) lo que demuestra la incidencia negativa de estos medios de transporte en este tipo de emplazamiento.

© 2022 - Revista Científica de FAREM-Estelí.



Este trabajo está licenciado bajo una [Licencia Internacional Creative Commons 4.0 Atribución-NoComercial-CompartirIgual](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

RECIBIDO

10/02/2022

ACEPTADO

25/08/2022

PALABRAS CLAVE

Ciclos; capacidad; nivel de servicio; intersecciones no semaforizadas.

ABSTRACT

The analysis of traffic circulation in the urban area is complex, since there are several parameters involved in vehicular currents. In the Highway Capacity Manual (Highway Capacity Manual, 2010), different analysis methodologies are established to evaluate the traffic operation conditions; but they must be adapted to the characteristics of the area where the study is carried out. Such is the case of using it in the Holguín territory, where the volume of cycles is high and they are not considered. In order to use the methodology for non-signalized intersections, it should be adjusted with a factor that considers the cycles, because if this is not done, the results will not be in accordance with what is perceived in the field. The main objective of this research is to evaluate how cycles affect traffic operation at non-signalized intersections in the city of Holguín through the analysis of capacity, Level of Service and the determination of a factor of equivalence of cycles to light cars to achieve the same calculation unit. The study uses a group of theoretical, empirical and statistical methods that allowed to verify from the traffic studies that the equivalence factor of cycles to light cars of 1: 0.33 (1 cycle equals 0.33 car) and in the analysis without the consideration of bicycles of the operating condition of the current flow is favorable (Level of Service C); however when taking it into account, an unfavorable condition is reached (Level of Service E) which shows the negative incidence of these means of transport in this type of location.

KEYWORDS

Cycles; capacity; level of service; non-signalized intersections.

INTRODUCCIÓN

250

El automóvil es el principal medio de transporte público en los países desarrollados, brinda condiciones de seguridad, confort y velocidad. Sin embargo, el rápido crecimiento poblacional ha forzado a las personas a buscar vías alternativas de locomoción. La bicicleta es una opción muy sugerente, ya sea por motivos económico, pues este no necesita de combustible para su traslación o porque sea ligero y de fácil manejo.

En Cuba luego de la caída del campo socialista, la nación se vio envuelta en una fuerte crisis económica que afectó grandemente a la sociedad civil y a las diferentes esferas económicas. Se hizo necesario hacer una reducción en las producciones industrial, así como las exportaciones de bienes y servicios. El sector del transporte fue uno de los más afectados debido a la reducción del intercambio internacional y donde más se evidenció fue en los servicios de transporte público de carga y de pasajeros. Como consecuencia de la decadencia del sistema de transporte muchas personas se les resultó difícil el movimiento hacia ciertos lugares de las ciudades, es así como los ciclos se hicieron relevantes en la sociedad aliviando un poco el problema de transporte existente en el país. Este medio es muy rentable para el cubano común, pues en comparación con un automóvil es de menor costo. Pero a la hora de realizar un estudio de tránsito en una vía es necesario tenerlo en cuenta debido a los altos volúmenes que representa en el parque vehicular (Olano & Soler, 2019:12).

Los procedimientos para el análisis de capacidad de las intersecciones que se hallan reguladas mediante señales de Pare, se basa en un método alemán originalmente publicado en el año 1972 y traducido en 1974 en una publicación de la Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico (OCDE). El método se ha modificado en base a un número limitado de estudios para analizar su validez en los Estados Unidos, dirigidos por el *Unsignalized Intersection Subcommittee of the Highway Capacity and Quality of Service Committee of the Transportation Research Board*. (*Highway Capacity Manual*, 2000).

Este procedimiento está basado en datos empíricos correspondientes a las características prevalecientes del sistema vial de Estados Unidos, su parque vehicular y regulaciones. A nivel internacional varios países han modificado la metodología incluyendo aspectos relacionados con el estado del pavimento, uso de los carriles, por mencionar algunos, adaptándola a sus características particulares. A partir de las recomendaciones hechas de los estudios antes planteados los investigadores trabajan para que el manual pueda ser empleado en cada nación.

Para los profesionales e investigadores el *Highway Capacity Manual* (HCM,2010), suministra un sólido sistema de conocimientos para la evaluación de la calidad de servicio de los distintos tipos de carreteras. En el mismo se proponen criterios

que tienen en cuenta la calidad del servicio de los distintos tipos de vía. La intención de esta bibliografía es la de proveer una base sistemática y consistente para el establecimiento de rangos para evaluar cualitativa y cuantitativamente el comportamiento de los flujos vehiculares en diferentes sistemas viales. De esta manera se pueden implantar nuevas estrategias que ayuden a mejorar la eficiencia operacional, las condiciones geométricas y la reducción de demoras que afectan a los usuarios de estas infraestructuras viales.

Para las vías de flujo discontinuo, el Nivel de Servicio queda establecido por la velocidad media de recorrido y las demoras por parada de los vehículos en función de la velocidad de flujo libre. En el caso de intersecciones, está determinado por la demora media de parada por vehículo.

Dos conceptos básicos para esta investigación: capacidad y nivel de servicio

Capacidad se define en general, como la máxima intensidad horaria de personas o vehículos que tienen una probabilidad razonable de atravesar un perfil transversal o tramo uniforme de un carril o calzada durante un período definido de tiempo bajo las condiciones prevalecientes de la plataforma, el tráfico y los sistemas de regulación. El período de tiempo utilizado en la mayoría de los análisis de capacidad es de 15 min, debido a que se considera que ése es el intervalo más corto para el que puede presentarse una circulación estable (Manual de Capacidad de Carreteras, 2010).

Como se expone con anterioridad, la capacidad depende de condiciones prevalecientes, lo que provoca que, al modificar alguna condición, la capacidad varía. Estas condiciones se agrupan en tres tipos, según se plantean Cal, Reyes & Cárdenas (2007, p. 356) y se explican a continuación.

- *Las condiciones de la infraestructura vial:* Son las características físicas de la carretera o calle (de tránsito continuo o discontinuo, con o sin control de sus accesos, dividida o no, de dos o más carriles, etc.), el desarrollo de su entorno, las características geométricas (ancho de carriles y acotamientos, obstrucciones laterales, velocidad de proyecto, restricciones para el rebase y características de los alineamientos), y el tipo de terreno donde se aloja la obra.
- *Las condiciones del tránsito:* Se refiere a la distribución del tránsito en el tiempo y en el espacio; a su composición en tipos de vehículos y cantidad.
- *Las condiciones de control:* Hace referencia a los dispositivos para el control del tránsito, tales como los semáforos (en los que se tienen en cuenta: fases, longitudes de ciclo, repartición de tiempos de luces verdes, etc.), las señales restrictivas (alto y ceda el paso, las restricciones en el uso de los carriles ya sea para la realización o no de las maniobras de estacionamiento, como en la exclusividad o no de movimientos direccionales por carriles) y límites de velocidades.

La calidad del flujo vehicular se mide mediante el uso del concepto de nivel de servicio. Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular y de su percepción por los conductores y/o pasajeros. Estas condiciones se describen en términos tales como la velocidad y tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad y conveniencia y la seguridad vial. Existen factores que afectan el nivel de servicio, internos y externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas, tales como el ancho de los carriles, la distancia libre lateral, las pendientes, entre otros (Cal, Reyes & Cárdenas, 2007, p. 276).

En el Manual de Capacidad Vial (HCM, 2010 del TRB) se han establecido seis niveles de servicios denominados: A, B, C, D, E y F, que van del mejor al peor, los cuales se definen según las condiciones de operación sean de circulación continua o discontinua (Cal, Reyes & Cárdenas, 2007: p. 356).

Caracterización de la metodología concebida por el Manual de Capacidad Vial (HCM, 2010) para intersecciones no semaforizadas.

Los procedimientos para el análisis de la capacidad de las intersecciones que se hallan reguladas mediante señales de Pare, en dos de sus accesos y Ceda el Paso, se basa en un método alemán originalmente publicado en el año 1972 y traducido en 1974 en una publicación de la Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico (OCDE). El método se ha modificado en base a un número limitado de estudios para analizar su validez en los Estados Unidos, dirigidos por el *Unsignalized Intersection Subcommittee of the Highway Capacity and Quality of Service Committee of the Transportation Research Board*. (*Highway Capacity Manual*. Estados Unidos, 2010).

Este procedimiento está basado en datos empíricos correspondientes a las características prevalecientes del sistema vial de Estados Unidos, su parque vehicular y regulaciones. A nivel internacional varios países han modificado la metodología incluyendo aspectos relacionados con el estado del pavimento, uso de los carriles (Gallegos, 2005), por mencionar algunos, adaptándola a sus características particulares. A partir de las recomendaciones hechas de los estudios antes planteados los investigadores trabajan para que el Manual de Capacidad de Carreteras, por sus siglas en inglés (HCM), pueda ser empleado en cada nación con resultados más próximos a la situación real.

Para los profesionales e investigadores este manual suministra un sólido sistema de conocimientos para la evaluación de la calidad de servicio de los distintos tipos de carreteras. En el mismo se proponen criterios que tienen en cuenta la calidad del servicio de los distintos tipos de vía.

La intención del HCM (2010), es la de proveer una base sistemática y consistente para el establecimiento rangos para evaluar cualitativa y cuantitativamente

el comportamiento de los flujos vehiculares en diferentes sistemas viales. De esta manera se pueden implantar nuevas estrategias que ayuden a mejorar la eficiencia operacional, las condiciones geométricas y la reducción de demoras que afectan a los usuarios de estas infraestructuras viales.

Para las vías de flujo discontinuo, como son las calles de la ciudad, el Nivel de Servicio (NS) queda establecido por la velocidad media de recorrido y las demoras por parada de los vehículos en función de la velocidad de flujo libre. En el caso de intersecciones el Nivel de Servicio está determinado por la demora media de parada por vehículo.

Tabla 1. Definición de los Niveles de Servicio para intersecciones de prioridad

| Nivel de servicio de la intersección (NS) | Demora media de parada por vehículo (s/veh) |
|---|---|
| A | $\leq 10,0$ |
| B | $> 10,0$ y $\leq 15,0$ |
| C | $> 15,0$ y $\leq 25,0$ |
| D | $> 25,0$ y $\leq 35,0$ |
| E | $> 35,0$ y $\leq 50,0$ |
| F | $> 50,0$ |

Fuente: *Transportation Research Board (TRB), 2010; Highway Capacity Manual, (HCM, 2010)*

Tabla 2. Definición de los Niveles de Servicio para vías urbanas

| Clasificación arterial | I | II | III | IV |
|---|-------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Intervalo de variación de la velocidad libre (km/h) | 90 a 70 | 70 a 55 | 55 a 50 | 50 a 40 |
| Nivel de servicio | Velocidad media de recorrido (km/h) | | | |
| A | >72 | >59 | >50 | >41 |
| B | >56 y ≤ 72 | >46 y ≤ 59 | >39 y ≤ 50 | >32 y ≤ 51 |
| C | >40 y ≤ 56 | >33 y ≤ 46 | >28 y ≤ 39 | >23 y ≤ 32 |
| D | >32 y ≤ 40 | >26 y ≤ 33 | >22 y ≤ 28 | >18 y ≤ 23 |
| E | >26 y ≤ 32 | >21 y ≤ 26 | >17 y ≤ 22 | >14 y ≤ 18 |
| F | ≤ 26 | ≤ 21 | ≤ 17 | ≤ 14 |

Fuente: *Transportation Research Board (TRB), 2010; Highway Capacity Manual, (HCM, 2010)*

En Cuba la infraestructura, las características del parque vehicular y las regulaciones son diferentes a las existentes en Estados Unidos, es así que la metodología propuesta en el *Highway Capacity Manual (HCM)* debe ser adaptada a las condiciones del país. Debido a la amplia presencia de medios

de transporte de marcha lenta, dígase coches y ciclos, el volumen de tránsito es muy variado y esto se traduce en conflictos en las corrientes vehiculares que comparten la vía. Previamente no se ha realizado un estudio que te permita analizar todo el volumen existen en un solo conjunto, sino que se tomaban valores predeterminados para llevar a una sola unidad de conversión.

Entre los diversos conflictos que se generan en los viales urbanos y que afectan las condiciones de operación del flujo vehicular, está la diversidad de medios de transporte (en cuanto a velocidad y dimensión) que convergen en una misma vialidad, insuficiente capacidad que ofrece la calle para el acelerado incremento del flujo vehicular, entre mucho más. Los puntos donde se pueden apreciar los mayores conflictos son en las intersecciones. Pero es de resaltar que cada localidad tiene sus particularidades y los análisis deben estar en función de las condiciones imperantes de cada lugar donde se realice el estudio.

Los impactos negativos de circulaciones deficientes en la zona urbana se manifiestan en tiempo perdido, consumo de combustible, contaminación ambiental y accidentalidad. Los cuales presentan una magnitud tal que resulta importante definir con la mayor precisión posible el grado de utilización de la capacidad y el nivel de servicio que brinda una infraestructura y el impacto que tendrían determinadas modificaciones (ya sean geométricas o de operación) sobre la misma.

Cuando la demanda supera a la oferta, se produce la sobresaturación y un aumento considerable de la demora, la cual es la medida de efectividad que determina el nivel de servicio ofertado por la infraestructura. Los estudios de capacidad y nivel de servicio son un tanto complicados de realizar en las vías urbanas por las características propias de circulación, resultado de la acción de gran cantidad de factores influyentes relacionados con las disímiles características geométricas, del tránsito y de los dispositivos de control que conforman una multiplicidad de variables y escenarios posibles, atendiendo a los dos tipos de flujo vehicular (continuo y discontinuo).

En las intersecciones con señales de prioridad, la circulación de los vehículos en los accesos secundarios y los giros a la izquierda de las vías principales dependerá de la aceptación, por parte de los conductores, de espacios de tiempo y de distancia entre los vehículos que circulan en la vía con preferencia que les resulten convenientes y seguros para realizar las maniobras deseadas por los conductores. En estos emplazamientos concurren los dos tipos de circulación: la continua, en la vía con preferencia o principal, y discontinua en la vía secundaria, pues tendrán que detener su marcha y ceder el paso a los que transitan por la preferencial, en espera de tener un tiempo aceptable para realizar los movimientos deseados.

Por tanto, de acuerdo a lo expuesto anteriormente las condiciones más desfavorables de circulación se producen en los accesos secundarios. Por tal motivo, el concepto de capacidad para estas calles secundarias se redefine

según plantea Raff y Hart (1950), como la oferta continua de intervalos de tiempo en la corriente principal que el conductor acepta o rechaza según su criterio personal. Es decir, existe un tiempo intermedio que definirá el límite entre el ingreso o no a la corriente principal. Este intervalo será relevante a la hora de analizar la condición de operación de la intersección, según sea su valor así será la capacidad del acceso secundario (Depiante, 2011, p. 1).

Depiante (2011), considera la definición que plantea Gibson (2001), donde expone que la capacidad en las vías secundarias es la posibilidad de descarga de una cola de vehículos suficientemente larga que se forman en estos accesos que no posee la preferencia de circulación. De acuerdo con lo expresado, este concepto se ajusta al modelo probabilístico del comportamiento de las corrientes vehiculares, que responden fundamentalmente a la interacción de los parámetros de los flujos vehiculares (Soler, 2018, p. 7).

Este modelo probabilístico se fundamenta en que para cruzar o incorporarse a una vía principal desde una secundaria, los conductores de esta última deberán observar los tiempos (brechas) que se presentan en el flujo prioritario y esperar hasta que se produzca alguna suficientemente grande en el que el conductor se sienta seguro de realizar la maniobra deseada. La mayoría de los procedimientos para el análisis de capacidad en este tipo de intersección se basan en modelos estocásticos como lo es la teoría de aceptación de brechas realizada por Harders (1968) en Alemania y por Sieglöch, (1973). De acuerdo a ese modelo, la capacidad es una variable dependiente de la disponibilidad de intervalos en el caso del acceso secundario (Luttinen, 2003); (Depiante y Galarraga, 2010, p.3).

De acuerdo a todo lo expuesto, para poder tomar decisiones adecuadas que posibiliten una mejor circulación vehicular en los diferentes viales, es necesario realizar los análisis de capacidad y Niveles de Servicio, que son los parámetros de evaluación cuantitativa y cualitativa de la condición de operación del flujo. Teniendo en cuenta estos elementos, en el caso de esta investigación se propone como objetivo principal evaluar cómo inciden los ciclos en la condición de operación del tránsito en intersecciones no semaforizadas de la ciudad de Holguín, pues en este territorio el volumen de ciclos que comparten las vías con el tránsito motorizado es elevado, y su circulación está permitida por cualquier calle, además en esta zona urbana existe un predominio de intersecciones que están controladas por señales de Pare, los cuales son puntos de conflictos.

Para ello se hace uso de la metodología establecida en el HCM (2010) pero para obtener resultados que estén acordes a la situación práctica es necesario inicialmente determinar un factor de equivalencia de ciclos a autos ligeros para tener una misma unidad de medida para el cálculo, pues en esta metodología estos medios de transporte de marcha lenta no están considerados. Y posteriormente realizar el análisis de capacidad y Nivel de Servicio, con el cual de acuerdo al resultado del nivel de servicio se podrá constatar si los ciclos inciden positiva o negativamente en la condición de operación del tránsito. Donde el resultado será de gran utilidad para el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito (CPIT) y para la Comisión de Seguridad Vial del territorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

256

Este trabajo es una investigación descriptiva porque especifica las variables objeto de estudio las que están sometidas a un proceso de análisis. Para ello se emplean los siguientes métodos de investigación:

Métodos teóricos: entre ellos se emplean el histórico-lógico para realizar un análisis histórico de intersecciones no semaforizadas de la ciudad de Holguín, por donde transiten ciclos y la incidencia de estos en el Nivel de Servicio. Será necesario además realizar un análisis cronológico de los fundamentos teóricos y metodológicos que sustentan la presencia de estos medios en las vías urbanas de la ciudad.

El sistémico estructural que permite conformar el aporte de la investigación con un enfoque sistémico, que considere su estructura, componentes y relaciones que se dan entre ellos y el análisis y síntesis: para examinar la información procedente de la caracterización histórica, teórica, metodológica y empírica de las intersecciones no semaforizadas de la ciudad de Holguín y la incidencia del factor ciclo en el Nivel de Servicio.

Entre los empíricos: el de análisis documental para la búsqueda e información relacionada con la caracterización histórica, teórico-metodológica y empírica de las intersecciones controladas por señales de Pare y Ceda el paso de la ciudad de Holguín y la incidencia del factor ciclo en el nivel de servicio. La observación científica para la realización del diagnóstico del comportamiento de los flujos de tránsito en los emplazamientos a estudiar que tengan alta presencia de bicicletas. Los métodos estadísticos – descriptivos se emplean para la toma del tamaño de la muestra en estudios de velocidad, volumen y brecha.

Entre los materiales más utilizados se encuentran:

- El *Highway Capacity Manual* (HCM, 2010) como material rector internacional donde se establecen los procedimientos de análisis de los funcionamientos de las distintas vialidades e intersecciones
- Manual de Estudios de Tránsito (SEDESOL), en el cual se establecen los procedimientos para la realización de los estudios en el terreno que permiten determinar los parámetros que intervienen en el tránsito.
- Registros de campo e instrumentos de medición

Para la determinación del factor de equivalencia y la evaluación de la incidencia de los ciclos en los niveles de operación del tránsito en intersecciones no semaforizadas de la ciudad de Holguín, mediante el uso de la metodología para intersecciones no semaforizadas establecida en el HCM (2010) se establece cuatro etapas para el estudio teórico experimental a partir del estudio realizado de la información científico- técnica:

1. Selección de intersecciones casos de estudio. Para ello se tendrán en cuenta:
 - Alto volumen de ciclos y medios motorizados en la hora de máxima demanda
 - Características geométricas de las intersecciones.
2. Diseño de los estudios de tránsito
 - Estudio para determinar el volumen horario de máxima demanda (VHMD) para cada acceso de las intersecciones objeto de estudio
 - Estudio para determinar la velocidad con la que se aproximan los vehículos de la vía principal a la intersección
 - Determinación de brechas aceptadas y no aceptadas para un tamaño de muestra definido estadísticamente
 - Determinación del área ocupada por medios de transporte.
 -
3. Procesamiento y análisis estadístico de los resultados para la determinación del factor de equivalencia.
4. Evaluación de la incidencia de los ciclos en los niveles de operación del tránsito
 - Análisis de la capacidad y los niveles de servicio sin considerar los ciclos
 - Análisis de la capacidad y los niveles de servicio al considerar los ciclos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del conocimiento de los parámetros que intervienen en las corrientes vehiculares y su interrelación, así como las condiciones prevalcientes en la zona, se establecen las etapas expuestas anteriormente que permiten el desarrollo de esta investigación acordes al alcance que se establece en este trabajo. Además, permiten obtener un factor de equivalencia de ciclos a autos ligeros el cual se tiene en cuenta en la metodología establecida en el HCM (2010) para el análisis de capacidad y Niveles de Servicio, con la cual permite comparar los resultados con la consideración o no de los ciclos y validar los resultados obtenidos. A continuación, se muestran los resultados de cada uno de los aspectos definidos de cada etapa que con posterioridad son procesados, analizados y comparados

1. Selección de las intersecciones

Los emplazamientos seleccionados fueron las intersecciones Cuba- Máximo Gómez y Morales Lemus - Aguilera las cuales son calles céntricas de alta demanda, con elevados conflictos y de interés del Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito (CPIT).

Ambos casos se caracterizan por tener un ancho de calzada de 5.0 m, anchos de las aceras 1.20 m, permiten la circulación del flujo vehicular en un solo sentido.

2. Diseño de los estudios de tránsito

a) Estudio de volúmenes

Se realizan los aforos en los días donde la variación del tránsito se mantiene muy próxima (martes, miércoles y jueves) y en los horarios picos del día, según se plantea en el Manual de Estudios de Tránsito (SEDESOL), donde se expone que para la obtención del volumen horario de máxima demanda (VHMD) se deben realizar los estudios los días donde las demandas sean constantes. En el caso de este trabajo los conteos se realizaron manualmente, en los que se tuvo en cuenta la clasificación de los medios de transporte y las maniobras de trayectoria por cada vía.

Con respecto a la intersección Máximo Gómez – Cuba la hora de pico fue de 7:15- 8:15am y el VHMD de 1019 vehículos mixtos/hora. En Morales Lemus - Aguilera 7:15- 8:15am se obtiene un VHMD de 1466 vehículos mixtos/hora.

Tabla 3. Porcentaje de los medios de transporte con respecto al VHMD intersección Cuba- Máximo Gómez

| % de los medios de transporte con respecto al volumen total de la intersección | | | | | | | | |
|--|--------|---------|-------------|-------|-------|-----------------|--------------|--------------------|
| Accesos | Camión | Ómnibus | Auto ligero | Moto | Ciclo | Tracción animal | Total acceso | Total intersección |
| Cuba | 3.73 | 3.14 | 19.45 | 8.84 | 36.54 | 25.34 | 509 | 1019 |
| Máximo Gómez | 2.75 | 1.96 | 17.84 | 18.23 | 40.98 | 18.24 | 510 | |

Fuente: Soler y Portal (2017)

Tabla 4. Porcentaje de los medios de transporte con respecto al VHMD intersección Morales Lemus - Aguilera

| % de los medios de transporte con respecto al volumen total de la intersección | | | | | | | | |
|--|--------|---------|-------------|-------|-------|-----------------|--------------|--------------------|
| Accesos | Camión | Ómnibus | Auto ligero | Moto | Ciclo | Tracción animal | Total acceso | Total intersección |
| Aguilera | 4.49 | 3.26 | 23.88 | 18.98 | 48.37 | 0 | 490 | 1466 |
| Morales Lemus | 1.84 | 1.64 | 25.10 | 22.64 | 48.77 | 0 | 976 | |

Fuente: Soler y Portal (2017)

Como se puede apreciar, de acuerdo con las tablas mostradas existe una diversidad de medios de transporte que comparten el mismo espacio, y los porcentajes de ciclos en ambas, son elevados, condición que interfiere en la movilidad.

b) Estudio de velocidad

Los estudios de velocidad requieren de un tamaño de muestra adecuado para satisfacer consideraciones estadísticas. El estudio de velocidad se realizó de manera manual y se efectuaron en los horarios de alta demanda. La distancia entre los aforadores fue de 60 m, cumpliendo con la distancia mínima establecida en la bibliografía consultada que no debe ser menor de 50 m, para las zonas urbanas. Además, la distancia entre intersecciones en la ciudad de Holguín es de aproximadamente 100 m. El tamaño de la muestra obtenida fue de 50 vehículos, que depende de la desviación estándar estimada (S), que para vías urbanas de dos carriles es de 7.7 km/h, la constante correspondiente al nivel de confianza deseado (K) de 1.96 para un nivel de confianza del 95% y el error permitido en el estimado de la velocidad (E) de 3 km/h, el cual depende del instrumento para realizar las mediciones (SEDESOL). Pero se decidió aumentar la muestra a 100 vehículos para mayor confiabilidad de los resultados. Se tomó la misma cantidad de autos y ciclos.

Las mediciones se realizaron en los horarios de máxima demanda. Las tablas 5 y 6 muestra las velocidades promedio de los ciclos y autos obtenidas para cada caso de estudio, que como se podrá apreciar no excede la velocidad máxima permitida (50 km/h), establecidas en la Ley 109: Código de Seguridad Vial (2011, p.49), pero también se puede apreciar que en varias de las vías se obtienen valores muy bajos.

Tabla 5. Velocidades promedio obtenidas en intersección Cuba-Máximo Gómez

| Accesos | Velocidad promedio (km/h) | |
|--------------|---------------------------|--------|
| | Autos | Ciclos |
| Cuba | 25 | 15 |
| Máximo Gómez | 34 | 19 |

Fuente: Soler y Portal (2017)

Tabla 6. Velocidades promedio obtenidas en la intersección Morales Lemus - Aguilera

| Accesos | Velocidad promedio (km/h) | |
|---------------|---------------------------|--------|
| | Autos | Ciclos |
| Aguilera | 25 | 15 |
| Morales Lemus | 34 | 19 |

Fuente: Soler y Portal (2017)

La ciudad carece de espacios de estacionamientos fuera de la calzada, por lo que, al desarrollarse esta acción en uno de los carriles de circulación, las maniobras de rebase se limitan y por tanto los conductores se supeditan a las velocidades de los vehículos que les anteceden. Como se puede apreciar en las tablas anteriores (5 y 6) las velocidades son bajas y se debe a la alta presencia de

ciclos presentes en las corrientes del tránsito. Para comprobar que estos valores no sólo se alcanzan en los casos de estudio, se realizaron otras mediciones en otros puntos para visualizar este comportamiento y los rangos en que fluctúan las velocidades de circulación. En la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos y se puede percibir que los valores son muy similares a los determinados en las intersecciones seleccionadas para esta investigación.

Tabla 7. Velocidades promedio de circulación en tramos de vías de la ciudad de Holguín

| Calle | Entre calles | | Ciclos (km/h) | Autos (km/h) |
|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Aguilera | Mártires | Máximo Gómez | 13.0 | 24.0 |
| Aguilera | Mártires | Maceo | 14.0 | 26.0 |
| Frexes | Maceo | Mártires | 14.4 | 29.0 |
| Morales Lemus | Frexes | Aguilera | 12.4 | 31.0 |
| Máximo Gómez | Cuba | Prado | 21.0 | 34.0 |

Fuente: Soler y Portal (2017)

c) Estudio de brecha

Este parámetro depende de la decisión de los conductores cuando tienen que enfrentarse a la disponibilidad de espacios (separación) o tiempos (brechas) que se presentan entre los vehículos que circulan por la calle principal. Para conocer el valor crítico es necesario realizar mediciones en las intersecciones, donde mediante un procesamiento estadístico se puede encontrar el rango donde mayor número de conductores muestreados hayan aceptado o no. Es ese el rango en el cual se determinará la media, resultado que será considerado como brecha crítica. Como las vías urbanas de la ciudad de Holguín poseen diferentes medios de transporte en las mismas corrientes, se decide realizar el estudio para determinar la brecha crítica mediante el método estadístico intencional por cuotas. Al igual que el estudio de velocidades, este también se realizará en la hora pico del día, pues es el horario donde mayor relación existe entre los parámetros que caracterizan cada corriente.

Tabla 8. Resultados de brechas en la intersección Cuba- Máximo Gómez

| Medios de transporte | Brechas (seg.) | | % | |
|----------------------|----------------|---------|------------|--|
| | Autos | Aceptan | No aceptan | |
| Ciclos | 4.5 | 80 | 20 | |
| Autos | 2.6 | 65 | 35 | |

Fuente: Soler y Portal (2017)

Tabla 9. Resultados de brechas en la intersección Morales Lemus - Aguilera

| Medios de transporte | Brechas (seg.) | | % |
|----------------------|----------------|---------|----|
| | Autos | Aceptan | |
| Ciclos | 3.3 | 60 | 40 |
| Autos | 2.3 | 70 | 30 |

Fuente: Soler y Portal (2017)

d) Ocupación del carril

Para determinar la relación de equivalencia respecto al área que ocupan los vehículos en un carril, se tiene en cuenta las dimensiones de los autos ligeros más usuales en la ciudad para así establecer la comparación entre los ciclos y los autos en la tabla 10 se muestran las dimensiones y áreas.

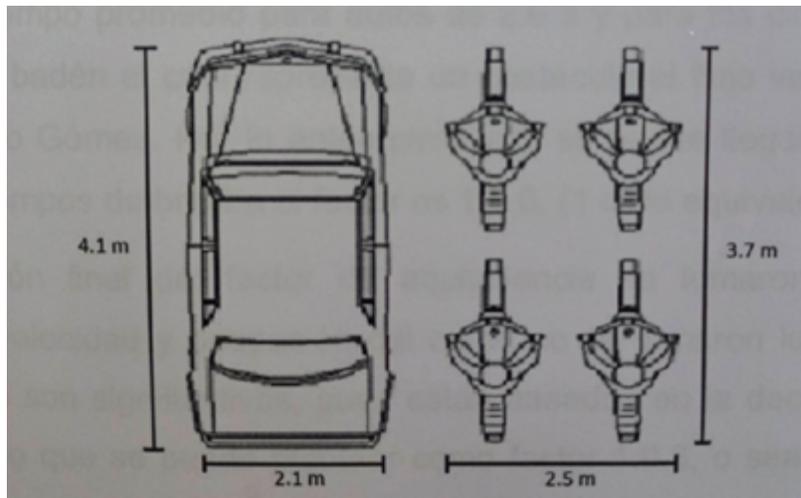
Tabla 10. Dimensiones de los diferentes tipos de medios de transporte presentes en la ciudad de Holguín

| Denominación | Largo (m) | Ancho (m) | Área (m ²) |
|------------------------|-----------|-----------|------------------------|
| Bicitaxi biplaza | 2.70 | 0.85 | 2.30 |
| Bicitaxi monoplaza | 1.80 | 0.80 | 1.44 |
| Bicicleta convencional | 1.60 | 0.50 | 0.80 |
| Moto Karpaty | 1.70 | 0.75 | 1.28 |
| Moto Suzuki GN120 | 1.80 | 0.70 | 1.26 |
| Moskovich | 4.10 | 2.10 | 8.61 |
| Lada 1600, 2107 | 4.00 | 1.85 | 7.40 |
| Hyundai tipo Panel | 4.80 | 1.80 | 8.64 |
| Lada Niva 2121 | 3.60 | 1.90 | 6.84 |

Fuente: Soler y Portal (2017)

Para la comparación se asume el auto marca Moskovich que, al igual que el Lada, son los carros de mayor presencia en el territorio holguinero y como las dimensiones del primero mencionado incluye los del segundo, es que se toma esta decisión. Como se observa en la figura, cuatro ciclos ocupan el mismo espacio que necesita un auto ligero.

Figura 1: Representación de la ocupación de los ciclos y auto en un carril



Fuente: Soler y Portal (2017)

3. Procesamiento y análisis estadístico de los resultados para la determinación del factor de equivalencia

A partir de los resultados de los estudios anteriormente planteados se puede establecer un factor de equivalencia. Con respecto al volumen, más del 35% del total que circulan por las calles de la ciudad son ciclos. Con respecto a las brechas no se diferencian mucho y como dos y hasta tres bicicletas pueden emplear el mismo tiempo de brecha al unísono donde se podría plantear que 3 ciclos pueden equivaler a un auto. Con respecto a la velocidad de circulación, en la zona urbana donde la máxima permitida es de 50 km/h (Ley 109: Código de Seguridad Vial, 2011) cuando los autos circulan a flujo libre pueden adelantar a dos ciclos si se encuentran uno detrás del otro. Sin embargo, esto es muy poco probable de que ocurra en las calles de la ciudad donde se enmarca este trabajo pues como se expresó anteriormente los estacionamientos se producen en la misma calzada, las cuales su ancho no excede los 5.0 m y por consiguiente estos conductores se ven obligados a disminuir su velocidad a la de los ciclos que le anteceden por lo que se puede plantear que por este parámetro la relación es de 3 ciclos: 1 auto y por área ocupada 1 auto: 4 ciclos. por lo tanto, se puede definir que el factor de equivalencia de ciclo a auto ligero para el desarrollo de esta investigación será 1:0.33 (1 ciclo equivale a 0.33 auto)

4. Evaluación de la incidencia de los ciclos en los niveles de operación del tránsito

Para desarrollar este cuarto paso se emplea, como se manifestó al inicio de este artículo, la metodología planteada en el HCM (2010) donde inicialmente se analizan las intersecciones sin considerar los ciclos y luego con su presencia. A continuación, se muestran los resultados en las tablas 11-14

a) Análisis de la capacidad y los niveles de servicio sin considerar los ciclos

263

Tabla 11. Caso de estudio 1: Intersección Cuba- Máximo Gómez

| Movimiento | Volumen de vehículos y ajustes | | | |
|----------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 8 | 9 |
| Volumen (veh/h) | 26 | 223 | 156 | 67 |
| FHMD | 0.95 | | 0.91 | |
| PHV | 0.142 | 0.205 | 0.145 | 0.533 |
| Movimiento | Volumen de peatones y ajustes | | | |
| | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Volumen (peat/h) | 54 | 149 | 48 | 131 |
| Ancho del carril (m) | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Velocidad (m/s) | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| % de bloqueo | - | 22 | 5 | 15 |
| Movimiento | Brecha crítica | | | |
| | 1 | 2 | 8 | 9 |
| t_c , base | 4.1 | | 6.5 | 6.2 |
| t_c , HV | 1 | | 1 | 1 |
| PHV | 0.142 | 0.205 | 0.145 | 0.533 |
| t_c , G | 0 | | 0.1 | 0.2 |
| G | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| t , 3LT | 0 | | 0 | 0 |
| t , CT | 0 | | 1 | 0 |
| t_C | 4.24 | - | 5.62 | 6.73 |
| Movimiento | Tiempo de seguimiento | | | |
| | 1 | 2 | 8 | 9 |
| t_f , base | 2.2 | | 3.3 | 4.0 |
| t_f , HV | 0.9 | | 0.9 | 0.9 |
| PHV | 0.142 | 0.205 | 0.145 | 0.533 |
| t_f | 3.32 | | 4.13 | 3.77 |
| Movimiento | Impedancia y capacidad | | | |
| | 1 | 2 | 8 | 9 |
| $V_{c,x}$ | 131 | | 323 | 253 |
| $C_{p,x}$ | 1386 | | 420 | 560 |
| $P_{p,x}$ | 0.79 | | 0.94 | 0.77 |
| $C_{m,x}$ | 1099 | | 397 | 355 |
| $P_{o,k}$ | 0.97 | | 0.61 | 0.56 |
| Csh | | | 370 | |

| Nivel de servicio por accesos | | | | |
|--------------------------------------|------------------|------------|-------------------|------------|
| Demora | Acceso principal | | Acceso secundario | |
| | carril | | carril | |
| | Exclusivo | Compartido | Exclusivo | Compartido |
| | - | 7.12 | 18.52 | 15.89 |
| | Acceso | | Acceso | |
| | 1.82 | 17.27 | | |
| NS | A | | C | |
| Nivel de servicio de la intersección | | | | |
| NS | B | | | |

Tabla 12. Caso de estudio 2: Intersección Morales Lemus - Aguilera

| Movimiento | Volumen de vehículos y ajustes | | | |
|----------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|
| | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Volumen (veh/h) | 402 | 73 | 63 | 210 |
| FHMD | 0.95 | | 0.89 | |
| PHV | 0.058 | 0.126 | 0.095 | 0.194 |
| Movimiento | Volumen de peatones y ajustes | | | |
| | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Volumen (peat/h) | - | - | - | - |
| Ancho del carril (m) | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Velocidad (m/s) | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| % de bloqueo | - | - | - | - |
| Movimiento | Brecha crítica | | | |
| | 5 | 6 | 7 | 8 |
| tc, base | | | 7.1 | 6.5 |
| tc, HV | | | 1 | 1 |
| PHV | 0.058 | 0.126 | 0.095 | 0.194 |
| tc, G | | | 0.2 | 0.2 |
| G | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| t,3LT | | | 0.7 | 0 |
| t, CT | | | 1 | 1 |
| tC | | | 5.47 | 5.69 |
| Movimiento | Tiempo de seguimiento | | | |
| | 5 | 6 | 7 | 8 |
| tf, base | | | 3.5 | 4.0 |
| tf, HV | | | 0.9 | 0.9 |
| PHV | | | 0.095 | 0.194 |
| tf | | | 3.58 | 4.17 |

| Movimiento | Impedancia y capacidad | | | |
|--------------------------------------|------------------------|------------|-------------------|------------|
| | 5 | 6 | 7 | 8 |
| V _{c,x} | | | 406 | 552 |
| C _{p,x} | | | 425 | 504 |
| P _{p,x} | | | - | - |
| C _{m,x} | | | 287 | 504 |
| P _{o,k} | | | 0.77 | 0.58 |
| P'' | | | 0.58 | |
| P' | | | 0.67 | |
| Csh | | | 355 | |
| Nivel de servicio por accesos | | | | |
| Demora | Acceso principal | | Acceso secundario | |
| | carril | | carril | |
| | Exclusivo | Compartido | Exclusivo | Compartido |
| | - | - | 19.89 | 19.85 |
| | Acceso | | Acceso | |
| | | 20 | | |
| NS | A | | C | |
| Nivel de servicio de la intersección | | | | |
| NS | B | | | |

En el acceso de Morales Lemus no se obtienen valores de demora porque es calle principal y los movimientos que permite ese acceso no poseen conflictos.

A continuación, se muestran los resultados de los análisis de capacidad y nivel de servicio considerando los volúmenes de ciclos en los que se convierten los mismos a autos ligeros con el empleo del factor de equivalencia establecido anteriormente de acuerdo a los resultados de los estudios realizados.

b) Análisis de la capacidad y los niveles de servicio al considerar los ciclos

Tabla 13. Caso de estudio 1: Intersección Cuba- Máximo Gómez

| Movimiento | Volumen de vehículos y ajustes | | | |
|-------------------------------|--------------------------------|-------|-------|------|
| | 1 | 2 | 8 | 9 |
| Volumen (veh/h) | 54 | 416 | 356 | 117 |
| FHMD | 0.92 | | 0.86 | |
| PHV | 0.075 | 0.085 | 0.052 | 0.23 |
| Volumen de peatones y ajustes | | | | |
| Movimiento | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Volumen (peat/h) | 54 | 149 | 48 | 131 |
| Ancho del carril (m) | 5 | 5 | 5 | 5 |

| | | | | |
|---|------------------|------------|-------------------|------------|
| Velocidad (m/s) | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| % de bloqueo | - | 22 | 5 | 15 |
| Brecha crítica | | | | |
| Movimiento | 1 | 2 | 8 | 9 |
| t_c , base | 4.1 | | 6.5 | 6.2 |
| t_c , HV | 1 | | 1 | 1 |
| PHV | 0.075 | 0.0855 | 0.052 | 0.23 |
| t_c , G | 1 | | 0.2 | 0.1 |
| G | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| t , 3LT | 0 | | 0 | 0 |
| t , CT | 0 | | 1 | 0 |
| t_C | 4.19 | - | 5.55 | 6.43 |
| Tiempo de seguimiento | | | | |
| Movimiento | 1 | 2 | 8 | 9 |
| t_f , base | 2.2 | | 3.3 | 4.0 |
| t_f , HV | 0.9 | | 0.9 | 0.9 |
| PHV | 0.075 | 0.085 | 0.052 | 0.023 |
| t_f | 2.26 | | 4.04 | 3.51 |
| Impedancia y capacidad | | | | |
| Movimiento | 1 | 2 | 8 | 9 |
| $V_{c,x}$ | 131 | | 572 | 301 |
| $C_{p,x}$ | 1425 | | 382 | 363 |
| $P_{p,x}$ | 0.92 | | 0.97 | 0.88 |
| $C_{m,x}$ | 1316 | | 371 | 321 |
| $P_{o,k}$ | 0.96 | | 0.04 | 0.84 |
| Csh | | | | 351 |
| Nivel de servicio por accesos | | | | |
| Demora | Acceso principal | | Acceso secundario | |
| | carril | | carril | |
| | Exclusivo | Compartido | Exclusivo | Compartido |
| | - | 8.66 | 44.61 | 21.84 |
| | Acceso | | Acceso | |
| 2.91 | | 36.8 | | |
| NS | A | | E | |
| Nivel de servicio de la intersección | | | | |
| NS | C | | | |

Tabla 14. Caso de estudio 2: Intersección Morales Lemus - Aguilera

| Volumen de vehículos y ajustes | | | | |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Movimiento | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Volumen (veh/h) | 537 | 84 | 73 | 270 |
| FHMD | 0.90 | | 0.86 | |
| PHV | 0.028 | 0.044 | 0.048 | 0.094 |
| Volumen de peatones y ajustes | | | | |
| Movimiento | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Volumen (peat/h) | - | - | - | - |
| Ancho del carril (m) | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Velocidad (m/s) | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| % de bloqueo | - | - | - | - |
| Brecha crítica | | | | |
| Movimiento | 5 | 6 | 7 | 8 |
| t_c , base | | | 7.1 | 6.5 |
| t_c , HV | | | 1 | 1 |
| PHV | 0.028 | 0.044 | 0.048 | 0.094 |
| t_c , G | | | 0.2 | 0.2 |
| G | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| t , 3LT | | | 0.7 | 0 |
| t , CT | | | 1 | 1 |
| t_C | | | 5.45 | 5.59 |
| Tiempo de seguimiento | | | | |
| Movimiento | 5 | 6 | 7 | 8 |
| t_f , base | | | 3.5 | 4.0 |
| t_f , HV | | | 0.9 | 0.9 |
| PHV | | | 0.048 | 0.094 |
| t_f | | | 3.54 | 4.08 |
| Impedancia y capacidad | | | | |
| Movimiento | 5 | 6 | 7 | 8 |
| $V_{c,x}$ | | | 537 | 705 |
| $C_{p,x}$ | | | 479 | 430 |
| $P_{p,x}$ | | | - | - |
| $C_{m,x}$ | | | 238 | 430 |
| $P_{o,k}$ | | | 0.69 | 0.37 |
| P'' | | | 0.37 | |
| P' | | | 0.49 | |
| C_{sh} | | | 302 | |

| Nivel de servicio por accesos | | | | | |
|--------------------------------------|------------------|------------|-------------------|------------|-------|
| Demora | Acceso principal | | Acceso secundario | | |
| | carril | | carril | | |
| | Exclusivo | Compartido | Exclusivo | Compartido | |
| | - | - | 34.58 | 26.83 | |
| | Acceso | | Acceso | | |
| | | | | | 36.25 |
| NS | A | | E | | |
| Nivel de servicio de la intersección | | | | | |
| NS | C | | | | |

Luego de realizar los análisis de la capacidad y los niveles de servicio con el empleo de la metodología establecida en el HCM (2010) queda demostrado y evidenciado que los medios de transporte de marcha lenta, en este caso los ciclos, influyen negativamente en los niveles de operación del tránsito pues como se evidencia los niveles de servicios en los accesos secundarios (Cuba y Aguilera) pasan de un flujo favorable (A) a uno desfavorable (E). Lo que demuestra el cumplimiento del objetivo establecido. Además, se corrobora que el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM, 2010) es un material valioso para estos tipos de investigaciones y que permite la posibilidad de adaptar las metodologías a las características de la localidad donde se desarrollen estos estudios. Pues los resultados que se obtengan son los que permiten la toma de decisiones para la búsqueda de soluciones para disminuir los conflictos y mejorar la movilidad vehicular en la zona urbana.

CONCLUSIONES

La presencia de ciclos en las calles de la ciudad de Holguín es elevada y mientras compartan el mismo espacio que los medios motorizados estos se deben considerar.

A partir de los estudios de tránsito realizados, se pudo establecer un factor de equivalencia de ciclos a autos 1: 0.33 (1 ciclo equivale a un auto ligero) donde la mayor incidencia estuvo por el factor velocidad y ocupación del carril.

Mediante la evaluación del nivel de operación de cada intersección, se pudo evidenciar la incidencia negativa que generan los ciclos en las corrientes vehiculares de alta demanda cuando los mismos no poseen una senda o carril exclusivo para su circulación lo que queda evidenciado con los resultados de los análisis en las intersecciones casos de estudio, pues cuando no son considerados, en los accesos secundarios, se obtiene nivel de servicio C (favorable) sin embargo

cuando se tienen en cuenta cambia la condición de operación a malo (nivel de servicio E).

Se recomienda ampliar el estudio a otros emplazamientos que permitan valorar la incidencia de otros factores en el cálculo de la capacidad de las intersecciones controladas por señales de PARE en la ciudad de Holguín.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asamblea Nacional de Poder Popular (2011). Ley 109. Código de Seguridad Vial. Editorial Capitán San Luis, Capítulo II. La Habana, Cuba.
- Cal, R., Reyes, M., y Cardenas J. (2007). Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones. Capítulo 12- Pág 354-433. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Depiante, V., Galarraga, J. (2010). Intervalos críticos y capacidad en intersecciones no semaforizadas de tres ramas. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Depiante, V. (2011) Giros a la izquierda en intersecciones no semaforizadas. (Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería. Mención Transporte). Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Gallegos, R. (2005). Efecto de la regularidad del pavimento en la Capacidad Vial de las Carretera Multicarriles. Disertación doctoral no publicada, Universidad de las Villas, Villa Clara, Cuba.
- Gibson, J. (2001). Teoría de flujos vehiculares. Apuntes. Universidad de Chile. División Ingeniería y Transporte. Chile.
- Luttinen, T. (2003). Capacity at Unsignalized Intersections. TL Consulting Engineers, Ltd. Lahti. TL Research Report No 3. ISBN 952-5415-02-3, ISSN 1458-3313.
- Olano, E. y Soler, E. (2019). Propuesta de ordenamiento de la circulación de los ciclos en las vías de centro de ciudad de Holguín, Cuba
- SEDESOL. Manual de estudios de ingeniería de tránsito. Tomo XII. Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias mexicanas. Ciudad de México.
- Soler, E., Portal, M. (2017). Evaluación de la incidencia de los ciclos sobre el nivel de servicio de intersecciones no semaforizadas en la ciudad de Holguín. Tesis en opción al título de Ingeniero Civil. Universidad de Holguín, Cuba.
- Soler, E. (2018). Efecto de las brechas en el funcionamiento de intersecciones controladas por señal de Pare. Tesis en opción al título académico de Máster en Ingeniería Civil, mención Obras Viales. Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte y Loynaz". Cuba

TRB (2000). - Highway Capacity Manual (HCM) - Chapter 17-Unsignalized Intersections Special Report 209 - TRB, National Research Council, Washington, D.C.

TRB (2010). Highway Capacity Manual (HCM) - Chapter 17-Unsignalized Intersections Special Report 209 - TRB, National Research Council, Washington, D.C. 21.

