

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES  
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**ANÁLISIS DE BRECHAS CRÍTICAS Y TIEMPO DE  
SEGUIMIENTO EN INTERSECCIONES NO SEMAFORIZADAS,  
CON TRANSPORTE DE TRACCIÓN ANIMAL, EN LA CIUDAD  
DE HOLGUÍN**

**Autor:** Yelena Bárbara Gómez Gómez

**HOLGUÍN, 2021**



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES  
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**ANÁLISIS DE BRECHAS CRÍTICAS Y TIEMPO DE  
SEGUIMIENTO EN INTERSECCIONES NO SEMAFORIZADAS,  
CON TRANSPORTE DE TRACCIÓN ANIMAL, EN LA CIUDAD  
DE HOLGUÍN**

**Autor:** Yelena Bárbara Gómez Gómez

**Tutor:** MSc. Ing. Eunices Soler Sánchez. Profesora asistente

**HOLGUÍN, 2021**



## **PENSAMIENTO**

La ciudad no es solamente un conjunto arquitectónico, podemos entenderla también como un complejo ecosistema, con funciones y relaciones donde se gesta y se desarrolla esencialmente la actividad humana

Giovana Merola Rosciano



## **DEDICATORIA**

Dedico esta investigación en especial a mi madre Alicia, mi razón de ser, a la que debo todo lo que soy, por apoyarme en todo momento, por su amor, su confianza, su ejemplo de perseverancia y constancia que me ha inculcado siempre para salir adelante.



## **AGRADECIMIENTOS**

Hay personas en la vida a las cuales se les debe agradecer por simplemente existir y hacer posibles mis sueños:

- ✓ A mis padres y mi familia por la fortaleza y motivación durante mis años de estudio.
- ✓ A mi tutora, Eunices Soler Sánchez, por su apoyo incondicional, confianza y dedicación para lograr el desarrollo de esta investigación.
- ✓ A mis amigos de la carrera y de la vida, que me han apoyado en los buenos y malos tiempos.
- ✓ A mis profesores
- ✓ Y a todos aquellos que de una u otra manera me apoyaron para que pueda cumplir esta meta, gracias por su valiosa colaboración



## RESUMEN

En el sistema vial urbano las intersecciones controladas por señales de PARE son las más comunes y su funcionamiento depende del comportamiento de los conductores. Pues son los que deciden aceptar o no, intervalos de tiempo producidos entre los vehículos de las corrientes principales para poder realizar las maniobras deseadas. Siendo estos tiempos determinantes en la evaluación de operación del tránsito.

La presente investigación está encaminada a analizar los parámetros de brechas críticas y tiempo de seguimiento, en intersecciones no semaforizadas con transporte de tracción animal, en la ciudad de Holguín. Pues se considera que los valores que brinda la metodología planteada en el *Highway Capacity Manual* (HCM, 2010) no reflejan las condiciones de operación del tránsito en esta localidad. Es por ello que en la investigación se estudian y determinan estos parámetros a partir de ocho intersecciones seleccionadas como casos de estudio. Posteriormente se calculan y comparan la capacidad potencial obtenida con los resultados de las mediciones y las que se obtienen con los valores brindados por el Manual (HCM, 2010) y por Soler (2018) y se corrobora la necesidad de ajustar el procedimiento para el cálculo de capacidad y niveles de servicios en intersecciones no semaforizadas con presencia de tracción animal a las características del tránsito del territorio holguinero, pues los resultados teóricos difieren del comportamiento práctico. Para el desarrollo de lo antes expuesto se tuvo en cuenta métodos de investigación como: los teóricos, empíricos, matemáticos- estadísticos que permitieron establecer la secuencia lógica que permitieron lograr el objetivo de este trabajo. Para la referencia bibliográfica consultada se utilizó la norma APA.

**Palabras claves:** brecha, tiempo de seguimiento, capacidad potencial, condición de operación



## **ABSTRACT**

The urban road system is made up of different roads, which intersect at points called intersections where traffic flow will be controlled by traffic lights or STOP signs. The latter are the most common and their operation depends on the behavior of the drivers, since they are the ones who decide to accept or not, intervals of time produced between the vehicles of the main currents to be able to carry out the desired maneuvers. These times being decisive in the evaluation of traffic operation.

This research is aimed at analyzing the parameters of critical gaps and follow-up time, in non-signalized intersections with animal traction transport, in the city of Holguín. Well, it is considered that the values provided by the methodology proposed in the Road Capacity Manual (HCM, 2010) do not reflect the operating conditions of the traffic in this locality. That is why the research studies and determines these parameters from eight intersections selected as case studies. Subsequently, the potential capacity obtained with the results of the measurements and those obtained with the values provided by the Manual (HCM, 2010) and by Soler (2018) are calculated and compared and the need to adjust the procedure for the calculation is corroborated. capacity and levels of services in non-signalized intersections with the presence of animal traction to the characteristics of the traffic of the Holguin territory, since the theoretical results differ from the practical behavior.

**Keywords:** gap, follow-up time, potential capacity, operating condition



## ÍNDICE

Denominación	Pág
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>Capítulo 1. Caracterización del estado del conocimiento respecto a los parámetros de las corrientes vehiculares que intervienen en la capacidad y nivel de servicio en intersecciones no semaforizadas de la ciudad.....</b>	<b>16</b>
1.1 Tránsito. Caracterización e interrelación de sus factores.....	16
<b>1.2 Definición del término capacidad y nivel de servicio.....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.1 Capacidad en intersecciones no semaforizadas. Parámetros que intervienen.....</b>	<b>22</b>
<b>1.2.1.1 Caracterización de los parámetros de las corrientes vehiculares.....</b>	<b>31</b>
1.3 Análisis de los métodos para determinación de las brechas y tiempo de seguimiento.....	34
1.4 Investigaciones realizadas aplicando la metodología a nivel internacional y nacional. <b>39</b>	
1.5 Caracterización del tránsito de la ciudad de Holguín .....	45
<b>Capítulo 2. Incidencia de los medios de transporte de tracción animal en los parámetros de brecha y tiempo de seguimiento en intersecciones no semaforizadas de la ciudad de Holguín .....</b>	<b>49</b>
<b>2.1 Pasos para la determinación de las brechas críticas base en intersecciones controladas por señales de PARE. ....</b>	<b>49</b>
2.2 Selección de las intersecciones.....	50
2.2.1 Selección de las intersecciones.....	51
2.3 Diseño de los estudios de tránsito.....	59
2.3.1 Estudio de volúmenes.....	59
2.3.2 Estudio de velocidad.....	63
2.3.3 Estudio de brecha.....	66
	VIII
<b>ANÁLISIS DE BRECHAS CRÍTICAS Y TIEMPO DE SEGUIMIENTO EN INTERSECCIONES NO SEMAFORIZADAS, CON TRANSPORTE DE TRACCIÓN ANIMAL EN LA CIUDAD DE HOLGUÍN</b>	





<b>2.4 Procesamiento y análisis de los resultados de los estudios de brechas ..</b>	<b>70</b>
<b>2.5 Estudio del tiempo de seguimiento.....</b>	<b>71</b>
2.5.1 Estudio de demora .....	73
<b>2.6 Comparación entre las brechas críticas teóricas empleando las especificaciones del HCM 2010 y las prácticas obtenidas en el terreno.....</b>	<b>75</b>
2.6.1 Determinación de la brecha crítica y tiempo de seguimiento teóricos mediante el uso de la metodología del HCM 2010 .....	76
<b>2.7 Comparación de las brechas críticas bases y tiempos de seguimiento obtenidos en Colombia y Holguín con las planteadas en el HCM (2010).....</b>	<b>78</b>
<b>2.8 Incidencia de las brechas críticas y tiempos de seguimientos en la capacidad de la vía.....</b>	<b>79</b>
<b>Conclusiones parciales.....</b>	<b>86</b>
<b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>88</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>89</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>1</b>



## **INTRODUCCIÓN**

La ingeniería del tránsito es una rama de la ingeniería del transporte y tiene incidencia en la Ingeniería civil. Su objetivo principal es analizar los parámetros de las corrientes vehiculares y buscar soluciones a los problemas que se presentan en el tránsito, desde el ordenamiento, diseño y accidentalidad. Las vías de comunicación son un elemento indispensable para la realización de las actividades humanas. Con la llegada del siglo XX llega el vehículo automotor, el “coche sin caballos” se fue popularizando hasta convertirse en un medio sumamente útil y práctico para el transporte de personas y mercancías. De ahí surge uno de los primeros problemas del tránsito pues las carreteras existentes estaban acondicionadas para medios de transporte aislados y movimiento peatonal. (Radelat, 1985)

La evolución del automóvil y las carreteras no está aparejada. La industria automotriz año tras año expone un nuevo diseño que permite mayor velocidad, potencia y carga, entre otros parámetros que mejoran los modelos anteriores. Estos aspectos son positivos para las necesidades del hombre en cuanto a la transportación, pero negativo cuando tienen que compartir un espacio (el vial). En muchas ocasiones las vías están saturadas por la alta demanda vehicular y esto propicia los problemas de congestión y mala operación del tráfico para los usuarios. Por tal motivo es necesario la planeación integral del transporte, la cual debe abordar la relación movimiento - accesibilidad y los modelos de crecimiento urbano. Para llevar a cabo lo antes expuesto es imprescindible realizar diversos estudios, aplicar diferentes metodologías que permitan analizar y evaluar el tráfico teniendo en cuenta además el crecimiento y desarrollo económico urbano.

En los análisis del tránsito intervienen diversos factores con características diferentes y dentro de ellos el más difícil de tratar es el comportamiento del factor humano. Por esta cuestión si la metodología es foránea al lugar donde se va a utilizar, los ingenieros deben evaluar su efectividad de uso y de ser posible, deben ajustarlas a las características del territorio, de manera tal que los resultados a obtener sean los más



confiables y próximos a los comportamientos reales del tránsito en el emplazamiento de estudio.

La bibliografía rectora para los análisis de las operaciones del flujo en cualquier vial es el *Highway Capacity Manual* (HCM) que ha transitado por varias ediciones, la más reciente es la del año 2010. Este manual fue realizado en los Estados Unidos, por lo tanto, se plantean valores bases que responden a las características del comportamiento de las variables de tránsito de ese territorio. Esta bibliografía es muy empleada a nivel internacional, con resultados favorables cuando los sitios donde se realizan los estudios poseen un comportamiento de los flujos vehiculares con condiciones similares a los del tránsito de los EE.UU. Pero no siempre los valores que se plantean en las diversas metodologías establecidas en el manual están acorde a las características del tránsito de algunas naciones que pueden ser utilizados por países que su tráfico tenga comportamientos parecidos a los de ese país. No obstante, se ha demostrado que las metodologías presentadas en este libro pueden ser aplicadas siempre y cuando se ajusten algunos parámetros que establecen.

Hay países que emplean esta metodología para un determinado análisis y los resultados que se obtienen, están acordes al comportamiento que se visualiza en el lugar de estudio como son: México, Inglaterra, Perú, por citar algunos. Sin embargo otras investigaciones realizadas en Colombia, Argentina y Chile, por mencionar otros ejemplos, han demostrado que de los parámetros que intervienen directamente en el análisis de intersecciones controladas por señal de Pare, el parámetro brecha, difiere de los valores bases que se establecen el HCM (2010), esto se debe a que esta pues este factor depende de las condiciones de cada lugar donde se realice el estudio y principalmente del comportamiento del factor humano. De manera que sugieren ajustar ese parámetro para poder emplear la metodología establecida para este tipo de intersección en el (HCM 2010) y así los resultados de los análisis teóricos puedan estar más acorde a la realidad práctica observada.

El tráfico en Cuba no está exento de problemas y no se puede comparar con los países desarrollados e incluso con otros de Latinoamérica, porque aquí el volumen es menor, el parque automotor en circulación consta de más del 50% de carros antiguos según



plantea el capitán Yoandris Serrano Infante, oficial de trámite de la oficina de Tránsito Provincial, Holguín, en entrevista realizada. Además se puede percibir una gran diversidad de medios de transporte en una misma viabilidad (vehículos pesados, ligeros, motorinas, ciclos, y medios de transporte por tracción animal). Este último con alta presencia en algunas calles de elevada demanda vehicular. En el oriente del territorio nacional es muy común ver carretas tirados por caballos en función de la movilidad de las personas. En la capital del país, sólo se utilizan en el casco histórico como medio turístico.

No obstante se han realizado investigaciones con la aplicación de los procedimientos establecido en el *Highway Capacity Manual* para los análisis de evaluación cuantitativa (capacidad) y cualitativa (niveles de servicios) en intersecciones semaforizadas que de acuerdo a los resultados obtenidos (Soler, E., Acosta, I. 2007), demuestran que es aplicable la metodología para dichos análisis. Pero en el caso de intersecciones no semaforizadas no ocurre lo mismo, pues se establecen valores de parámetros como brecha y tiempo de seguimiento que no contemplan condiciones similares a la del territorio (Portelles, A 2017; Suárez, D. 2017, Portal, M., 2017) por lo que proponen adaptar la misma a las características del tránsito en el territorio nacional.

Es por ello que Soler (2018), da inicio al ajuste de estos parámetros teniendo en cuenta que las características de las cantidades de carriles que se plantean en el procedimiento para los factores de brecha y tiempo de seguimiento no corresponden con las presentes en el sistema vial urbano predominante en la ciudad de Holguín. Donde logra establecer valores que se ajustan a las condiciones geométricas de los emplazamientos y sólo considera los vehículos automotores y excluye de ellos, las motos y los de marcha lenta como ciclos y coches. Pero no se puede obviar que en el municipio de Holguín, al igual que en otros del país, los medios de tracción animal circulan por algunas calles de alta demanda vehicular y su presencia genera conflictos en la circulación. Por tanto al no ser un medio considerado en las condiciones bases que se plantean en la bibliografía rectora (HCM) cabe preguntarse: ¿Qué discrepancias relacionan las brechas y el tiempo de seguimiento en la evaluación de



intersecciones no semaforizadas con presencia de transporte animal? Siendo esta interrogante el **problema de la investigación**. De lo antes expuesto se deriva que el **objeto de la investigación** son las intersecciones no semaforizadas con presencia de transporte animal y en el **campo**: las brechas críticas y tiempo de seguimiento en intersecciones con presencia de transporte de tracción animal.

**Objetivo general:** analizar los parámetros de brechas críticas y tiempo de seguimiento –teórico y práctico- , en intersecciones no semaforizadas con transporte de tracción animal, en la ciudad de Holguín

Para el logro del objetivo general se plantean los siguientes **objetivos específicos**:

- 1 Realizar el análisis del estado del arte y la búsqueda de información referente a los valores de brechas críticas y tiempo de seguimiento –teórico y práctico-.
- 2 Realizar el diseño del estudio teórico-experimental para determinar los valores de brechas aceptadas en intersecciones controladas por señales de PARE con presencia de medios de transporte por tracción animal, en la ciudad de Holguín.
- 3 Analizar la incidencia de las brechas críticas y el tiempo de seguimiento en el funcionamiento de las intersecciones controladas por señales de PARE, con presencia de medios de transporte por tracción animal, que permita la validación de la hipótesis de la investigación.

Se plantea como **hipótesis** lo siguiente: si se determinan los valores de brechas críticas aceptadas por los conductores, así como, el tiempo de seguimiento en intersecciones no semaforizadas con presencia de tracción animal, se podrá ajustar el procedimiento para el cálculo de capacidad y niveles de servicios, a las características del tránsito del territorio holguinero.

Métodos de la investigación:

- Métodos teóricos

Histórico–Lógico: se emplea para realizar un análisis cronológico de los fundamentos teóricos y metodológicos relacionado con los parámetros que intervienen en las corriente vehiculares y su incidencia en las metodologías para la evaluación



cuantitativa y cualitativa de los niveles de operación del tránsito, fundamentalmente en el comportamiento de la circulación vehicular en intersecciones controladas por señales de PARE, de la ciudad de Holguín, por donde transitan una diversidad de medios de transporte y dentro de ellos , los de tracción animal.

Hipotético – deductivo: para la elaboración de la hipótesis de la investigación, se induce un resultado, se precisa las variables de la investigación y la lógica investigativa.

Sistémico – estructural: se emplea para determinar el aporte de la investigación de medios de transporte de tracción animal en intersecciones no semaforizadas de la ciudad de Holguín. La investigación tiene un enfoque sistémico, que considera, su estructura, componentes y relaciones que se dan entre ellos. A partir de la aplicación de la metodología del *Highway Capacity Manual* (HCM, 2010).

- Métodos empíricos

Análisis documental: para analizar la información referida a la caracterización histórica, teórica, metodológica y empírica del objeto y el campo de la investigación, mediante tesis de años precedentes.

- Método matemáticos - estadísticos

Estadístico descriptivo: Realizar un análisis estadístico de los datos obtenidos para comprobar la hipótesis de la investigación

La investigación **aporta** los valores de los parámetros de brechas aceptadas y tiempo de seguimiento para la evaluación de capacidad y niveles de servicio en intersecciones no semaforizadas con presencia de medios de transporte por tracción animal, al tener en cuenta las particularidades de las condiciones físicas y del flujo en los emplazamientos seleccionados de la ciudad de Holguín.

La **novedad** de la investigación radica en la determinación de los tiempos promedios de brechas aceptadas por los conductores y el tiempo de seguimiento, a partir de la consideración de los medios de transporte por tracción animal, aspecto que no se había considerado en investigaciones anteriores.



Además la investigación responde a las problemáticas del tránsito urbano de la ciudad de Holguín. Este trabajo forma parte de las líneas de investigación de “Desarrollo local” y “Perfeccionamiento de los procesos educacionales”; pertenece a las áreas del conocimiento de “Ingeniería y Seguridad Vial”, y “Desarrollo urbano y ordenamiento territorial”. También es parte del grupo científico estudiantil vinculado con el Proyecto extensionista de Seguridad vial, a través del cual se gestiona ciencia en el departamento.

La tesis estará estructurada en dos capítulos. En el primero se abordan los contenidos esenciales que caracterizan los aspectos de capacidad y niveles de servicio en viales, donde se enfoca el estudio en las intersecciones controladas por señales de PARE, mediante el análisis de los elementos del flujo vehicular. El segundo capítulo se basa en la incidencia de los medios de tracción animal en los niveles de operación del tránsito a partir de la caracterización de los parámetros de brecha y tiempo de seguimiento. Para ello se establece una propuesta del estudio teórico experimental para la determinación de los parámetros microscópicos temporales, que inciden en la capacidad y los niveles de servicio, comparando los valores teóricos que se establecen en el manual (HCM, 2010), con los prácticos obtenidos a partir de mediciones en el terreno al considerar la presencia de medios de transporte por tracción animal, estos permiten llegar a la validación de los resultados de la investigación.



## **Capítulo 1. Caracterización del estado del conocimiento respecto a los parámetros de las corrientes vehiculares que intervienen en la capacidad y nivel de servicio en intersecciones no semaforizadas de la ciudad**

En este capítulo se abordan los contenidos esenciales que caracterizan los aspectos de capacidad y niveles de servicio. Además de la caracterización e interrelación de sus factores, la definición de los términos fundamentales para poder entender y comprender de mejor manera la metodología de análisis establecida en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM, 2010). A partir del análisis del flujo vehicular, el cual describe la forma como circulan los vehículos en cualquier tipo de vialidad, lo cual permite determinar el nivel de servicios y capacidades a la cual va a operar.

### **1.1 Tránsito. Caracterización e interrelación de sus factores.**

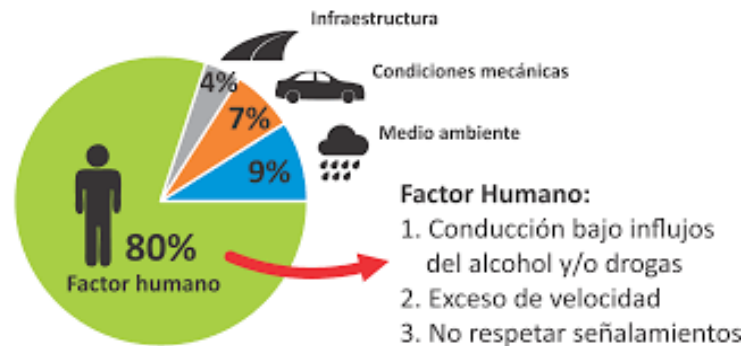
Se define el tráfico como: movimiento o tránsito de personas y mercancías por cualquier medio de transporte. De esta definición, se puede deducir, y así se sostiene tradicionalmente, que los elementos generales que intervienen en el tráfico son el factor humano (conductor y peatón), el vehículo, la vía y su entorno. Naturalmente estos elementos no pueden tenerse en cuenta de forma aislada, sino que se interrelacionan entre sí. Los vehículos son el nexo de unión entre el factor humano y la vía, condicionando la vida misma de la sociedad.

Al realizar mejoras en el factor "vehículo" o en la "vía" se contribuirá a disminuir el fallo humano. Todos los conductores y peatones no tienen el mismo tiempo de reacción, toda la responsabilidad recae sobre los choferes. La vía consta de obstáculos que intervienen en la visibilidad de los conductores, como pueden ser: postes, fachadas de edificaciones, estacionamientos sobre la vía, alguna construcción muy próxima a la misma, entre otros. Es por esta condición que la aplicación de los modelos de aceptación de brechas debe realizarse con cuidado y en lo posible no generalizar experiencias foráneas. En entrevista realizada a José Carlos Ramírez Masón, primer oficial de la oficina de Tránsito Provincial Holguín, expone que aproximadamente el 80% de los accidentes son producto del factor humano, ya sea bien solo o en concurrencia con otros factores, comportamiento que es común en numerosos países.





En la figura 1.1 se muestra la incidencia de cada factor en los accidentes del tránsito a nivel mundial.



**Figura 1.1 Porcentaje de incidencia de los factores que intervienen en el tránsito en la accidentalidad. Fuente: Juan, B.; Araujo, B. C.I N° V- 18.458.004. Instituto Universitario Politécnico, Santiago Mariño, Sede Mérida, Colombia.**

Los medios de transporte y las calles, son esencialmente objeto de la técnica. Es cierto que tienen una importante influencia en la seguridad vial. Las cuestiones relativas a las vías deben enfocarse y resolver las necesidades del tráfico que por ellas circulan. El factor humano, ya sea como peatón, pasajero o conductor, es uno de los elementos determinante. Los conflictos en el tránsito no sólo se traducen en accidentalidad sino en la calidad de la operación de tránsito, que es la relación que existe entre la oferta y la demanda. Como es conocido el desarrollo automovilístico no va aparejado a la construcción de los viales, pues todo los años la industria automotriz genera un volumen de tránsito que se incorpora al existente y todos ellos emplean una misma vialidad, cuya oferta puede llegar a su límite y provocar congestionamiento (ver figura 1.2). Por tanto al evaluar la calidad de operación de las corrientes vehiculares, las mismas serán deficientes.





**Figura 1.2 Relación de la demanda vehicular con respecto a la oferta vial**

En Cuba el parque vehicular data de varias décadas, los cuales presentan desperfectos técnicos, fallas, falta de dispositivos de seguridad adicionales, que sí tienen los carros modernos. Los mismos poseen adaptaciones inadecuadas para desempeñar funciones para las cuales no fueron concebidas. Es el ser humano quien, al hacer uso de los elementos materiales que la técnica pone a su disposición, tiene en su voluntad, el ajustar o no, su comportamiento a la mejor utilización de estos medios materiales en beneficio de todos los usuarios. Además, se le añade la sociología, el urbanismo, la ecología, la educación, ya que el automóvil interviene de tal manera en la vida del ser humano, que se puede decir que no hay área que no se vea afectada por él (Álvarez, 2018). Con lo expuesto, es fácil afirmar que los tres factores que intervienen en el fenómeno circulatorio no tienen el mismo valor o categoría. En efecto, la vía se establece para el vehículo y éste para el ser humano, de lo que se deduce que los dos primeros factores, vía y vehículo, de carácter material, sólo tienen valor de "medios" al servicio de la persona que lo utiliza.

El comportamiento del tránsito depende del dispositivo de control que lo regula, y esto hace clasificar la circulación en corrientes vehiculares continuas y discontinuas. Las últimas son donde se producen los mayores conflictos, pues dependerá del dispositivo que las controle y su reflejo se evidencia en los análisis evaluativos cuantitativos y cualitativos, es decir, capacidad (relación entre la oferta y la demanda) y el nivel de servicio que depende de las demoras. Para mejor comprensión de los antes expuesto se dedican los siguientes epígrafes.



## **1.2 Definición del término capacidad y nivel de servicio**

Diversos son los documentos que demuestran que los primeros estudios sobre capacidad vial fueron de forma empíricas por no contar con las herramientas necesarias para analizar el comportamiento del flujo vehicular. A partir de esta problemática se ve la necesidad de hacer un manual que contuviera todo lo relacionado con el tránsito, creándose en 1950 la primera edición del Manual de Capacidad Vial (HCM). Luego se le realizaron diferentes ediciones en los años 1965 y 1985 y posteriormente cuatro modificaciones en 1994, 1997, 2000 y la más actualizada en el 2010. El método tradicional de evaluación de intersecciones con o sin semáforos es mediante la utilización de manuales estandarizados. En el (HCM) se establecen diferentes metodologías para la evaluación del nivel de operación de los flujos vehiculares. Los capítulos de intersecciones semaforizadas y no semaforizadas tienen la información necesaria para la comprensión y recopilación de los datos requeridos para el análisis del nivel de servicio y capacidad de las vías

### **Capacidad de una vía**

Es la estimación máxima del número de vehículos a los que una vía puede dar servicio con seguridad razonable, dentro de un período de tiempo determinado. Son pocas las carreteras que operan en el rango correcto de su máximo servicio o cerca de él. Debido a esto, la capacidad se expresa en vehículos por hora. El flujo máximo del tránsito de una carretera se alcanza, cuando la densidad crítica y el tránsito se mueven a la velocidad crítica.

El análisis de capacidad proporciona una forma de estimar la máxima cantidad de flujo vehicular a la que se puede dar servicio en una vía, mientras mantiene su nivel de operación prescrito. Para el estudio de capacidad y nivel de servicio, es necesario disponer de información de campo inherente al tráfico y a la configuración física de la carretera.

La capacidad de una sección de carretera: es el máximo número de vehículos que tiene como probabilidad razonable de atravesar dicha sección durante un determinado periodo de tiempo, normalmente en una hora para condiciones particulares de la vía



y del tráfico. Dicho de otra forma, es la máxima intensidad capaz de albergar una vía sin colapsarse. Louise, A., 2018)

### **La capacidad para condiciones prevalecientes**

La capacidad ideal depende de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control que regulan las corrientes vehiculares y/o peatonales.

- Infraestructura vial: son las características físicas de la vía o calle en la que se considera las características geométricas como el ancho de los carriles, acotamientos, obstrucciones laterales, velocidad de proyecto, restricciones para el rebase, pendientes longitudinales, cantidad de carriles, entre otros aspectos.
- Tránsito: se define como la distribución del tránsito en el tiempo y el espacio, la composición vehicular (autos ligeros, camiones, autobuses y vehículos recreativos), según el sistema de clasificación vehicular adoptado.
- Dispositivos de control: son los dispositivos utilizados para el control los flujos vehiculares y peatonales, como semáforos y señales restrictivas que den paso a la diferencia que puede existir en los aspectos de capacidad y niveles de servicio. En caso de intersecciones controladas por semáforo la capacidad estará afecta por la reglamentación del semáforo, no así en las que son controladas con señales restrictivas (Pare y Ceda el Paso) que dependerá de la decisión del conductor para realizar las maniobras deseadas.

### **Niveles de servicio (NS)**

Se define como nivel de servicio, a la medida cualitativa que describe las condiciones de operación del flujo del tránsito y de su percepción por los conductores y peatones.

Los factores que afectan el nivel de servicio son:

- Los internos, que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales.
- Los externos, dependen de las características físicas, tales como el ancho de los carriles, la distancia lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes.



Se definen para cada tipo de infraestructura seis niveles de servicio, asignándole letras desde A hasta la F, la descripción puede consultarse en el anexo I, donde el Nivel A es el que representa mejores condiciones de operación y el F las peores o congestión y en cada uno se define un amplio dominio de condiciones de operación como se muestran en las tablas 1.1 (en función de las demoras) y la 1.2 (en función de las velocidades).

**Tabla 1.1 Descripción de los niveles de servicio para intersecciones de prioridad.**

Nivel de servicio NS	Demora promedio en la intersección seg/veh
A	0 – 10
B	> 10 – 15
C	> 15 – 25
D	> 25 – 35
E	> 35 – 50
F	> 50

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

**Tabla 1.2 Nivel de servicio para arterias urbanas según su clasificación y velocidad de circulación**

Tipo de vía	I	II	III	IV
<b>Rango de Velocidad*</b>	90-70 km/h	70-55 km/h	55-50 km/h	55-40 km/h
<b>Velocidad típica</b>	80 km/h	65 km/h	55 km/h	45 km/h
<b>NS</b>	<b>Velocidad promedio de viaje (km/h)</b>			
<b>A</b>	> 72	> 59	> 50	> 41
<b>B</b>	> 56 – 72	> 46 - 59	> 39 - 50	> 31 – 41
<b>C</b>	> 40 – 56	> 33 - 46	> 28 - 39	> 23 – 32
<b>D</b>	> 32 – 40	> 26 - 33	> 22 - 28	> 18 – 23
<b>E</b>	> 26 – 32	> 21 - 26	> 17 - 22	> 14 – 18
<b>F</b>	≤ 26	≤ 21	≤ 17	≤ 14

(\*) Flujo libre. Fuente: *Transportation Research Board, Highway Capacity Manual (HCM 2010)*



Las tablas anteriores muestran diferentes formas de evaluar cualitativamente una intersección según lo que se plantea en el HCM (2010). En la tabla 1.1 el nivel de servicio se obtiene a partir de las demoras y en la tabla 1.2 se determina según la velocidad de circulación en la vía.

El análisis de capacidad y niveles de servicio van a depender del emplazamiento y del dispositivo que regule los movimientos pues no es lo mismo la capacidad en una intersección semaforizada a una no semaforizada. En la primera las descargas de las colas en cada acceso dependen de la asignación de la luz verde. En el caso de las no semaforizadas, los movimientos en las vías secundarias y el giro a la izquierda en la calle principal, están en función de la aceptación o no, del tiempo que existe entre dos vehículos sucesivos que circulan por la vía principal, el cual se denomina, brecha. De manera tal que los procedimientos de análisis para la evaluación cuantitativa y cualitativa en estos tipos de intersecciones, difieren. En esta investigación se hará alusión solamente a las no semaforizadas.

### **1.2.1 Capacidad en intersecciones no semaforizadas. Parámetros que intervienen.**

Las intersecciones son puntos donde se cruzan dos o más vías. Normalmente, estos emplazamientos definen la capacidad de la vía, ya que deben dar paso alternado a movimientos conflictivos, lo que significa una menor disponibilidad de tiempo en diferentes tramos. Por ello las intervenciones sobre las intersecciones tienen un gran potencial de beneficios para la fluidez del tránsito. (Bull, 2003)

En una intersección controlada por señal de PARE concurren los dos tipos de circulación: la continua, en la vía con preferencia o principal y la discontinua, en la vía secundaria. Los que circulen por esta última 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. (Miramontes, 2015).

Por tanto, en este caso, el concepto de capacidad para estas calles secundarias se redefine como:



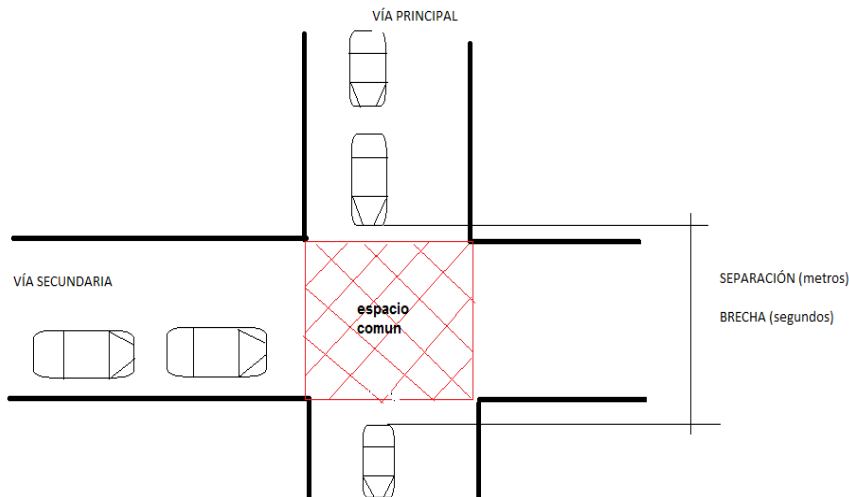
Según (Soler, 2018) plantea que se puede interpretar como la oferta continua de intervalos de tiempo en la corriente principal que el conductor acepta o rechaza según su criterio personal. Existiendo algún intervalo intermedio que definirá el límite entre el ingreso o no a la corriente principal. Este intervalo será relevante a la hora de analizar la operación de la intersección, según sea su valor así será la capacidad del acceso secundario.

En intersecciones de prioridad o controladas por señal de PARE, el tránsito que pretende ingresar por la calle secundaria debe dar prioridad al de la principal, a excepción de que encuentre un intervalo suficientemente grande que le permita realizar la maniobra deseada. El tema se trata mediante la teoría de aceptación de intervalos. El intervalo crítico ( $t_c$ ) y el de seguimiento ( $t_f$ ) resultan claves para estimar correctamente la capacidad y el nivel de servicio. Estos valores dependen del comportamiento de los conductores.

Gibson, (2001) la define como la posibilidad de descarga de una cola de vehículos suficientemente larga formado en ese acceso. Por lo que se ajusta al modelo probabilístico del comportamiento de las corrientes vehiculares, que responden fundamentalmente a la interacción de los parámetros microscópicos.

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 (figura 1.3).





**Figura 1.3 Representación de los parámetros de las corrientes vehiculares (brecha y separación). Fuente: Soler, 2018.**

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 Siegloch, (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); (Diapante, V., 2010)

En Inglaterra, los análisis de capacidad se basan en modelos estadísticos con ecuaciones de regresión empírica como los de Kimber y Coombe desarrollados en 1980. Estos métodos pueden modelar condiciones de elevada congestión. (Luttinen, 2006)

Modelos para determinar la capacidad teórica mediante el proceso de aceptación de brechas. Este modelo se deriva de un modelo de colas simples en donde se consideran cruces de dos corrientes vehiculares. (Diapante, 2011)

- 1) Una corriente principal de volumen  $V_p$ .
- 2) Una segunda que corresponde a la corriente secundaria de volumen  $V_n$ .

Los volúmenes de la corriente principal no presentan demoras y las que se generan en la vía secundaria dependen de que el conductor acepte una brecha con la cual se sienta seguro. Por lo que esta debe ser mayor o igual a la crítica.





Para obtener la capacidad de un acceso secundario ( $C_s$ ) mediante la teoría de aceptación de brechas planteada por Harders la misma se determina mediante la consideración de que:  $g(t)$  es el número de vehículos que pueden ingresar a la intersección desde la vía secundaria en un intervalo de duración ( $t$ ) de la corriente principal. El número esperado de estas brechas ( $t$ ) en la hora será:

$$3600V_p \cdot f(t) \quad (1.1)$$

Donde:

$f(t)$ : es la función de densidad de las brechas en la corriente principal

$V_p$ : es el número de vehículos en segundos de la corriente principal.

Por tanto la capacidad provista por los intervalos en una hora es:

$$C_s = 3600V_p \cdot f(t) \cdot g(t) \quad (1.2)$$

Para obtener la capacidad total expresada en vehículos por segundos se debe

Integrar a lo largo de todo el rango posible de brechas de la corriente principal, quedando:

$$C_s = V_p \int_0^t f(t) \cdot g(t) \cdot d(t) \quad (1.3)$$

De acuerdo a lo antes expuesto y con el empleo de métodos de probabilidad elemental se puede determinar la capacidad cumpliendo con las siguientes consideraciones:

- 1) Valores de tiempo de brecha crítica ( $t_c$ ) y tiempo de seguimiento ( $t_f$ ) constantes (población de conductores homogénea y consistente).
- 2) Distribución exponencial negativa para las brechas de la corriente principal.
- 3) Flujos de vehiculares contantes para cada corriente del tráfico

Resolviendo la integral, considerando  $f(t)$  una distribución exponencial negativa planteada en la ecuación (1.4):

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1.4)$$

Donde:

$\lambda = V_p$ : Volumen de la calle principal en veh/s



Y para  $g(t)$  una función escalonada constante dada por la ecuación (1.5), se obtiene la expresión planteada por Harders que permite obtener la fórmula de capacidad planteada en la ecuación (1.7)

$$g(t) = \sum_{n=0}^{\infty} n.P_n(t) \quad (1.5)$$

Donde:

$P_n(t)$ : probabilidad de que  $n$  vehículos de la calle secundaria ingresen en un intervalo de la calle principal de duración  $(t)$  dada la expresión (1.6)

$$P_n(t) = \begin{cases} 1, & t_c + (n-1)t_f < t < t_c + nt_f \\ 0, & \text{para todo otro valor de } (t) \end{cases} \quad (1.6)$$

Resolviendo la ecuación 1.3 se obtiene la ecuación de capacidad planteada por Harders (1.7)

$$Cs = Vp \frac{e^{-Vptc}}{1 - e^{-Vptf}} \quad (1.7)$$

### Capacidad potencial ( $C_p$ )

Esta se refiere al volumen vehicular que podrá, en forma teórica, realizar determinada maniobra desde la vía secundaria, en dependencia del volumen que circula por la vía primaria.

En el HCM (2010) se plantea la ecuación para la determinación de la capacidad potencial para cada movimiento secundario mediante la siguiente expresión:

$$C_{p,x} = V_{c,x} \frac{e^{-V_{c,x}t_{c,x}/3600}}{1 - e^{-V_{c,x}t_{f,x}/3600}} \quad (1.8)$$

Donde:

$C_{p,x}$ : capacidad potencial del movimiento  $x$  en (veh/h)

$V_{c,x}$ : flujo vehicular conflictivo para el movimiento  $x$  en (veh/h) (ver anexo 1)

$t_{c,x}$ : brecha crítica para el movimiento  $x$  en (seg.)

$t_{f,x}$ : tiempo de seguimiento para el movimiento  $x$  en (seg.)



Como se puede apreciar las ecuaciones 1.7 y 1.8 son similares por lo que se puede deducir que la metodología propuesta en el HCM (2010) emplea la ecuación planteada por Harders basada en la teoría de aceptabilidad de brechas.

En el HCM (2010) se define la capacidad potencial ( $C_{px}$ ), a la oferta ideal para un tipo de movimiento dado desde la secundaria pero asumiendo cuatro condiciones base:

La  $C_{px}$  viene definida para un tipo de movimiento dado desde la secundaria pero asume las siguientes condiciones base:

- El tránsito de las intersecciones aledañas no afecta a la intersección en cuestión.
- Cada movimiento desde la secundaria tiene su propio carril.
- El patrón de llegadas desde la calle principal no está afectado por la presencia de una intersección semaforizada próxima.
- Ningún otro movimiento de prioridad sobre él impide el movimiento en cuestión.

La realidad demuestra que es difícil que se logre la capacidad potencial ideal para cada movimiento, puesto que existen diferentes factores que impiden las diferentes maniobras a realizar por los conductores de las vías secundarias.

### **Capacidad por movimiento ( $C_m$ )**

La capacidad de un movimiento en una intersección no semaforizada está definida por el modelo de aceptación de intervalos. La capacidad depende de la cantidad de tránsito con el que deba enfrentarse el conductor de la secundaria para poder realizar el movimiento deseado, es decir del tránsito que está en conflicto con dicho movimiento y de los intervalos disponibles dentro de esa corriente como así también de su distribución y de las decisiones de los conductores sobre la secundaria. Según este modelo la calle secundaria observa la principal como una “oferta continua” de intervalos disponibles potencialmente utilizables (Luttinen, 2003). En definitiva la capacidad de un movimiento dependerá del volumen conflictivo al movimiento, el intervalo de aceptación y el de seguimiento.

La capacidad de cada movimiento se determina mediante la expresión 1.9.

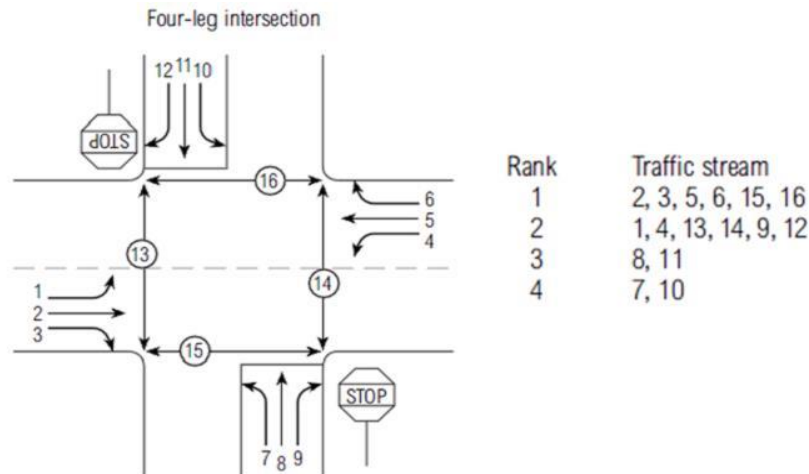


$$C_{m,x} = (Cp_x) f_k \quad (1.9)$$

Donde:

f : factor de ajuste de la capacidad para los movimientos k

k: denota los movimientos de acuerdo a la prioridad (*rank*) (según figura 1.4)



**Figura 1.4 Movimientos prioritarios. Fuente: *Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, 2010***

El modelo establece, en primera instancia un orden de prioridades de los distintos movimientos posibles dentro de la intersección. Los conductores deben respetar los derechos de paso de otros conductores, es decir ceder el paso ante quien corresponda. El modelo de aceptación de intervalos presentado define cuatro niveles de prioridad, por lo que las corrientes de tránsito se pueden clasificar en:

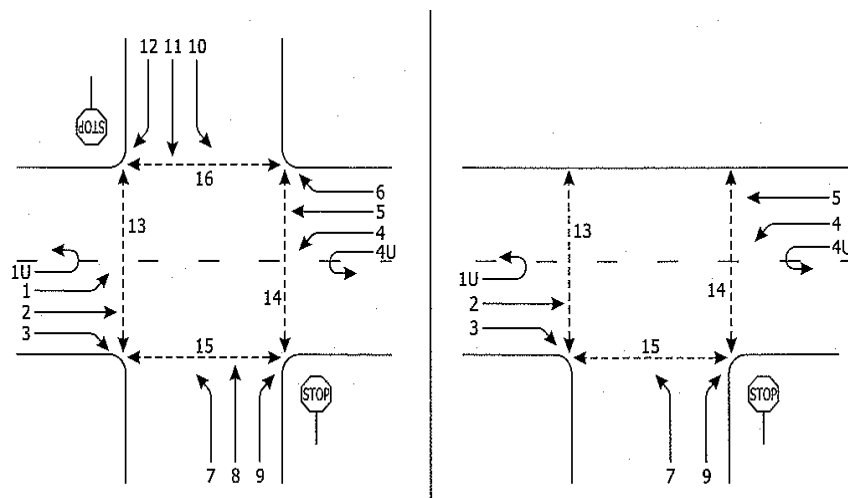
- Prioridad 1: tiene prioridad absoluta y no tiene que ceder el paso a ninguna corriente vehicular, son los movimientos pasantes y giros a la derecha desde la principal.
- Prioridad 2: tiene que ceder el paso a la corriente de prioridad 1, son giros a la izquierda desde la principal (GIP), giros en U desde la principal (GU) y giros a la derecha desde la secundaria (GD).
- Prioridad 3: tiene que ceder el paso a la corriente de prioridad 2 y por ende a la corriente de prioridad 1, son los movimientos pasantes (P) desde la secundaria.



- Prioridad 4: tiene que ceder el paso a la corriente de prioridad 3 y por lo tanto también a la corriente de prioridad 2 y a la corriente de prioridad 1, son los giros a la izquierda desde la secundaria (GI).

Según lo planteado, los conductores deben esperar por una oportunidad en la corriente de tránsito conflictivo segura, para poder entrar a la intersección salvo la corriente de Prioridad 1 que posee paso en forma permanente en el tiempo.

La figura 1.5 esquematiza los tipos de intersecciones e identificación de movimientos empleada en el HCM2010 para definir las prioridades de cada uno. Se presentan dos tipos de intersecciones, en cruz y de tres ramas. El nuevo Manual contempla también la existencia de movimientos en U sobre la calle principal no considerados en el HCM (2000).



**Figura 1.5 Movimientos existentes en una intersección no semaforizada.**

**Fuente: *Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, 2010***

### **Determinación de la capacidad en el terreno**

De la misma manera que se puede obtener la capacidad de forma teórica también se puede obtener en el terreno. Para ello existe un modelo de estimación de capacidad la cual se basa en la expresión de Kyte (1996) la cual permite estimar la capacidad en



condiciones no saturadas. Su basamento inicial parte del comportamiento de una cola continua donde se recomienda para las mediciones establecer intervalos de un minuto, debido a que analizar en periodos de 15 min es poco probable que se produzcan colas continuas.

Queda planteada la expresión:

$$C_m = \frac{3600}{t_s + t_{mv}} \quad (1.10)$$

Donde:

$C_m$ : Capacidad de campo para la calle secundaria (veh/h)

$t_s$ : demora promedio de servicio de los vehículos una vez que llegan a la línea de pare (seg.)

$t_{mv}$ : tiempo promedio de movimiento desde la segunda posición hasta la línea de pare (seg.)

La demora de servicio ( $t_s$ ) se mide para un período específico y se promedia para todos los vehículos de la calle secundaria que pasaron la intersección durante ese período. Esta demora es la duración desde que llega el vehículo a la primera posición de la cola, es decir desde que está en la línea de pare, hasta que logra ingresar o cruzar la corriente principal. Estas mediciones no requieren de una cola continua, no así el tiempo promedio de movimiento ( $t_{mv}$ ) que requiere por lo menos, dos vehículos en cola. Este tiempo es aquel que transcurre desde que el vehículo en la segunda posición de la cola ocupa la posición del primero una vez que este se retira del acceso secundario.

De acuerdo a lo abordado hasta el momento, se puede apreciar que la capacidad de una vía secundaria en una intersección no semaforizada depende directamente de los valores de brecha y de los flujos vehiculares conflictivos de la vía principal. Ambos parámetros y otros que quedan implícitos dentro de lo que se explica anteriormente como es el caso de la velocidad y la separación, entre otros, no son más que parámetros que caracterizan el comportamiento de las corrientes vehiculares.



### **1.2.1.1 Caracterización de los parámetros de las corrientes vehiculares**

Para poder comprender las características del tránsito y su comportamiento, es necesario realizar un análisis de los elementos que intervienen en el flujo vehicular. Elementos que son de vital importancia en las etapas de planeamiento, proyecto y funcionamiento de calles y carreteras como se planteó con anterioridad.

Los análisis de flujos vehiculares se basan en la aplicación de leyes matemáticas y físicas que permiten describir el comportamiento de estos flujos vehiculares en cualquier vialidad y por ende sus resultados permitirán emitir una valoración sobre el nivel de eficiencia de la circulación.

Para ello se han desarrollado modelos macroscópicos y microscópicos que relacionan sus diferentes variables. Antes de introducir el tema de la descripción de los parámetros que caracterizan cada modelo, es conveniente definir que una corriente vehicular no es más que: el conjunto de vehículos que circulan por una calzada en una dirección y en el mismo sentido (Gibson, 2001). Dado a las características de las vías modernas, a la regulación del tránsito y a los hábitos de los conductores, las corrientes vehiculares se suelen descomponer en filas de un vehículo en fondo que se acomodan en los distintos carriles de la calzada, estén delimitados o no. Las corrientes de varias filas tienen características diferentes a las de una fila.

Por la calzada de un carril solamente pueden circular corrientes vehiculares de una fila, y la velocidad de los vehículos de delante limita a la de los que vienen detrás. En calzada de dos carriles con circulación en ambos sentidos puede haber dos corrientes vehiculares opuestas de una fila, pero los vehículos de delante no restringen tanto la velocidad de los de detrás, porque es posible que estos últimos efectúen maniobras de adelantamiento. Sin embargo, estas maniobras deberán realizarse invadiendo el carril destinado a la corriente en sentido contrario, lo cual sólo puede hacerse en determinadas oportunidades.

Cuando hay más de un carril destinado a una corriente vehicular, esta puede descomponerse en filas y los vehículos que van con mayor rapidez adelantan con



mayor facilidad a los más lentos, pues sólo tendrán que cambiar de una fila a otra dentro de una misma corriente vehicular. (Cal, et al, 2010)

A continuación se plantean los parámetros que caracterizan cada modelo. En el modelo macroscópico intervienen el flujo (tasa de flujo e intensidad), la velocidad y la densidad.

El flujo, en los que se encuentran la tasa de flujo y el volumen:

- La tasa de flujo (q): es la frecuencia a la cual pasan los vehículos por un punto o sección transversal de un carril o calzada en un tiempo específico siempre inferior a la hora por lo que se expresa en veh/min o veh/s.

$$q = \frac{N}{t} \quad (1.11)$$

N: cantidad de vehículos

t: tiempo de observación inferior a la hora (min)

- Volumen (Q): es la frecuencia máxima de vehículos que pueden transitar en una hora (veh/h) convirtiéndose en la demanda máxima a la podría estar sometida la vía. Si la demanda supera la oferta entonces la calidad de operación de la circulación es deficiente, si la iguala estaría en una condición máxima y si no la supera estaría para una calidad de operación aceptable.

$$Q = q (60\text{min}) \quad (1.12)$$

- La velocidad es definida como una razón de movimiento en distancia por unidad de tiempo, generalmente en kilómetros por hora (km/h). El *Highway Capacity Manual* (HCM, 2010) emplea la velocidad promedio de viaje como la medida de velocidad, debido a que es fácil de calcular observando cada vehículo dentro del tránsito y es la medida estadística más relevante en relación con otras variables.
- La densidad (D): es el número de vehículos que ocupan una longitud específica de una vialidad en un momento dado. Generalmente se expresa en veh/km, ya sea referido a un carril o a todos los carriles de una calzada.

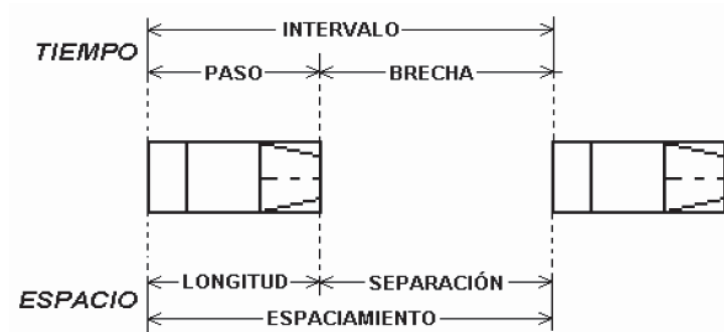
Por tanto la relación existe entre estos parámetros queda expresado como:

$$Q \left( \frac{\text{veh}}{\text{h}} \right) = V \left( \frac{\text{km}}{\text{h}} \right) * D \left( \frac{\text{veh}}{\text{km}} \right) \quad (1.13)$$





En el modelo microscópico intervienen los parámetros espaciales, expresados en metros y los temporales obtenidos en segundos. Estos son mayormente empleados en los análisis de flujos para las vías urbanas.



**Figura 1.6 Parámetros microscópicos de las corrientes vehiculares. Fuente: Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y aplicaciones (Cal, R. et al., 2010).**

- Espaciamiento: distancia entre dos vehículos sucesivos, se mide del extremo trasero de un vehículo al mismo extremo del siguiente.
- Separación: distancia entre el extremo trasero de un vehículo y el delantero del siguiente. De acuerdo al Código de Seguridad Vial vigente en Cuba (Ley109), se establece que los conductores deben por cada 15km/h dejar una separación de 5m como mínimo.
- Longitud, distancia entre los extremos delantero y trasero de un vehículo.

Teniendo en cuenta que los parámetros espaciales se expresan en metros, la relación entre ellos se puede determinar de la siguiente manera:

$$\text{ESPACIAMIENTO} = \text{SEPARACIÓN} + \text{LONGITUD}$$

- Intervalo (h): es el tiempo entre las partes homólogas de dos vehículos consecutivos en segundos.
- Paso (p): tiempo que transcurre en que un vehículo recorra su propia longitud en segundos.
- Brecha (tc): tiempo medido entre el paso por un punto de una vía, del extremo trasero de un vehículo y el delantero del siguiente vehículo.



Teniendo en cuenta que los parámetros temporales se expresan en segundos, la relación entre ellos se puede determinar de la siguiente manera:

$$\text{INTERVALO} = \text{BRECHA} + \text{PASO}$$

Generalmente estos parámetros representan las relaciones entre una pareja de vehículos que circulan en el mismo sentido; es importante aclarar que si un vehículo sigue a otro lo regular es asignar el valor al de atrás y es común medirlos con la parte trasera de los vehículos. No obstante, estos parámetros también son usados para expresar la relación entre vehículos que circulan en sentido contrario el uno del otro, para este caso es conveniente medir los parámetros con la parte delantera de los vehículos.

De acuerdo a las definiciones planteadas para cada parámetro tanto macroscópicos como microscópicos se pueden establecer relaciones entre ellos.

Fundamentalmente entre el volumen (Q) y el intervalo promedio (h) y entre la densidad (D) y el espaciamiento promedio (S) como se muestra a continuación:

$$h = \frac{3600}{Q} \quad (1.14)$$

$$S = \frac{1000}{D} \quad (1.15)$$

Al enmarcarse esta investigación en la capacidad de intersecciones controladas por señales de PARE, el contenido de este trabajo se centrará en los parámetros microscópicos que mayor incidencia poseen en la capacidad de estos tipos de emplazamientos, las brechas o gaps y tiempo de seguimiento.

### **1.3 Análisis de los métodos para determinación de las brechas y tiempo de seguimiento.**

El análisis de capacidad en intersecciones no semaforizadas se basa en una cabal caracterización y entendimiento de la interacción entre dos corrientes de tránsito conflictivas (Kyte et al., 1996; Troutbeck y Brilon, 1996). La mayoría de los procedimientos de análisis de capacidad en las intersecciones no semaforizadas se

34



basan en modelos estocásticos como lo es por ejemplo la teoría de aceptación de intervalos. Según este modelo la capacidad es una función dependiente de la disponibilidad de intervalos. Esta metodología fue desarrollada en Alemania por Harders en 1968 y por Siegloch en 1973 (Luttinen, 2003).

Tanto los manuales de capacidad de Alemania como el de Estados Unidos de Norteamérica y el suizo, contemplan este criterio. En Inglaterra, los análisis de capacidad se basan en modelos estadísticos con ecuaciones de regresión empíricas como las de Kimber y Coombe desarrolladas en 1980 (Lutinen, 2006). Este método puede modelar condiciones de elevada congestión. Los modelos de capacidad basados en el proceso de aceptación de intervalos se derivan de un modelo de colas simple en donde se considera el cruce de dos corrientes de tráfico: (1) una corriente prioritaria o principal y (2) otra corriente secundaria o no prioritaria. Los vehículos de la corriente principal no presentan demoras y a los de la secundaria sólo se les permite ingresar a la zona de conflicto si el siguiente vehículo de la calle principal está todavía al menos a un cierto intervalo en segundos. En caso contrario el vehículo de la secundaria debe esperar.

La teoría de la aceptación de intervalos supone que existe un intervalo mínimo que todos los conductores de la corriente secundaria aceptarían en similares intersecciones: el intervalo crítico ( $t_c$ ). De acuerdo al modelo de comportamiento normalmente utilizado, ningún conductor entrará en la intersección a menos que el intervalo que tenga en la corriente principal sea igual o mayor al intervalo crítico. También se asume que si se presenta un intervalo muy largo en la corriente principal, dos o más conductores del acceso secundario podrían emplearlo para entrar en la misma. La separación, medida en tiempo, entre vehículos de la corriente secundaria que aprovechan un mismo intervalo se conoce como tiempo de seguimiento ( $t_f$ ). En ambos casos se estiman valores medios a partir de una muestra, y se los considera como representativos de la población. La exactitud en la estimación de la capacidad está fuertemente influenciada por la precisión de los valores de  $t_c$  y  $t_f$ .



El tiempo de seguimiento, el intervalo de aceptación y los intervalos rechazados se pueden registrar directamente en campo, en cambio el intervalo crítico debe calcularse en función de los aceptados y rechazados. (Depiante; Galarraga, 2011)

El tiempo de seguimiento se refiere al tiempo entre la salida de un vehículo de la vía secundaria y la salida del siguiente que lo sigue usando para cruzar la misma brecha que el primero, bajo condiciones de cola continua en dicha vía secundaria. (Rivera, 2012)

Para estimar estos intervalos se han desarrollado numerosos estudios y técnicas pero cabe mencionar que existen básicamente dos grandes grupos de metodologías para la estimación del intervalo crítico y del tiempo de seguimiento ya sea en forma conjunta o en forma independiente. Siegloch, lo hace en forma conjunta y determina ambos intervalos a la vez utilizando técnicas de regresión, mientras que otros, Asworth, Troutbeck, lo hacen por separado calculan los valores medios esperados para determinar estos factores, empleando métodos probabilísticos. Entre ellos, el método de Máxima Verosimilitud para el intervalo crítico ha mostrado ser el más exacto y confiable. (Depiante y Galarraga, 2012)

El método para la estimación de los intervalos críticos y de seguimiento en forma conjunta propuesto Siegloch es bastante confiable y simple pero aplicable en condiciones de saturación, es decir una cola continua sobre el ingreso por la calle secundaria. Se basa en el análisis de regresión del número de vehículos que utilizan un mismo intervalo versus el tamaño del intervalo. Con esto se determina tanto el intervalo crítico como el intervalo de seguimiento. Siempre que exista cola en la calle secundaria (de al menos un vehículo) el método propuesto por Siegloch proporciona resultados aceptables (Kyte et al., 1996). El procedimiento incluye los siguientes pasos:

Registrar para cada tamaño de intervalo “ $t$ ”, el número de vehículos “ $i$ ” que ingresan en ese intervalo.

- Calcular el tamaño promedio del intervalo  $E(t)$  para cada uno de los intervalos aceptados por solamente “ $n$ ” vehículos



- Ajustar una regresión lineal entre los valores promedios de tamaño de intervalo  $E(t)$  (como variable dependiente) y el número de vehículos que ingresan durante este tamaño promedio de intervalo, “n” (como variable independiente)
- La pendiente de la recta de regresión es el valor estimado para el tiempo de Seguimiento (tf), ya que representa el tiempo que agrega el paso de un vehículo más de “i” a “i+1”
- El intervalo de aceptación crítico se calcula como la ordenada al origen ( $t_0$ ) más la mitad del tiempo de seguimiento, ya que con menos de ese valor no entra ningún vehículo

Si por la calle secundaria no se observa formación continua de cola, que es el caso más frecuente, no se puede aplicar el método de regresión lineal debido a que los intervalos de la corriente principal no serían completamente aprovechados y en consecuencia se otras metodologías. Entonces el método de regresión no se puede aplicar si no existe cola continua. En estos casos es necesario aplicar un método probabilístico. Troutbeck (1992) describe un procedimiento de estimación de intervalos críticos mediante máxima verosimilitud. Este procedimiento permite la estimación bajo condiciones de tráfico que no sean sobresaturadas. El intervalo crítico de cada conductor se encuentra entre el intervalo máximo rechazado y el intervalo aceptado por él mismo. Si el intervalo aceptado fuera inferior al máximo rechazado se considera que el conductor está desatento. Este procedimiento requiere asumir como primera medida una distribución probabilística de los valores de intervalo crítico para la población de conductores. Para la mayoría de los casos es razonable y aceptado en muchos estudios asumir una distribución log-normal, ya que está sesgada hacia la derecha y no presenta valores negativos. Conceptualmente este método permite ajustar una distribución de probabilidades a una muestra de datos.

Las brechas juegan un papel determinante en la determinación de la operación de la circulación en intersecciones controladas por señales de PARE. Pero es válido resaltar que este tiempo de ser empleado o no, dependerá de la decisión de cada conductor, decisión que está asociada a la aptitud, actitud y también de las características



culturales y/o regionales de cada persona. Es por ello que se deben realizar estudios para la determinación de valor crítico aceptado por los conductores y que debe de realizarse con mucho cuidado y en lo posible no generalizar con experiencias foráneas. En el Highway Capacity Manual (HCM 2010) se establecen valores promedios de brechas críticas bases para los accesos secundarios teniendo en cuenta la cantidad de carriles de la vía principal. Esos valores fueron determinados a partir de la aplicación de métodos en los que tuvieron en cuenta las características de esa nación como se muestra en la tabla 1.3. La brecha crítica teórica para cada movimiento de acuerdo a la metodología planteada en el manual se determina mediante la ecuación 1.16:

$$t_{c,x} = t_{c,base} + t_{c,HV} P_{HV} + t_{c,G} G - t_{c,T} - t_{3,LT} \quad (1.16)$$

Donde:

$t_{c,x}$  : Brecha crítica por movimiento x en segundos

$t_{c,base}$  : Brecha crítica base de acuerdo a la tabla 1.3 en segundos

$t_{c,HV}$  : Factor de ajuste por vehículos pesados (1.0 para vías secundarias de dos carriles y 2.0 para vías secundarias de cuatro carriles en segundos)

$P_{HV}$ : proporción de vehículos pesados del movimiento secundario

$$t_{f,x} = t_{f,base} + t_{f,HV} P_{HV} \quad (1.17)$$

$t_{f,x}$ : tiempo de seguimiento para el movimiento x (seg)

$t_{f,base}$ : tiempo de seguimiento base de la tabla 1.3 (seg)

$t_{f,HV}$ : factor de ajuste por vehículos pesados (0.9 para dos carriles en la vía principal y 2.0 para cuatro carriles en la vía principal), (seg)

$P_{HV}$ : proporción de vehículos pesados en la vía secundaria



**Tabla 1.3 Valores de brecha crítica base y tiempo de seguimiento**

Movimiento	Brecha crítica base, $t_{c,base}$ (s)		Tiempo de seguimiento base, $t_f, base$ (s)
	Vía principal con dos carriles	Vía principal con cuatro carriles	
Giro izquierdo desde la vía principal	4.1	4.1	2.2
Giro derecho desde la vía secundaria	6.2	6.9	3.3
Tránsito directo en la vía secundaria	6.5	6.5	4.0
Giro izquierdo desde la vía secundaria	7.1	7.5	3.5

Fuente: Transportation Research Board, 2010; Highway Capacity Manual, 2010

De acuerdo a las bibliografías consultadas, se pudo apreciar que existen métodos para la determinación de los valores críticos de brechas. Uno de ellos es el de aceptación de brechas (Brilon et al., 1997), (Wang et al., 2005). El mismo teoriza que existen un intervalo de tiempo mínimo que todos los conductores de la vía secundaria aceptarán en intersecciones con características similares, siendo este la brecha crítica ( $t_c$ ). Valor en el que ningún conductor entrará en la intersección a menos que la brecha existente entre dos vehículos consecutivos en la vía principal sea mayor o igual que el crítico ( $t_c$ ).

También se asume que dos o más conductores del acceso secundario podrán emplear una brecha común para ingresar en la intersección siempre y cuando sea lo suficientemente aceptable para hacerlo.

Ese tiempo que tardan eso dos vehículos consecutivos en incorporarse a la vía principal mediante el uso común de un mismo tiempo de brecha es lo que se denomina, tiempo de seguimiento ( $t_f$ ).

#### **1.4 Investigaciones realizadas aplicando la metodología a nivel internacional y nacional.**

Diversas son las investigaciones en busca de valores de brechas y tiempo de seguimiento, acordes a las características del lugar donde se realizan los estudios. Dado que el conductor en una intersección no semaforizada debe enfrentarse a la decisión de cuando ingresar a la misma y a la de definir el momento en que resulta



seguro hacerlo, el comportamiento del mismo es una variable que mayormente afecta la operación en la intersección y por lo tanto se hace necesario una calibración para tener en cuenta el comportamiento local para realizar estimaciones de capacidad acertadas (NCHRP 572, 2007), además del hecho de que los vehículos responden de una manera diferente y las reglamentaciones y su grado de cumplimiento tampoco sean las mismas.

Estudios realizados por Depiante (2011) en Argentina de estimación de intervalo crítico y tiempo de seguimiento mediante el modelo de regresión lineal propuesto por Siegloch, presenta los resultados que alcanza sobre una base de 71 casos de medición para el estudio de una intersección de tres ramas de la ciudad, que se ajusta a los patrones de condiciones base del HCM (2010). Los resultados corresponden al movimiento de giro a la izquierda de la calle secundaria. Los mismos difieren a los valores que se proponen en el manual ya que resultan en capacidades inferiores a las locales. Los intervalos crítico y de seguimiento para la intersección estudiada resultaron ser inferiores en un 25% y 20% respectivamente a los propuestos en el Manual (2010). Para un volumen conflictivo de 1500 veh/h la capacidad de la secundaria para el giro a la izquierda de una intersección en T, con la fórmula que propone en el HCM es de 256 veh/h y con las correcciones propuestas se eleva a 345 veh/h, lo que representa un incremento del orden del 35%. Bajo esta perspectiva puede inferirse que las intersecciones funcionarán de manera más eficiente, pero también más peligrosa. Demuestra que los conductores presentan diferencias en el comportamiento, al ser en general mucho más agresivos en la conducción que los norteamericanos, a la hora de aprovechar los intervalos de brechas que se le presenten. Además de que existen también diferencias en los vehículos utilizados, en las reglamentaciones y en el respeto a las mismas.

En estudios posteriores llevados a cabo por Galarraga; Depiante, (2012) para encontrar valores de intervalos críticos, en cinco intersecciones de la misma ciudad, mediante el método de máxima verosimilitud, arrojaron valores de intervalos inferiores a los propuestos por el manual para todos los movimientos de la secundaria. En su investigación demuestran que los estudios de estimación de intervalos críticos de

40





seguimiento y de capacidad realizados para cada movimiento y número de carriles, de la principal en diferentes intersecciones de la ciudad han permitido establecer valores que difieren de los propuestos por el *Highway Capacity Manual* como se muestra en la tabla 1.4. En todos los casos reportados de estudios locales se observaron diferencias significativas (en menos) con los valores propuestos en el HCM2010.

**Tabla 1.4. Comparación de los intervalos críticos y de seguimiento recomendado como local y propuesto por el HCM2010 para intersecciones en cruz**

Movimiento	Intervalo crítico (s) Principal dos carriles		Intervalo crítico (s) Principal cuatro carriles		Tiempo de seguimiento (s)	
	Local	HCM (2010)	Local	HCM (2010)	Local	HCM (2010)
GD	5.0	6.2	5.5	6.9	2.6	3.3
P	6.2	6.5	6.2	6.5	3.4	4.0
GI	6.7	7.1	7.1	7.5	3.0	3.5

GD giro a derecha, GI giro a la izquierda, P movimientos pasante. Fuente: Depiante, Galarraga (2010)

La recomendación es conservadora aun cuando se encontraron valores inferiores. Se recomiendan valores de intervalos críticos inferiores en un 5% para los movimientos de giro a la izquierda y pasantes de la secundaria (respecto de los propuestos en el HCM, 2010) y valores inferiores en un 20% en el caso de giros a la derecha. En el caso de los tiempos de seguimiento se recomienda el uso de valores inferiores en un 15% para los movimientos de giro a la izquierda y pasantes y valores inferiores en un 20% en el caso de giros a la derecha de la secundaria.

Otro ejemplo de investigaciones referidas a la temática fue realizada en Medellín, Colombia por (Rivera, Cárdenas, 2012) cuyo propósito era determinar los valores de brecha crítica aceptadas por los conductores de esa ciudad y compararlos con los que establece el HCM 2010 de manera que les permitirá decidir si los valores bases planteados en la metodología del Manual podían ser empleados en los análisis de capacidad en ese país. Para ello realizaron mediciones in situ, aplicando el método de aceptabilidad de brechas en 8 intersecciones. Con los resultados obtenidos comprobaron que efectivamente no es adecuado emplear los valores propuestos en el manual como se puede apreciar en la tabla 1.5



**Tabla 1.5 Resultados obtenidos de brecha en Colombia**

	Valores de brecha crítica por movimientos		
	Giro derecha	Giro izquierda	Cruce recto
Mediciones in situ Colombia	6.0	6.1	5.7
HCM 2010	6.1	7.1	6.6

Fuente: Rivera S., Cárdenas D., (2012)

Como se puede apreciar existen diferencias entre las maniobras de giro a la izquierda y el cruce recto. Es válido resaltar que los investigadores de este trabajo, al cual se hace referencia, plantean además que no encontraron bibliografía que corroboren que los valores planteados en el Manual incluyan motocicletas. No obstante ellos determinaron las brechas aceptadas por esos conductores dado a que el volumen de este medio de transporte en las intersecciones analizadas representan alrededor del 30% del flujo que existen en los emplazamientos escogidos para su trabajo, valores que oscilan entre 4 y 5 segundos. Resultados que se alejan bastante de los establecidos por el HCM, aunque los que emplearon para realizar la comparación no incluyen los de las motocicletas. Independientemente de que ellos no incluyen este aspecto se puede influir que para este medio de transporte, las brechas pueden disminuir bastante, porque son medios que para su despeje o salida requieren menos tiempo por tanto deben aceptar brechas más pequeñas y de incluirse se debe separar más la diferencia de los resultados mostrados en la tabla.

Al hacer un análisis se puede percibir que en las investigaciones mostradas realmente difieren los resultados planteados en el manual con respecto a los obtenidos en cada una de las localidades. También se puede agregar que ellos se ajustaron a que el tránsito analizado fuese motorizado de acuerdo a las características que plantea el HCM, aspecto que excluye otros medios de transporte que confluyen en las mismas vialidades como son los ciclos o medios de tracción animal.

En Cuba estos análisis son incipiente, puesto que no es una materia que sea muy fuerte hasta el momento. Con respecto a esta temática no se pudo percibir que en otras provincias excepto en Holguín, se estén realizando estudios de esta índole. Sin embargo en la ciudad de los parques, se han realizado investigaciones como la de



(Portelles, 2017) que analizó intersecciones teniendo en cuenta la metodología del manual en la que demuestra que hay que ajustarla a las condiciones del tránsito presente en la localidad. Al aplicar la metodología para las intersecciones de prioridad, se obtuvo resultados de que existe un cambio al no considerar los coches de tracción animal ya que sin la presencia de estos se obtiene niveles de servicio A y B, pero al considerarlos (llevándolos a un factor de equivalencia a autos ligeros) con ellos se obtienen niveles de servicio C y B respectivamente donde los más afectados son los accesos secundarios los que presentan demoras de 15 a 40 segundos.

Otra investigación realizada en la ciudad fue llevada a cabo por (Portal, 2017) en la cual, él hace referencia a la incidencia que provoca las bicicletas sobre el nivel de servicio en intersecciones no semaforizadas. Con la que demuestra cómo influye el factor ciclo en los análisis de capacidad y niveles de servicio que afecta al aplicar de la metodología del manual. Sin considerar los volúmenes de los medios de transporte de marcha lenta (ciclos y coches) analizando y haciendo referencia solo a los ciclos y luego con su incorporación junto con el factor de equivalencia de ciclos a autos, se demostró la incidencia de estos medios de transporte en la vía, donde el resultado queda evidenciado en los niveles de servicio dando sin la presencia de estos niveles de servicios A y C y con presencia de estos niveles de A y E viéndose afectado el acceso secundario.

Específicamente en la variación de los resultados, está la investigación de (Soler, 2018) con el tema de brecha y tiempo de seguimiento donde determina las brechas para las características geométricas de los emplazamientos de Holguín y del parque automotor, no incluyendo así los vehículos de marcha lenta, ni ciclos ni coches. También excluye las motos ya que los valores obtenidos de tiempo de cruce para las motos son muy bajos, los cuales solo pueden ser aceptados por los conductores de ese medio de transporte, no así para los restantes vehículos, pues emplearlas realmente conlleva a un posible accidente.

La autora incluye solo los vehículos automotores para obtener resultados más exactos a los planteados en el manual y así probar si había diferencia en la metodología con en el parque automotor existente. (Tabla 1.6)



En esta investigación ella parte de un supuesto, ya que las intersecciones de Holguín por lo general son de vías de un solo sentido de circulación donde el ancho de la calzada no permite que dos corrientes vehiculares circulen al mismo tiempo, se supone que sea un solo carril de circulación y para tener una aproximación a lo que pudiera suceder si el manual plateara un solo carril. Por esta razón plateo: Si para cruzar la vía en el movimiento recto en el manual se establece, para dos carriles, un tiempo de brecha crítica de 6.5 s y un tiempo de seguimiento de 4.0 s, entonces para la mitad de la distancia a recorrer se necesita la mitad de los tiempos, puesto que los conductores de la vía secundaria ya no tendrá que enfrentarse a dos corrientes vehiculares sino a una.

De acuerdo a lo planteado, se asume para establecer una nueva comparación, la mitad de los valores teóricos (brechas críticas y tiempo de seguimiento) planteados en el manual, obteniéndose los siguientes resultados obtenidos en el terreno. (Tabla 1.8)

**Tabla 1.6 Resultados obtenidos de brechas teóricas en Holguín con el empleo del HCM y los valores prácticos de mediciones en el terreno.**

Mediciones	Valores de brechas críticas $t_c$	
	Holguín (Cuba)	HCM 2010
Práctico	3.40	-
Teórico	6.54	6.5

Fuente: Soler, E., 2018

**Tabla 1.8 Resultados de la capacidad potencial teniendo en cuenta la mitad de los valores del HCM 2010 y el resultado práctico.**

Mediciones	Valores de brechas críticas $t_c$	
	Valores del HCM modificados	Valores obtenidos de las mediciones
$t_c$ (s)	3.25	3.40
$t_f$ (s)	2.0	3.72
$V_c$ (veh/h)	1087	1087
$C_p$ (veh/h)	899	595

Fuente: Soler, E., 2018

Soler (2018) en su estudio arriba a las conclusiones de que los resultados de las brechas críticas determinadas mediante el empleo de los valores bases brindados en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM, 2010) difieren en un 50% del resultado



obtenido en el terreno, debido a que la condición mínima establecida es para brechas críticas aceptadas en vía principal con dos carriles y las vías estudiadas, aunque poseen dos carriles, operan como vías de un solo carril.

Al comprar lo establecido en el manual con las características de la localidad sin considerar los coches y las bicicletas, solo con la presencia de los vehículos automotores da resultados aunque no van acorde con la realidad observada en las vías de la ciudad de Holguín. La autora no consideró los medios de transporte de marcha lenta, aspecto que sigue afectando, porque hay intersecciones que tienen presencia de este medio y las mismas coinciden algunas con vías de alta demanda por tanto es necesario dar continuidad a una de las recomendaciones que ella plantea de, seguir ajustando los valores de brechas a las características reales del territorio.

A partir del resumen de las investigaciones realizadas antes expuestas ya sea en lo internacional o nacional y la recomendación planteada antes referida, se basa el capítulo 2 en hacer un diseño teórico experimental donde se plantean las diferentes actividades a realizar. Para obtener los resultados que se desean de la incorporación de estos medios de transporte y ver su influencia en los valores de brecha e intervalos.

### **1.5 Caracterización del tránsito de la ciudad de Holguín**

En la ciudad de Holguín, las calles presentan un trazado de manera ortogonal, y se inició ese trazado a partir de las calles Maceo y Libertad, todas las vías son paralelas. Sus anchos varían entre 4,0 m y 5,0 m (figura 1.7). Por lo general son de un solo sentido de circulación, donde se pueden apreciar diversidad de medios de transportes entre los que encontramos los ciclos con alta demanda y los coches de tracción animal. Estos últimos se utilizan para la transportación de pasajeros y tienen sus rutas establecidas. Pero varias de las calles por las que se les permite su circulación coinciden con las de alta circulación vehicular, lo que genera problemas de demoras, como es el caso de la intersección calle Cuba y Máximo Gómez lo que hace que el desplazamiento sea lento por su baja velocidad. (Figura 1.8)





**Figura 1.7 Vista de la ciudad de Holguín.**



**Figura 1.8 Presencia de medios de transporte de tracción animal vías urbanas de la ciudad de Holguín**

La ciudad es económicamente monocéntrica, donde la mayoría de los servicios están en el centro de la urbe. La presencia de peatones es elevada en esta zona. Se puede percibir que los estacionamientos se producen sobre la vía, ya sea en forma de cordón (la más usual) y en batería, fundamentalmente en los parques centrales Calixto García y Julio Grave de Peralta, (más conocido como el de las Flores). La alta deficiencia de zona para la realización de esta maniobra por parte de los conductores, provoca que en la gran mayoría de las ocasiones, no se respete la señal de prohibición de parqueo.



Esto a su vez conlleva a que exista una reducción de la oferta de la vía para la circulación vehicular.

La ciudad de los parques es uno de los territorios del país que emplea los ciclos (bici taxi) y los medios de transporte de tracción animal como forma alternativa para el traslado de las personas, a pesar del incremento del parque vehicular, específicamente el aumento de motores eléctricos (motorinas) que se han insertado al flujo vehicular en los últimos 10 años y que hasta el momento es un medio muy demandado por la población. En entrevista realizada al capitán Yoandris Serrano Infante, en la oficina de tránsito, donde se aborda el tema referente a la cantidad de motorinas existente en la localidad, plantea que hasta el momento sólo se tiene registrada las que son de combustión interna, que según su reporte solamente son 1500, pero en el caso de las eléctricas, todavía no se tiene el registro oficial, las mismas se perciben en un volumen considerable en las vías y que están afectando el tráfico.

Por la situación epidemiológica en el momento, no se está haciendo este registro se va a continuar una vez que se normalice la situación, hasta el momento no se tiene dato exacto de cuantas están circulando en la ciudad. La oferta de medios de transportación masiva (ómnibus) no es suficiente para satisfacer las necesidades de traslación de la población, por lo que la presencia de los coches y ciclos con estos fines tendrá una presencia elevada por unos cuantos años más. Para mejorar los conflictos que estos provocan en las circulaciones principalmente en vías de alta circulación se han planteado medidas en aras de disminuir estos problemas como es el caso de los resultados que planteó Reyes (2020) en la cual propone cambios en las rutas actuales de la circulación de los medios de transportación por tracción animal, trabajo arduo pues los análisis que conlleva los estudios de movilidad urbana son complejos por los diferentes aspectos a considerar. No obstante algunas intersecciones mantendrán conflictos principalmente de demoras por la presencia de estos medios, que confluyen en intersecciones no semaforizadas. Por lo que se hace necesario continuar el análisis de estos emplazamientos para determinar sus principales conflictos que afectan el funcionamiento de la circulación de los flujos a



partir del comportamiento de las corrientes vehiculares que caracterizan las vías de la ciudad de los parques.

De acuerdo a todos los puntos analizados en este capítulo se puede arribar a las siguientes conclusiones parciales.

### **Conclusiones parciales**

- En los análisis de capacidad y niveles de servicio en intersecciones no semaforizadas los dos factores que más inciden son la brecha y el tiempo de seguimiento.
- De acuerdo a las revisiones bibliográficas realizadas se pudo constatar que el manual de capacidad de carreteras (HCM) es muy empleado a nivel mundial pero que en el caso de esos valores deben ser ajustados a la localidad donde se desarrollen las evaluaciones de los niveles operacionales de intersecciones no semaforizadas pues los mismos dependen del factor humano.
- Existen métodos para la determinación de estos factores ya sea por el método en forma conjunta propuesto Siegloch utilizando técnicas de regresión, o por separado como Troutbeck, empleando métodos probabilísticos como el método de Máxima Verosimilitud siendo este último el que se empleará en la investigación pues no necesariamente necesita que la vía se encuentre sobresaturada.
- En las investigaciones realizadas hasta el momento no se consideran las características que tiene el territorio holguinero, de tener presencia de transporte de marcha lenta (por tracción animal) por tanto todavía sigue siendo una deficiencia para los resultados de los análisis obtenidos en la localidad.





## **Capítulo 2. Incidencia de los medios de transporte de tracción animal en los parámetros de brecha y tiempo de seguimiento en intersecciones no semaforizadas de la ciudad de Holguín**

En este capítulo se realiza una descripción del procedimiento a seguir para la determinación de los valores de brecha crítica en intersecciones no semaforizadas de la ciudad de Holguín. Procedimiento que fue establecido por (Soler, 2018) para la determinación de los parámetros analizar en esta investigación. En el primer epígrafe se plantea el procedimiento del estudio teórico experimental. Los siguientes se dedican a explicar cada paso establecido en el procedimiento y por último se demuestra la incidencia de los medios de transporte de tracción animal en los parámetros de brecha y tiempo de seguimiento en intersecciones no semaforizadas de la ciudad de Holguín.

### **2.1 Pasos para la determinación de las brechas críticas base en intersecciones controladas por señales de PARE.**

Para obtener los valores de brecha crítica aceptados por los conductores en intersecciones no semaforizadas de la ciudad de Holguín es necesario realizar un algoritmo de trabajo que permita lograr el objetivo de esta investigación. A partir del conocimiento de los parámetros que intervienen en las corrientes vehiculares y su interrelación se definen los estudios que son necesarios realizar acorde al alcance que se traza en este trabajo. De manera tal que se logra establecer una secuencias de pasos en el que se incluyen diferentes estudios a realizar en el terreno, que con posterioridad se procesan, analizan y comparan de manera que se pueda validar los resultados a obtener.

A partir del estudio realizado de la información científico- técnica se propone el procedimiento para determinar los valores de intervalos de tiempos que inciden en los niveles de operación del tránsito en intersecciones no semaforizadas.

Paso 1. Selección de las intersecciones casos de estudio. Para ello se tendrán en cuenta:

- Conflictos que se generan
- Volumen en la hora de máxima demanda
- Características geométricas de las intersecciones



Paso 2. Diseño de los estudios de tránsito a realizar

- Estudio de volumen para determinar el volumen horario de máxima demanda (VHMD) para cada acceso de las intersecciones objeto de estudio
- Estudio de velocidad 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 de los tiempos de seguimiento para un tamaño de muestra definido estadísticamente
- Determinación de las demoras promedio de servicio de los vehículos y tiempo promedio de movimiento desde la segunda posición en la cola, parámetros necesarios para determinar la capacidad en el terreno

Paso 3. Procesamiento y análisis estadístico de los resultados

Paso 4. Validación de los resultados

## **2.2 Selección de las intersecciones**

Como se enuncia en el epígrafe anterior para la selección de las intersecciones se tendrán en cuenta que las mismas presenten conflictos en la circulación, fundamentalmente en los accesos secundarios. Los conflictos son el resultado de demoras que se aprecian en el avance de las colas que se generan en los accesos. Las demoras se deben a las aceptaciones o no, por parte de los conductores, de brechas consideradas aceptables para realizar las maniobras deseadas. También se considerarán que sean intersecciones de mayor accidentalidad de acuerdo a los reportes de accidentes emitidos por el Ministerio del Interior (MININT).

Además se considera que sean intersecciones demandadas, teniendo en cuenta inicialmente los resultados de observaciones directas, criterios propios del autor en base a investigaciones precedentes y en la experiencia como conductor.



### **2.2.1 Selección de las intersecciones**

Para la selección de las intersecciones se tuvieron en cuenta los aspectos como: altas demandas, conflictos de accidentalidad (según información brindada por especialista del Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito (CPIT)) y presencias de colas de espera. Respecto a la geometría que presentaran aceras de ancho mínimo de un metro, pendientes longitudinales casi a nivel, además que sean intersecciones que geométricamente sean parecidas. En la tabla 2.1 se presenta un resumen de las intersecciones no semaforizadas que cumplen con la mayoría de los requisitos planteados. Las intersecciones sombreadas son las seleccionadas como casos de estudio, debido a que son las que presentan mayor similitud entre los aspectos señalados. Además como se expuso en el epígrafe 1.5, al ser la ciudad de Holguín, mono céntrica económicamente, conlleva a concentrar mayor cantidad de conflictos en estas vías; conflictos generados por la interacción propia entre las corrientes vehiculares principales y secundarias, más los conflictos generados por los flujos peatonales. Se adiciona además que los anchos de las vías del centro urbano no sobrepasan los seis metros y en su mayoría, ni llegan a esta dimensión. También existe escasez de zonas de estacionamientos fuera de la vía lo que conlleva a que se realicen los mismos en estas calles e incluso aunque tengan señales de prohibición como se podrá apreciar con posterioridad en este capítulo.

Otro punto que se tuvo en cuenta para seleccionarlas es porque las mismas coinciden en que tanto las vías principales como las secundarias son de un solo sentido de circulación. Este aspecto es importante para el estudio de aceptación de brechas, pues solo se tendrán en cuenta las que se generan en un solo sentido lo que facilita hacer una comparación entre los resultados a obtener en cada una de ellas. En el caso de las intersecciones donde las vías principales sean de doble sentido de circulación se tendrían que analizar tanto las brechas que se forman entre vehículos que circulan por un mismo sentido (sea por izquierda o por la derecha) como también las brechas que ocurren entre vehículos que circulan en sentidos diferentes.



**Tabla 2.1 Resumen de intersecciones que cumplen con los requisitos iniciales de preselección y por donde transitan los coches**

Origen	Destino	Intesecciones	Conflictos		Alta Demanda	Condiciones geométricas					Observaciones
			Puntos Negros	Colas		Forma	Acera $\geq 1m$	Visibilidad	Cant.carriles		
									Vp	Vs	
Hospital	Alcides Pino	Ave Cajical-Carlos H		x	x	↖	x	mala	4	2	Obstrucción en la visibilidad
	Piedra Blanca- Baliares	Cuba-Fomento				+	x	regular	2	2	
	Pueblo Nuevo	Vidal pita-calle real			x	⊥	x	regular	2	2	
		Máximo Gómez-Aricochea	x	x	x	+	x	buena	2	2	
		Máximo Gómez-Cable		x	x	+	x	regular	2	2	Obstrucción en la visibilidad
Alcides Pino	Hospital	Máximo Gómez-Garayalde	x	x	x	+	x	buena	2	2	
Alcides Pino Piedra Blanca- Baliares Pueblo Nuevo	Piquera	Cuba -Carbó		x	x	+	x	buena	2	2	Se produce estacionamiento
Hospital	Alcides Pino Piedra Blanca- Baliares Pueblo Nuevo	Cuba -Máximo Gómez	x	x	x	+	x	regular	2	2	
	Hospital	Piedra Blanca- Baliares	Cuba -Morales Lemus	x	x		+	x	buena	2	2
Piedra Blanca	Hospital	Arias- Morales Lemus			x	+	x	regular	2	2	
Piedra Blanca Alcides Pino	Hospital	Arias- Máximo Gómez	x		x	+	x	mala	2	2	Obstrucción de visibilidad
Alcides pino Piedra blanca- baliares pueblo nuevo	Hospital	Arias -Carbó			x	+	x	buena	2	2	

Fuente: elaboración propia



Por la forma geométrica que presenta la intersección de Ave Cajigal-Carlos Hidalgo, ubicada en el reparto Alcides Pino, la visibilidad es más difícil por el ángulo que se forma entre la vía secundaria y principal más que, próximo a la intersección por la principal hay una curva horizontal la cual dificulta la visibilidad del conductor por la posición del vehículo.

En el caso de la intersección de Cuba–Carbó donde llegan todos los coches después de hacer sus respectivas ruta, está establecido que se dirijan a la piquera del hospital. Pero hay muchos conductores de estos medios que no llegan a la piquera, y se quedan detenidos en el tramo de la calle Carbó entre Cuba y Garayalde con el objetivo de cargar pasaje a diferentes rutas según la demanda del personal, infringiendo así, lo que está establecido y por ende provocan colas en esta intersección como se evidencia en la figura 2.1. Se puede señalar además que independientemente que no se hace referencia en la tabla cuando existen estacionamientos en las vías principales que se produzcan en el lado izquierdo puede influir en la visibilidad del conductor que transita por la secundaria.



**Figura 2.1 Presencia de medios de transporte de tracción animal en la calle Carbó entre calle Cuba y Garayalde.**

Información respaldada por Reyes 2020 el cual en su investigación tras una entrevista realizada a los conductores de vehículo automotor expresan que la mayor presencia de estos medios de transporte están en estas intersecciones, con las mismas el

determina cuales son las vías de la ciudad con alto conflicto entre el vehículo automotor - vehículo tracción animal.

- Caracterización de las intersecciones seleccionadas

A continuación se muestran las características geométricas de las ocho intersecciones seleccionadas como casos de estudio. Se aclara que el valor del número de carriles se define por su ancho aunque realmente con respeto al uso de la calzada completa, se comporta como un solo. Esto se debe a que es un comportamiento habitual de los conductores de esta ciudad circular por el centro de la calzada debido al propio ancho que posee la calzada donde en muy pocas ocasiones circulan vehículos uno al lado del otro. Por los estacionamientos que se realizan, sean permitidos o no, y por la presencia de baches que se han generados por trabajos de mantenimiento de las vías donde las tapas de los registros no coinciden con la superficie de la capa de rodadura.

- Caso 1. Intersección calle Máximo Gómez- Cuba

**Tabla 2.2 Características geométricas de la intersección Máximo Gómez –Cuba**

Característica	Acceso	
	Máximo Gómez	Cuba
Ancho de calzada (m)	5.0	5.0
Ancho medio de carril (m)	2.5	2.5
Contenes (m)	0.5	0.5
Acera (m)	1.20	1.60
Pendiente longitudinal %	1.0	0.6
Tipo de pavimento	Flexible	Flexible
Sentido de circulación	1	1
Cantidad de carriles	2	2
Movimientos permitidos	Recto, izquierdo	Recto, derecho
Paradas de ómnibus	Si	No
Estacionamientos	No	No



Fuente: (Soler, Portelles, 2017)

- Caso 2 Intersección Garayalde-Máximo Gómez

**Tabla 2.3 Características geométricas de la intersección Garayalde – Máximo Gómez**

Característica	Acceso	
	Garayalde	Máximo Gómez
Ancho de calzada (m)	4.6	5.0
Ancho medio de carril (m)	2.3	2.5
Contenes (m)	0.5	0.5
Acera (m)	1.17	1.20
Pendiente longitudinal %	-1.03	1.0
Tipo de pavimento	Flexible	Flexible
Sentido de circulación	1	1
Cantidad de carriles	2	2
Movimientos permitidos	Recto, izquierdo	Recto, derecha
Paradas de ómnibus	no	Si
Estacionamientos	si	No



- Caso 3. Intersección Cuba-Carbó

**Tabla 2.4 Características geométricas de la intersección Cuba – Carbó**

Característica	Accesos	
	Cuba	Carbó
Ancho de calzada (m)	5.0	5.0
Ancho medio de carril (m)	2.5	2.5
Contenes (m)	0.5	0.5
Acera (m)	1.60	1.50
Pendiente longitudinal %	0.6	0.8
Tipo de pavimento	Flexible	Flexible
Sentido de circulación	1	1
Cantidad de carriles	2	2
Movimientos permitidos	Recto, derecho	Recto, derecho
Paradas de ómnibus	No	Si
Estacionamientos	No	No



- Caso 4 Intersección Morales Lemus- Cuba

**Tabla 2.5 Características geométricas de la intersección Morales Lemus- Cuba**

Característica	Acceso	
	Morales Lemus	Cuba
Ancho de calzada (m)	5.0	5.0
Ancho medio de carril (m)	2.5	2.5
Contenes (m)	0.5	0.5
Acera (m)	1.00	1.20
Pendiente longitudinal %	1.0	0.6
Tipo de pavimento	Flexible	Flexible
Sentido de circulación	1	1
Cantidad de carriles	2	2
Movimientos permitidos	Recto, derecho	Recto, izquierdo
Paradas de ómnibus	no	si
Estacionamientos	No se permite	No



- Caso 5 Intersección Aricochea -Máximo Gómez

**Tabla 2.6 Características geométricas de la intersección Aricochea- Máximo Gómez**

Característica	Acceso	
	Aricochea	Máximo Gómez
Ancho de calzada (m)	5.0	5.0
Ancho medio de carril (m)	2.5	2.5
Contenes (m)	0.5	0.5
Acera (m)	1.11	1.20
Pendiente longitudinal %	-1.0	1.0
Tipo de pavimento	Flexible	Flexible
Sentido de circulación	1	1
Cantidad de carriles	2	2
Movimientos permitidos	Recto, izquierdo	Recto, derecho
Paradas de ómnibus	No	no
Estacionamientos	No	no





- Caso 6 Intersección Cable -Máximo Gómez

**Tabla 2.7 Características geométricas de la intersección Cable - Máximo Gómez**

Característica	Acceso	
	Cable	Máximo Gómez
Ancho de calzada (m)	4.90	5.00
Ancho medio de carril (m)	2.45	2.5
Contenes (m)	0.5	0.5
Acera (m)	1.18	1.20
Pendiente longitudinal %	-1.20	-1.0
Tipo de pavimento	Flexible	Flexible
Sentido de circulación	1	1
Cantidad de carriles	2	2
Movimientos permitidos	Recto, derecho	Recto, izquierdo
Paradas de ómnibus	no	no
Estacionamientos	no	no



- Caso 7 Intersección Morales Lemus - Arias

**Tabla 2.8 Características geométricas de la intersección Cable - Máximo Gómez**

Característica	Acceso	
	Morales Lemus	Arias
Ancho de calzada (m)	5.0	5.0
Ancho medio de carril (m)	2.5	2.5
Contenes (m)	0.5	0.5
Acera (m)	1.00	1.30
Pendiente longitudinal %	0	0.4
Tipo de pavimento	Flexible	Flexible
Sentido de circulación	1	1
Cantidad de carriles	2	2
Movimientos permitidos	Recto, derecho	Recto, izquierdo
Paradas de ómnibus	no	no
Estacionamientos	No se permite	no



- Caso 8 Intersección Máximo Gómez-Arias

**Tabla 2.9 Características geométricas de la intersección Arias – Máximo Gómez**

Característica	Acceso	
	Máximo Gómez	Arias
Ancho de calzada (m)	5.0	5.0
Ancho medio de carril (m)	2.5	2.5
Contenes (m)	0.5	0.5
Acera (m)	1.20	1.30
Pendiente longitudinal %	0.9	0.4
Tipo de pavimento	Flexible	Flexible
Sentido de circulación	1	1
Cantidad de carriles	2	2
Movimientos permitidos	Recto, derecho	Recto, izquierdo
Paradas de ómnibus	no	no
Estacionamientos	no	no



Fuente: (Soler, Portelles, 2017)

De acuerdo a las características presentadas para cada caso de estudio, es común en todas, que en no se permite el estacionamiento según señales establecidas. Pero estas señales no son respetadas y es muy cotidiano presenciar en cualquier horario del día que se produzcan parqueos. También se puede apreciar, que los anchos de calzada no sobrepasan los 5.0 m. Estas dos condiciones que fundamentalmente reducen la posibilidad de que se puedan formar dos corrientes vehiculares que circulen simultáneamente, por lo que se puede considerar que estas calles se comporten como de un solo carril de ancho 5,0 m, pues los conductores tienden a transitar por la parte central de la calzada como se puede percibir en la figura 2.2



**Figura 2.2 Intersección máximo Gómez – Frexes (Soler, 2018)**

## **2.3 Diseño de los estudios de tránsito**

En este epígrafe se describen los diferentes estudios de tránsito que son necesarios realizar en este trabajo los cuales permiten obtener diferentes informaciones necesarias para el logro del objetivo planteado en esta investigación.

### **2.3.1 Estudio de volúmenes**

Los estudios de volúmenes responden al objetivo por el cual se realiza. En el caso de esta investigación lo que se aspira es determinar los parámetros que inciden en la operación de los flujos vehiculares en intersecciones urbanas controladas por señales de PARE, por tanto es necesario determinar el volumen horario de máxima demanda (VHMD).

Según el Manual de Estudios de Tránsito (SEDESOL), se plantea que para la obtención del VHMD se deben realizar los estudios los días donde las demandas sean constantes. La manera de recolectar los datos depende mucho de la aplicación que se le vaya a dar a los mismos. Algunos estudios requieren detalles como la composición vehicular y los movimientos direccionales, como es el caso de este trabajo, mientras que otros solo exigen conocer los volúmenes totales.

Estos estudios pueden ser realizados mediante aforos manuales, mecánicos, por filmaciones y mediante equipos electrónicos adaptados a computadoras. Se realizan en las horas de máxima demanda los días martes, miércoles y jueves debido a que en estos días el comportamiento del tránsito es normal, durante 2 horas en períodos de 15 minutos y se clasifican los vehículos según sus características. Todo con el fin de obtener la hora de máxima demanda, los volúmenes por tipo de vehículo y el factor horario de máxima demanda.

El factor horario de máxima demanda (FHMD) es un indicador de las características de las distribuciones de los flujos dentro de las horas de máxima demanda. Se determina empleando la expresión 2.1 el cual depende del VHMD expresado en vehículos por hora y de la tasa de flujo máxima alcanzada dentro de la hora de máxima demanda ( $q_{\text{máx.}}$ ) expresada en vehículos por minutos.

$$FHMD = \frac{VHMD}{4q_{m\acute{a}x}} \quad (2.1)$$

Con la obtención de estos valores se podrá proceder a realizar los siguientes estudios los cuales son recomendables realizarlos en la misma hora de máxima demanda en la que se obtienen los VHMD.

- Resultados de los estudios de volúmenes

Se realizaron aforos los días en los que el tránsito se comporta más estable y en los horarios de mayores demandas. Estos conteos se realizaron de forma manual con el empleo del registro que se muestra en el anexo I, y se obtienen como resultado los volúmenes que se encuentran en el anexo II, ambos anexos se pueden ver en el documento adjunto donde se muestran los resultados prácticos de los estudios de tránsito. A manera de resumen se muestran en las tablas desde 2.10 hasta la 2.17 los volúmenes horarios de máxima demanda para cada caso de estudio.

- Caso 1. Intersección calle Máximo Gómez- Cuba

**Tabla 2.10 Volumen horario de máxima demanda**

Acceso	Mov.	Volúmenes por tipo de vehículos							Total del acceso	Total de la intersección
		Camión	Ómnibus	Auto	Moto	Ciclo	Coche	total		
Máximo Gómez	Recto	9	8	269	177	189	85	737	974	1902
	Izquierda	4	2	165	41	21	4	237		
Cuba	Recto	8	13	230	72	121	98	542	928	
	Derecha	12	14	178	84	47	51	386		

- Caso 2 .Intersección Garayalde - Máximo Gómez

**Tabla 2.11 Volumen horario de máxima demanda**

Acceso	Mov.	Volúmenes por tipo de vehículos						total	Total del acceso	Total de la intersección
		Camión	Ómnibus	Auto	Moto	Ciclo	Coche			
Garayalde	Recto	1	2	257	231	72	1	564	1265	2108
	Izquierda	1	0	141	117	18	2	279		
Máximo Gómez	Recto	20	26	448	296	240	132	1162	843	
	Derecha	0	0	20	48	35	0	103		

- Caso 3 .Intersección Cuba-Carbó

**Tabla 2.12 Volumen horario de máxima demanda**

Acceso	Mov.	Volúmenes por tipo de vehículos						total	Total del Acceso	Total de la intersección
		Camión	Ómnibus	Auto	Moto	Ciclo	Coche			
Cuba	Recto	14	15	260	156	242	0	687	1045	1694
	Izquierda	11	3	182	85	77	0	358		
Carbó	Recto	3	2	98	65	103	88	359	649	
	Derecha	1	6	106	89	30	58	290		

- Caso 4 .Intersección Morales Lemus- Cuba

**Tabla 2.13 Volumen horario de máxima demanda**

Acceso	Mov.	Volúmenes por tipo de vehículo						total	Total del acceso	Total de la intersección
		Camión	Ómnibus	Auto	Moto	Ciclo	Coche			
Morales Lemus	Recto	21	12	479	297	311	0	1120	1345	2014
	Derecha	3	1	92	81	48	0	225		
Cuba	Recto	8	4	238	44	96	34	424	669	
	Izquierda	4	1	113	74	53	0	245		

- Caso 5 .Intersección Aricochea- Máximo Gómez

**Tabla 2.14 Volumen horario de máxima demanda**

Accesos	Mov.	Volúmenes por tipo de vehículos							total	Total del acceso	Total de la intersección
		Camión	Ómnibus	Auto	Moto	Ciclo	Coche				
Aricochea	Recto	30	51	548	443	110	27	1209	1291	2498	
	Izquierda	2	0	20	27	33	0	82			
Máximo Gómez	Recto	10	9	431	259	200	50	959	1207		
	Derecha	4	2	106	109	27	0	248			

- Caso 6 .Intersección Cable- Máximo Gómez

**Tabla 2.15 Volumen horario de máxima demanda**

Accesos	Movimientos	Volúmenes por tipo de vehículos							total	Total del Acceso	Total de la intersección
		Camión	Ómnibus	Auto	Moto	Ciclo	Coche				
Cable	Recto	42	26	389	271	118	62	908	1059	2422	
	Derecha	4	3	55	54	35	0	151			
Máximo Gómez	Recto	16	9	493	312	254	48	1132	1363		
	Izquierda	4	2	89	109	27	0	231			

- Caso 7 .Intersección Morales Lemus- Arias

**Tabla 2.16 Volumen horario de máxima demanda**

Accesos	Mov	Volúmenes por tipo de vehículos							total	Total del Acceso	Total de la intersección
		Camión	Ómnibus	Auto	Moto	Ciclo	Coche				
Morales Lemus	Recto	18	13	449	256	295	0	1031	1272	2210	
	Izquierda	1	0	65	97	78	0	241			
Arias	Recto	21	14	276	282	187	39	819	938		
	Derecha	4	1	39	35	40	0	119			

- Caso 8 .Intersección Máximo Gómez- Arias

**Tabla 2.17 Volumen horario de máxima demanda**

Accesos	Mov.	Volúmenes por tipo de vehículos							Total del Acceso	Total de la intersección
		Camión	Ómnibus	Auto	Moto	Ciclo	Coche	total		
Máximo Gómez	Recto	18	21	531	260	116	93	1039	1224	2067
	Derecha	4	0	40	31	75	35	185		
Arias	Recto	4	3	225	153	95	63	543	843	
	Izquierda	4	3	120	156	15	2	300		

Como se puede apreciar de acuerdo a las tablas mostradas existe una diversidad de medios de transporte que comparten el mismo espacio. Condición que interfiere en la movilidad, pues las velocidades de ciclos y coches afectan a los demás tipos de vehículos aspecto que se va a tratar en el siguiente subepígrafe.

### 2.3.2 Estudio de velocidad

Los estudios de velocidad requieren de un tamaño de muestra adecuado para satisfacer consideraciones estadísticas. La siguiente ecuación puede ser usada para calcular el número de velocidades a ser medidas según se plantea en el Manual (SEDESOL).

$$N = \left( \frac{SK^2}{E} \right) \quad (2.2)$$

Donde:

N: tamaño mínimo de la muestra

S: desviación estándar estimada de la muestra (km/h). Para vías urbanas de dos carriles es de 7.7 km/h

K: constante que corresponden al nivel de confianza deseado tabla 2.13

E: error permitido en el estimado de la velocidad (km/h). Depende del instrumento para realizar las mediciones.

**Tabla 2.18 Constantes correspondientes al nivel de confianza**

Constante (K)	1.0	1.5	1.64	1.96	2.0	2.5	2.58	3.0
Nivel de confianza (%)	68.3	86.6	90.0	95.0	95.5	98.8	99.0	99.7

- Resultados del estudio de velocidad

El estudio de velocidad se realizó de manera manual. La distancia entre los aforadores fue en dependencia del tiempo de cruce por tipo de vehículos de la vía secundaria y la velocidad de aproximación de los autos de la vía principal. El tamaño de la muestra obtenida de acuerdo a la expresión 2.2 es de 30 vehículos, pero a consideración de la autora se decidió aumentar la muestra a 100 vehículos. Las mediciones se realizaron en los horarios de máxima demanda. A continuación, se presenta la tabla 2.19 en la que se muestra un resumen de las velocidades promedio obtenidas en cada una de las intersecciones casos de estudio

**Tabla 2.19 Velocidades promedio obtenidas en las intersecciones casos de estudio.**

Intersección	Acceso	Velocidad promedio(km/h)
Cuba - Máximo Gómez	Máximo Gómez	33.49
	Cuba	25.11
Máximo Gómez-Garayalde	Máximo Gómez	25.30
	Garayalde	36.00
Cuba-Carbó	Cuba	28.00
	Carbó	24.00
Cuba -Morales Lemus	Cuba	37.30
	Morales Lemus	32.19
Máximo Gómez-Aricochea	Máximo Gómez	39.50
	Aricochea	46.50
Máximo Gómez-Cable	Máximo Gómez	31.00
	Cable	47.00
Arias-Morales Lemus	Arias	35.00
	Morales Lemus	42.00
Arias-Máximo Gómez	Máximo Gómez	30.10
	Arias	31.33



Como se puede apreciar las velocidades no exceden la máxima establecida en la Código de Seguridad Vial (Ley 109, 2010) que es de 50km/h, para zonas urbanas. Pero es de resaltar que existen velocidades muy bajas, como en el caso de las calles Carbó y Máximo Gómez (Garayalde). En el caso de la primera que se señala, el resultado se debe a que en esta vía, como se puede apreciar en la tabla 2.13, existe un alto volumen de coches y ciclos, los cuales son medios de transporte de marcha lenta (figura 2.3). Si se le adiciona a esta condición prevaleciente los estacionamientos que se producen, a pesar de no estar permitidos, es inevitable que las velocidades sean bajas como las que se muestran en la tabla debido a que los conductores no tienen otra opción que disminuir su velocidad y ajustarla a la que impone estos medios de transporte.



**Figura 2.3 Presencia de vehículos de marcha lenta (ciclos y coches) en la calle Carbó**

En el caso de la calle máximo Gómez (Garayalde) es muy similar con la diferencia de que existe una parada de ómnibus antes la llegada a la intersección la cual implica reducir la velocidad al ser una vía con alto flujo vehicular. Además se producen estacionamientos, a pesar de estar establecida la señal de prohibición de parqueo como se puede apreciar en la figura 2.4.



**Figura 2.4 Estacionamientos en la calle Máximo Gómez**

### **2.3.3 Estudio de brecha**

Como se hizo referencia anteriormente, el valor de la brecha crítica depende del actuar 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 corriente principal. Para conocer el valor crítico es necesario realizar mediciones en las intersecciones, donde mediante un procesamiento estadístico se pueda encontrar el rango donde mayor número de conductores muestreados hayan aceptado. Siendo 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 ha decidido realizar el estudio para determinar la brecha crítica mediante el método estadístico intencional por cuotas.

En este método el valor mínimo del tamaño de la muestra que debe cumplir con las condiciones planteadas por el investigador, no debe ser menor de 100. Por lo que se puede establecer una población mayor en la que permita excluir los resultados que no cumplen con las condiciones establecidas. Luego se establecen los rangos, los cuales incluyen los valores mínimos y máximos registrados dentro de la muestra seleccionada de acuerdo a los parámetros definidos inicialmente para el estudio. Posteriormente se

**ANÁLISIS DE BRECHAS CRÍTICAS Y TIEMPO DE SEGUIMIENTO EN INTERSECCIONES NO SEMAFORIZADAS, CON TRANSPORTE DE TRACCIÓN ANIMAL EN LA CIUDAD DE HOLGUÍN**

calculan las frecuencias absolutas y relativas con respecto a la muestra total. El valor de la brecha crítica será la media de los resultados obtenidos en el rango de mayor frecuencia pues es en ese rango donde se concentran la mayor cantidad de conductores muestreados que se comportan con características similares.

Para aplicar este método en la investigación inicialmente se debe:

1. Determinar el tiempo promedio empleado por los conductores de las vías secundarias, para realizar las diferentes maniobras permitidas en las intersecciones donde se realicen los estudios. Estos tiempos se determinarán por separado para cada medio de transporte. Este valor promedio se puede considerar como el mínimo de referencia posible a aceptar por los conductores.
2. Determinar la velocidad promedio de circulación de los vehículos de la vía principal.
3. Con ambos valores se podrá determinar la distancia sobre la vía principal la que se tomará como referencia para hacer las mediciones de brechas aceptadas y rechazadas por los conductores de la vía secundaria.
4. Determinar el valor máximo aceptado por la mayoría de los conductores valor que estará en función de las condiciones imperantes en la vía que dificulten la aceptación de brechas menores como por ejemplo obstrucción de la visibilidad por estacionamientos sobre la vía. Estas mediciones de tiempos se realizarán para cada medio de transporte y cada maniobra que realicen los conductores.
5. Luego de determinar las condiciones del investigador para poder aplicar el método estadístico de muestras intencional, se procede a realizar las mediciones en las intersecciones de aceptación o no de brechas mediante un registro de campo.
6. Luego de obtenido todas las mediciones se descartan aquellos valores aceptados que no cumplen con las condiciones establecidas. En el caso de brechas aceptadas por debajo de la mínima que se seleccionó como referencia, se rechazan debido a que son tiempos que tienden a incidir en los conductores de la

vía principal (reducción de velocidad) y también se descartarán aquellas brechas muy alejadas del mayor valor establecido puesto que generalmente indican que los conductores están distraídos.

7. Posteriormente se establecen los rangos, se determinan las frecuencias absolutas y relativas y se determina la media de la brecha para la clase de intervalo donde se obtengan las mayores frecuencias.

Es válido aclarar que todas las mediciones se deben realizar en los horarios picos del día, pues es el horario donde mayor relación existe entre los parámetros que caracterizan cada corriente. En el caso particular de esta investigación es donde las brechas tienden a influir más en la eficiencia de la circulación de las vías secundarias de intersecciones controladas por señales de PARE.

- Resultados de los estudios de brechas

Como se hace alusión anteriormente, este método de muestreo intencional requiere de condiciones que establece el investigador. En este caso se definen los límites mínimos y máximos de las brechas que pueden ser aceptadas por los conductores. Estos valores se establecieron de acuerdo a los resultados de mediciones realizadas. Para el valor mínimo se determinó el tiempo que requieren los conductores de las vías secundarias en cruzar la vía principal. Estas mediciones se realizaron en horarios que no se corresponden con la hora pico, se tuvo en cuenta que no existieran estacionamientos sobre la vía principal de manera que no se obstaculizara la visibilidad. Cumpliendo con estos aspectos, se realizó el estudio obteniéndose como resultado promedio los valores que se presentan en la tabla 2.20.

**Tabla 2.20 Tiempos promedios para el cruce por tipos de vehículos en intersecciones casos de estudios sin presencia de estacionamientos.**

Accesos	Tiempos de cruce por tipos de vehículos (segundos)			
	Auto	Veh. Pes.	Motos	Coches
Cuba (MG)	3.00	4.80	1.85	6.04
Cuba (ML)	2.80	4.35	1.80	4.22
Máximo G(Garayalde)	2.75	4.40	1.50	4.29
Máximo G(Aricochea)	2.50	4.50	2.00	4.10
Máximo G(Cable)	2.50	4.4	1.90	4.73
Arias (ML)	2.70	4.31	1.80	3.89
Arias (MG)	2.65	4.3	1.90	4.20
Carbó(Cuba)	2.70	4.55	1.90	4.68
Promedio	2.70	4.45	1.83	4.52

Con respecto a los tiempos máximos, se tuvo en cuenta que existieran estacionamientos que obstaculizaran la visibilidad de los conductores, obteniéndose los resultados que se exponen en la tabla 2.21. Solo se consideraron las calles que se muestran pues, en las otras vías, los estacionamientos no interfieren en la visibilidad.

**Tabla 2.21 Tiempos promedios para el cruce por tipos de vehículos en intersecciones casos de estudios con presencia de estacionamientos.**

Accesos	Tiempos por tipos de vehículos (segundos)		
	Auto	VP	coches
Carbó	4.80	6.25	7.25
Arias(MG)	4.39	5.37	7.05
Máximo G.(Cables)	4.50	6.21	7.38
Promedio	4.56	5.94	7.23

Los resultados antes mostrados en la tabla 2.21 demuestran que los valores de tiempo de cruce para las motos son muy bajos, los cuales solo pueden ser aceptados por los conductores de ese medio de transporte, no así para los restantes vehículos, pues emplearlas realmente conlleva a un posible accidente. Por tanto esos tiempos no se tendrán en consideración para la determinación de las brechas críticas.

El valor mínimo a considerar entre las muestras el de 2.50 s (tiempo medido entre los mínimos empleados por los autos ligeros para cruzar las vías), valor que emplean los autos ligeros así como los vehículos pesados, a pesar de que estos últimos su volumen es bajo dentro de los VHMD de cada intersección. Como valor máximo que se obtuvo fue de 7.38 s, (tiempo medido entre los máximos empleados por los coches para cruzar las vías). Establecida esta condición se procede a la determinación de las brechas críticas para cada caso de estudio.

#### **2.4 Procesamiento y análisis de los resultados de los estudios de brechas**

Los estudios de aceptación de brechas se realizaron en los horarios de máxima demanda. En el anexo III, del documento adjunto donde se muestran los resultados prácticos de los Estudios de tránsito, se pueden apreciar los tiempos aceptados por los conductores de los medios de tracción animal para un tamaño de muestra mínimo de 100 conductores de este medio de transporte. Además se puede apreciar los rangos de mayor frecuencia de aceptación, lo cual permite establecer el valor promedio aceptado en cada caso de estudio. Posteriormente se procesan los datos que estuvieran en los límites establecidos con una plantilla de cálculo, con la que se pudo determinar los valores de brechas críticas aceptadas por los conductores de los coches.

El análisis de los resultados de los estudios se basa en la comparación entre los valores obtenidos en cada intersección caso de estudio para comprobar la similitud entre los comportamientos de los conductores en la aceptación de brechas críticas. Una vez realizada la comparación se establecerá el valor crítico base teniendo en cuenta las condiciones prevalecientes en la ciudad de Holguín. En la siguiente tabla se muestra los valores de brecha en cada uno de los casos de estudio teniendo en cuenta los autos, los vehículos pesados y los coches, en el caso de las intersecciones Máximo Gómez-Cuba como Máximo Gómez-Arias fueron analizados tras los resultados obtenidos por (Soler, 2018). Las otras intersecciones del caso de estudio se determinaron en el terreno.

**Tabla 2.22 Brechas críticas aceptadas en cada caso de estudio**

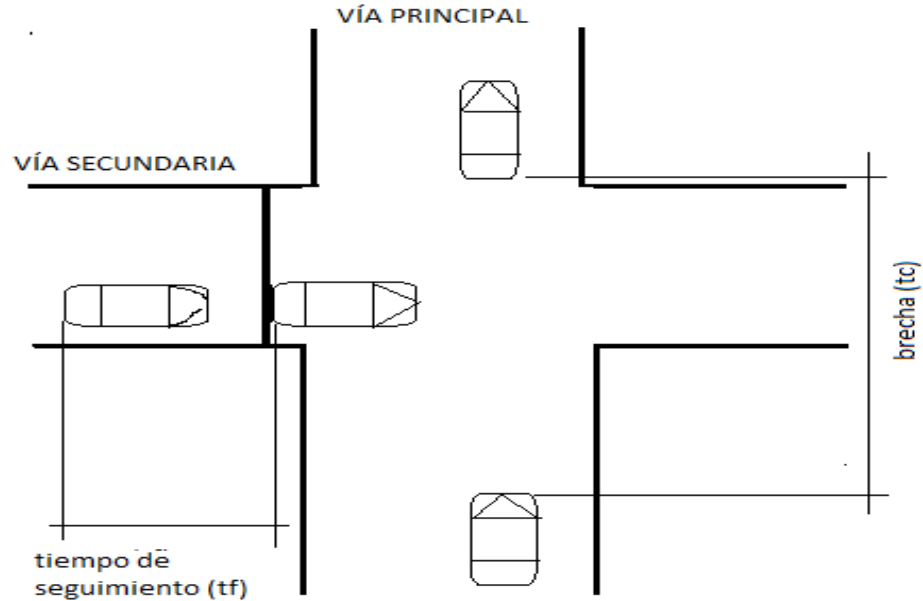
Acceso	Brechas críticas aceptadas (tc) [s]			
	Autos	Veh. Pes.	Coches	Total
Cuba (MG)	3.13	5.70	6.06	4.96
Cuba (ML)	3.50	5.25	4.37	4.37
Máximo G(Garayalde)	3.24	5.30	4.80	4.45
Máximo G(Aricochea)	3.60	5.40	4.40	4.46
Máximo G(Cable)	3.50	5.40	4.85	4.58
Arias (ML)	3.50	5.50	4.25	4.42
Arias (MG)	3.42	5.30	5.03	4.58
Carbó(Cuba)	3.30	5.45	5.05	4.60
Promedio	3.4	5.41	4.85	
Promedio total				4.55

Fuente: elaboración propia. (MG): Máximo Gómez, (ML): Morales Lemus

Estos resultados se deben a que no se tuvieron en cuenta las brechas aceptadas por los motoristas, pues como se explicó con anterioridad, los tiempos que ellos aceptan ocasionarían accidentes, para los restantes conductores de otros medios de transporte si lo aceptasen. Por los valores obtenidos y al tener en cuenta la similitud en los comportamientos de los conductores, las características de la intersección, la obstrucción de la visibilidad, entre otros aspectos que se han mencionado con anterioridad, se define que el valor de brecha crítica aceptada por los conductores de estos medios de transporte en la ciudad de Holguín, es de 4.55seg. Lo que demuestra que existe un incremento de 1.15seg al considerar los vehículos pesados y los coches con relación a los autos.

## 2.5 Estudio del tiempo de seguimiento

En este estudio se toman los tiempos de que dos vehículos de la vía secundaria acepten un mismo tiempo de brecha establecida por los conductores de la vía principal. Se toma el tiempo desde que la parte trasera del primer vehículo cruce la línea de pare hasta que la misma parte del segundo vehículo pase por esa misma línea, ambos aprovechando un mismo tiempo de brecha. (Figura 2.5)



**Figura 2.5 Representación del tiempo de seguimiento y brechas.**  
 Fuente: Soler, E. (2018)

Al igual que para las brechas, este tiempo de seguimiento se debe obtener mediante mediciones en el terreno para un tamaño de muestra. Se determina el tiempo de seguimiento como la media de los resultados obtenidos. (Ver en el documento adjunto donde se muestran los resultados prácticos de los estudios de tránsito, anexo IV) A continuación en la tabla 2.23 se muestran los valores alcanzados en el terreno para cada caso de estudio.



**Tabla 2.23 Resultados de los tiempos de seguimiento promedios en las intersecciones casos de estudio**

Accesos	Tiempos de seguimientos por accesos (tf) [s]							
	Cuba (MG)	Cuba (ML)	Máximo G (Garayalde)	Máximo G (Aricochea)	Máximo G (Cable)	Arias (ML)	Arias (MG)	Carbó (Cuba)
Promedio (autos)	3.88	3.22	3.34	3.55	3.28	3.17	3.58	3.05
Promedio (autos + VP)	4.20	3.35	3.42	3.67	3.6	3.32	4.01	3.28
Promedio (autos+VP+coches)	5.64	4.44	5.29	4.69	4.68	5.09	5.07	5.24
promedio total (autos)	3.38							
promedio total (autos+VP)	3.61							
promedio total (autos+VP+coches)	5.02							

Fuente: elaboración propia

Como se aprecia en la tabla, se muestran los promedios de los tiempos de seguimiento al considerar los autos ligeros solamente, la combinación de estos con vehículos pesados (VP) y por último la combinación de los dos anteriores más los medios de transporte por tracción animal. Como se percibe existe una diferencia de 1.64seg., entre la última combinación y los autos, lo que infiere demora en la cola de espera que se producen en la vía secundaria para ocupar la primera posición en la misma, para proceder posteriormente al cruce o ingreso de la vía principal.

### 2.5.1 Estudio de demora

El estudio de demora permite evaluar el nivel de servicio a que opera la vía y también con estos estudios se puede determinar la capacidad de la vía secundaria en el terreno ( $C_m$ ) de acuerdo a la expresión (1.10).

Para el cual hay que determinar la demora promedio de servicio de los vehículos ( $t_s$ ), una vez que llegan a la línea de pare y el tiempo promedio de movimiento ( $t_{mv}$ ), medido desde la segunda posición hasta la línea de pare.

La demora de servicio se mide para un período específico y se promedia para todos los vehículos de la calle secundaria que pasaron la intersección durante ese período.

Esta demora es la duración desde que llega el vehículo a la primera posición de la cola, es decir desde que está en la línea de pare, hasta que logra ingresar o cruzar la corriente principal. Estas mediciones no requieren de una cola continua no así el tiempo promedio de movimiento que requiere por lo menos dos vehículos en cola. Este tiempo es aquel que transcurre desde que el vehículo en la segunda posición de la cola ocupa la posición del primero una vez que este se retira del acceso secundario. En la tabla 2.24 se muestran los resultados de los tiempos de demora en los accesos secundarios de las intersecciones de estudio, que dependen de las demora por servicios  $t_s$  y el tiempo promedio por movimiento  $t_{mv}$ . Ambos resultados se pueden ver en el documento adjunto donde se muestran los resultados prácticos de los estudios de tránsito, anexo V.

**Tabla 2.24 Resultado de los tiempos de demora total de los accesos secundarios de las intersecciones objetos de estudio.**

Accesos	Cuba (MG)	Cuba (ML)	Máximo G (Garayalde)	Máximo G (Aricochea)	Máximo G (Cable)	Arias (ML)	Arias (MG)	Carbó (Cuba)
$t_s$ [s]	32.23	22.03	33.67	29.54	28.78	31.33	32.00	31.46
$t_{mv}$ [s]	5.04	3.51	5.19	3.98	3.65	4.47	4.06	4.34
Demora total	37.27	25.54	38.86	33.52	32.43	35.80	36.06	35.80
NS	E	D	E	D	D	E	E	E

Fuente: elaboración propia

La obtención de estas demoras permite tanto conocer la capacidad en el terreno de las vías secundarias así como los niveles de servicio a los que operan estas vías los cuales de acuerdo a los resultados no son favorables pues las demoras de descargas superan los 15,0 seg., lo que representa que existen períodos de congestionamiento dentro de la hora de máxima demanda. También se percibe que en intersecciones donde hay mayor presencia de medios de transporte por tracción animal, los niveles de servicios (NS) son más desfavorables, es decir, NS (E) (anexo I), lo que conlleva a la disminución de la capacidad del uso del espacio común en la intersección.

**ANÁLISIS DE BRECHAS CRÍTICAS Y TIEMPO DE SEGUIMIENTO EN INTERSECCIONES NO SEMAFORIZADAS, CON TRANSPORTE DE TRACCIÓN ANIMAL EN LA CIUDAD DE HOLGUÍN**

Para una mejor ejemplificación de lo antes expuesto se establece en la tabla 2.25 una comparación entre los resultados obtenidos por Soler (2018) que donde no considera los medios de tracción animal, y los que se obtienen en esta investigación en dos de los casos de estudio en común en ambos trabajos.

**Tabla 2.25 Comparación de los resultados obtenidos en esta investigación con los de Soler (2018)**

Accesos	Cuba		Arias	
	Soler (2018)	Gómez (2021)	Soler (2018)	Gómez (2021)
$t_s$ [s]	15.8	32.23	12.43	32.00
$t_{mv}$ [s]	4.53	5.04	3.14	4.06
Demora total	20.33	37.27	15.57	36.06
NS	C	E	C	E

Como se puede apreciar existe una gran diferencia en los niveles de operación del tránsito que demuestra la incidencia negativa que generan los medios de tracción por tracción animal en las vías con alto flujo vehicular que poseen características como las presentes en la ciudad de Holguín.

## **2.6 Comparación entre las brechas críticas teóricas empleando las especificaciones del HCM 2010 y las prácticas obtenidas en el terreno**

Para poder establecer la comparación es necesario determinar los valores teóricos de las brechas críticas. Para ello se emplea la expresión 1.16 planteada en la metodología del HCM (2010) con la sustitución a los resultados obtenidos de los aforos de cada caso de estudio. Una vez determinados los valores teóricos, se procede a la comparación con los prácticos, de manera que permita comprobar si es adecuado o no emplear los valores foráneos para los análisis de evaluación de operación del flujo vehicular en las intersecciones de la ciudad de Holguín.

### 2.6.1 Determinación de la brecha crítica y tiempo de seguimiento teóricos mediante el uso de la metodología del HCM 2010

Con la información obtenida en el terreno para cada caso de estudio, relativo a las pendientes y porcentaje de vehículos pesados, se procede a calcular los parámetros de brechas teóricas con el uso de la ecuación 1.16 y los datos incluidos en las tablas (1.3) y las tablas de la (2.2 a la 2.9). Es válido destacar que para las características que poseen las intersecciones casos de estudio y según las especificaciones que se exponen en la metodología del HCM el parámetro  $t_{c,L}$  (correspondiente al factor de ajuste por movimiento a enfrentarse) será igual a cero, pues como se especifica en la metodología, cuando los movimientos de las vías secundarias se enfrentan a los movimientos conflictivos de una vía principal de un sentido este factor toma este valor. El mismo resultado adopta el factor de ajuste por geometría, donde se plantea que para intersecciones diferentes de una en T, el valor es de cero.

A continuación se muestra la tabla 2.26 donde se plasman los valores de brecha crítica teórica, a partir del empleo de la ecuación 1.16 y las prácticas alcanzadas en las mediciones en el terreno para cada caso de estudio.

**Tabla 2.26 Brecha teórica y práctica para cada caso de estudio.**

Accesos	Brecha teórica para el movimiento recto					Brecha crítica en el terreno	
	Variables					$t_{c,t(s)}$	$t_{c,p(s)}$
$t_{c,base(s)}$	$t_{c,HV(s)}$	$P_{HV}$	$t_{c,G(s)}$	$G(m/m)$			
Cuba (MG)	6.5	1	0.051	0.2	0.006	6.53	4.96
Cuba (ML)	6.5	1	0.025	0.2	0.01	6.56	4.37
Máximo G(Garayalde)	6.5	1	0.055	0.2	0.008	6.52	4.45
Máximo G(Aricochea)	6.5	1	0.021	0.2	0.006	6.52	4.46
Máximo G(Cable)	6.5	1	0.023	0.2	0.01	6.55	4.58
Arias (ML)	6.5	1	0.043	0.2	0.01	6.52	4.42
Arias (MG)	6.5	1	0.016	0.2	0.004	6.52	4.58
Carbó(Cuba)	6.5	1	0.018	0.2	0.004	6.50	4.6
Promedio						6.53	4.55

Fuente: elaboración propia

Como se percibe, los valores difieren, esto se debe a que en el Manual de Carreteras el valor mínimo de carriles que se estable es de dos. Sin embargo a pesar de que las vías que se analizan en esta investigación poseen un ancho de calzada en el que se pudieran producir dos corrientes vehiculares con un ancho de carril mínimo (2,50 m), en la realidad práctica los conductores circulan como si sólo existiera una corriente vehicular por los motivos antes expuestos.

Para el tiempo de seguimiento se procede de manera similar al estudio anterior, es decir, se establece una comparación entre los valores teóricos, mediante el uso de la ecuación 1.17 y los alcanzados de las mediciones en el terreno. En la tabla 2.27 se muestran los resultados para cada caso de estudio.

**Tabla 2.27 Tiempos de seguimiento teóricos y prácticos para cada caso de estudio.**

Accesos	Tiempos de seguimiento teóricos			Tiempo de seguimiento en el terreno	
	Variables			$t_{f,t}(s)$	$t_{f,p}(s)$
	$t_{f,base}(s)$	$t_{f,HV}(s)$	$P_{HV}$		
Cuba (MG)	4	0.9	0.051	4.05	5.64
Cuba (ML)	4	0.9	0.025	4.02	4.44
Máximo G. (Garayalde)	4	0.9	0.055	4.05	5.29
Máximo G(Aricochea)	4	0.9	0.021	4.02	4.69
Máximo G(Cable)	4	0.9	0.023	4.02	4.68
Arias (ML)	4	0.9	0.043	4.04	5.09
Arias (MG)	4	0.9	0.016	4.01	5.07
Carbó(Cuba)	4	0.9	0.018	4.02	5.24
Promedio				4.03	5.02

Fuente: elaboración propia

Como se puede apreciar los valores de tiempo de seguimiento teóricos también difieren de los prácticos y su diferencia es de 0.99 seg.

## 2.7 Comparación de las brechas críticas bases y tiempos de seguimiento obtenidos en Colombia y Holguín con las planteadas en el HCM (2010)

Este acápite se dedica a establecer una comparación de los parámetros brecha y tiempo de seguimiento con otras investigaciones donde también evalúan la aceptabilidad de intervalos de brechas para intersecciones con características similares a las que se tratan en este trabajo. Se presentan también los que se adquieren en esta investigación y las que establece la metodología de análisis de intersecciones controladas por señal de PARE ofrecidas en el HCM (2010).

**Tabla 2.28 Resultados obtenidos de brechas teóricas en Colombia y Holguín con el empleo del HCM y los valores prácticos de mediciones en el terreno.**

Mediciones	Valores de brechas críticas $t_c$			
	Medellín (Colombia)	Holguín (Soler, 2018) (Cuba)	Holguín (Gómez,2021) (Cuba)	HCM (2010) (EE.UU)
Práctico	5.7	3.4	4.55	6.5
Teórico	6.6	6.54	6.53	

Como se puede apreciar, los resultados tanto de Colombia como en la investigación de Soler (2018), en ambos casos sólo consideran autos y se perciben que tienen gran diferencia, lo que demuestra que los comportamientos de los conductores en cada región difieren bastante. En el caso de Soler, los valores son más bajos, lo que permite deducir que los conductores tienden a ser más osados que los de Colombia y los de Estados Unidos. Conducta que refleja la falta de conciencia y de educación vial existente en la región donde se enmarca este trabajo y que conlleva a los altos índices de accidentalidad que cada año son reportados por el MININT.

Si se comparan dos intersecciones que son comunes tanto por Soler (2018) y esta investigación, se puede percibir que a pesar de ser en la misma localidad difieren. Al considerar los medios de transporte de tracción animal se ve que en estas intersecciones, caso de estudio, existe una afectación por estos medios de transporte

pues aumentan los valores de brecha en un aproximado de 1.50 seg, en el caso de tiempo de seguimiento difieren en 1.25 seg como se percibe en la tabla 2.29

**Tabla 2.29 Comparación de parámetros brechas y tiempo de seguimiento**

Intersección	Soler (2018)		Gómez (2021)	
	Brecha	Tiempo de seguimiento	Brecha	Tiempo de seguimiento
Cuba(MG)	3.13	4.21	4.96	5.64
Arias(MG)	3.42	4.00	4.58	5.07

## 2.8 Incidencia de las brechas críticas y tiempos de seguimientos en la capacidad de la vía

Este epígrafe se dedica a demostrar la incidencia de los valores de brechas y tiempos de seguimiento en la capacidad de los accesos secundarios en una intersección no semaforizada. Además de comprobar si es adecuado o no el empleo de valores de investigaciones foráneas como los que brinda el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM, 2010).

Para determinar los valores de la capacidad potencial para cada caso de estudio, se emplean los valores de brechas críticas y tiempo de seguimiento (teóricos y prácticos) planteados en las tablas 2.26 y 2.27. Con respecto al parámetro de volumen conflictivo de la vía principal ( $V_c$ ), el mismo se obtiene a partir de lo establecido en el anexo VI, del documento adjunto de los estudios de tránsito. A continuación se presentan los resultados de la capacidad potencial de cada caso de estudio (tablas de la 2.30 a 2.38).

**Tabla 2.30 Capacidad potencial teórica y práctica. Caso 1 Máximo Gómez-Cuba**

Mediciones	Valores de brechas críticas $t_c$	
	Valores del HCM	Valores práctico
$t_c$	6.53	4.96
$t_f$	4.05	5.64
$V_c$	1211	1211
$C_p$	181	269

Como se puede observar la capacidad potencial obtenida con los resultados de las mediciones in situ en la intersección arroja mayor resultado que la que se obtiene con los valores teóricos del Manual. Esto es válido debido a que los valores del manual están establecidos para vías principales con dos carriles, es decir que presentan dos corrientes vehiculares (condición mínima que establece). Sin embargo como se expuso en las características geométricas de la vía, el ancho de calzada no excede de 5.0 m, además la ciudad se caracteriza por no tener espacio para el estacionamiento fuera de la vía. Todo esto conlleva que con los conductores circulen en una sola corriente vehicular. Es por ello que el resultado de las brechas y tiempo de seguimiento son inferiores a los presentados en el Manual.

Para establecer una comparación con características similares a lo que propone el manual, se parte del presupuesto teórico:

Si para cruzar la vía en el movimiento recto en el manual se establece, para dos carriles, un tiempo de brecha crítica de 6.5 s y un tiempo de seguimiento de 4.0 s, entonces para la mitad de la distancia a recorrer se necesita la mitad de los tiempos, puesto que los conductores de la vía secundaria ya no tendrá que enfrentarse a dos corrientes vehiculares sino a una.

De acuerdo a lo planteado, se asume para establecer una nueva comparación, la mitad de los valores teóricos (brechas críticas y tiempo de seguimiento) planteados en el manual, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 2.31 Capacidad potencial teórica (modificado) y práctico.  
Caso 1 Máximo Gómez-Cuba**

<b>Mediciones</b>	<b>Valores de brechas críticas <math>t_c</math></b>	
	Valores del HCM(modificados)	Valores obtenidos de las mediciones
tc (seg)	3.27	4.96
tf (seg)	2.03	5.64
Vc (veh/h)	1211	1211
Cp (veh/h)	815	269



Como se puede observar los valores varían considerablemente y emite un resultado coherente, pues los valores del tiempo de seguimiento son mayores para los conductores en Cuba con respecto a los conductores de los Estados Unidos pues es una cuestión del tiempo perdido en el arranque-despeje. El parque vehicular existente en el país es de varias décadas y mantiene un sistema mecánico para el cambio de velocidad. Sin embargo en los Estados Unidos la modernización de los automóviles es constante, prevaleciendo los vehículos automáticos, lo que le posibilita a los conductores tener menor tiempo de arranque-despeje, pues no pierden tiempo en accionar el cambio de velocidad mediante una palanca mecánica.

Teniendo en cuenta lo antes expuesto se realiza el mismo análisis para los demás casos de estudio

- Caso de estudio 2. Intersección Garayalde - Máximo Gómez

**Tabla 2.32 Resultados de la capacidad potencial**

Mediciones	Valores de brecha crítica $t_c$		
	Valores del HMC	Valores obtenidos de las mediciones	Valores del HCM según modificación
tc (seg)	6.52	4.45	3.26
tf (seg)	4.05	5.29	2.03
Vc (veh/h)	1122	1122	1122
Cp (veh/h)	205	347	866

- Caso de estudio 3. Intersección Cuba-Carbó

**Tabla 2.33 Resultados de la capacidad potencial**

Mediciones	Valores de brecha crítica $t_c$		
	Valores del HMC	Valores obtenidos de las mediciones	Valores del HCM según modificación
tc (seg)	6.5	4.6	3.25
tf (seg)	4.03	5.24	2.01
Vc (veh/h)	1523	1523	1523
Cp (veh/h)	119	244	672

- Caso de estudio 4. Intersección Morales Lemus –Cuba

**Tabla 2.34 Resultados de la capacidad potencial**

Mediciones	Valores de brecha crítica $t_c$		
	Valores del HMC	Valores obtenidos de las mediciones	Valores del HCM según modificación
tc (seg)	6.52	4.37	3.26
tf (seg)	4.02	4.44	2.01
Vc (veh/h)	1233	1233	1233
Cp (veh/h)	174	353	811

- Caso de estudio 5 Aricochea –Máximo Gómez

**Tabla 2.35 Resultados de la capacidad potencial**

Mediciones	Valores de brecha crítica $t_c$		
	Valores del HMC	Valores obtenidos de las mediciones	Valores del HCM según modificación
tc (seg)	6.52	4.46	3.26
tf (seg)	4.02	4.69	2.01
Vc (veh/h)	1373	1373	1373
Cp (veh/h)	146	301	740

- Caso de estudio 6 Cable–Máximo Gómez

**Tabla 2.36 Resultados de la capacidad potencial**

Mediciones	Valores de brecha crítica $t_c$		
	Valores del HMC	Valores obtenidos de las mediciones	Valores del HCM según modificación
tc (seg)	6.55	4.58	3.28
tf (seg)	4.02	4.68	2.01
Vc (veh/h)	984	984	984
Cp (veh/h)	246	390	950

- Caso de estudio 7 Morales Lemus –Arias

**Tabla 2.37 Resultados de la capacidad potencial**

<b>Mediciones</b>	<b>Valores de brecha crítica <math>t_c</math></b>		
	Valores del HMC	Valores obtenidos de las mediciones	Valores del HCM según modificación
tc (seg)	6.52	4.42	3.26
tf (seg)	4.04	5.09	2.02
Vc (veh/h)	1513	1513	1513
Cp (veh/h)	120	268	767

- Caso de estudio 8 Máximo Gómez –Arias

**Tabla 2.38 Resultados de la capacidad potencial**

<b>Mediciones</b>	<b>Valores de brecha crítica <math>t_c</math></b>		
	Valores del HMC	Valores obtenidos de las mediciones	Valores del HCM según modificación
tc (seg)	6.52	4.58	3.26
tf (seg)	4.01	507	2.01
Vc (veh/h)	1171	1171	1171
Cp (veh/h)	193	327	845

Fuente: elaboración propia

Como se percibe en todos los casos de estudio, los resultados tienden a tener el mismo comportamiento que se explicó en el caso uno. Existe una gran diferencia entre los resultados de la capacidad cuando se calcula con los valores teóricos planteados por el HCM 2010 (para dos carriles en la vía principal y para cuando se considera que existe un solo carril). Se obtiene mayor capacidad cuando se considera que solo hay un carril en el acceso principal, resultado lógico, pues el tiempo necesario para el cruce de la vía con preferencia es menor y por tanto las brechas a aceptar así como el tiempo de seguimiento disminuyen. Esto se corrobora cuando se observan los resultados obtenidos en las mediciones in situ realizadas en cada caso de estudio.

Al establecer una comparación entre los valores obtenidos de la capacidad potencial con los datos teóricos determinados de acuerdo a las expresiones planteadas en el

manual (para un solo carril en la vía principal) y las obtenidas en el terreno, las mismas también difieren. Esto se debe a que cuando se determinaron los tiempos de brecha y tiempos de seguimiento teóricos aplicando las ecuaciones 1.16 y 1.17 en ambas fórmulas se tienen en cuenta condiciones bases, los cuales responden a las características del tránsito de los Estados Unidos. Por supuesto las mismas difieren con el comportamiento de los conductores y la diversidad de medios de transporte (bicicletas, motos, vehículos pesados, autos y vehículos de tracción animal), que circulan en una misma vialidad en la ciudad de Holguín.

Este análisis demuestra que emplear datos foráneos puede provocar que en el análisis que se realice para determinar la condición de operación del tránsito, no refleje los problemas que se generan en las intersecciones de la zona estudiada. Para una mejor comprensión se presenta la tabla 2.39 en la que establece la relación entre la intensidad /capacidad y la condición de operación del tránsito tanto para los valores obtenidos mediante datos teóricos con el uso del HCM (2010) así como los valores modificadas según la condición planteada anteriormente para modificar lo establecido en el manual y las capacidades alcanzadas con los resultados de las brechas y tiempos de seguimiento prácticos (mediciones en el terreno)

**Tabla 2.41 Determinación de las condiciones de operación del tránsito para valores teóricos y prácticos.**

Accesos	Intensidad I (veh/h)	Valores teóricos		Valores prácticos		Valores modificados	
		I/Cp	Condición de operación	I/Cp	Condición de operación	I/Cp	Condición de operación
Cuba (Máximo G.)	1012	5.58	Forzado	3.77	Forzado	1.24	Forzado
Cuba (Morales L.)	784	4.50	Forzado	2.22	Forzado	0.97	Inestable
Máximo G.(Garayalde)	1348	6.57	Forzado	3.88	Forzado	1.56	Forzado
Máximo G(Aricochea)	1376	9.45	Forzado	4.57	Forzado	1.86	Forzado
Máximo G(Cable)	1576	6.40	Forzado	4.04	Forzado	1.66	Forzado
Arias (Morales L.)	992	8.30	Forzado	3.71	Forzado	1.29	Forzado
Arias (Máximo G.)	872	4.52	Forzado	2.67	Forzado	1.03	Forzado
Carbó(Cuba)	784	6.58	Forzado	3.21	Forzado	1.17	Forzado

Las condiciones de operación se evalúan según los siguientes rangos:

Estable cuando  $I/C_p \leq 0.50$ . El observador no percibe la formación de cola y el despeje se realiza en poco tiempo.

Inestable cuando  $0.50 < I/C_p < 1$ . El observador aprecia formación de cola con pequeños congestionamientos dentro de la hora de máxima demanda.

A capacidad cuando  $I/C_p = 1$ . Se producen colas largas con congestionamiento que se descargan con regularidad, quedan vehículos de la misma cola.

Forzado cuando  $I/C_p > 1$ . Se producen colas largas que pueden interferir intersecciones anteriores y la descarga es reducida casi a cero.

A continuación se muestra la tabla 2.40 en la que se establecen los valores obtenidos en el terreno en las intersecciones analizadas que son comunes por Soler (2018) y las consideradas como casos en esta investigación (Máximo Gómez – Cuba y Máximo Gómez – Arias).

**Tabla 2.40 Comparación de resultados de las condiciones de operación del tránsito para valores prácticos**

Intersección	Soler(2018)		Gómez (2021)	
	$I/C_p$	Condición de operación	$I/C_p$	Condición de operación
Cuba(MG)	1.5	Forzado	3.77	Forzado
Arias(MG)	1.2	Forzado	2.67	Forzado

Fuente: elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla los valores que se muestran corroboran lo antes expuesto. Y además se percibe que la presencia de los medios de transporte de marcha lenta dificulta mucho más la circulación en las vías que tengan alto flujo vehicular. Además reafirma lo que plantean las investigaciones de Diapante (2011), Rivera, S. y Cárdenas, D. (2012) y Soler (2018), de que deben ser empleados los valores de tiempos críticos (brechas y tiempos de seguimiento) de cada nación, y no

emplear las brindadas en otros países. Sin embargo, el desarrollo de la investigación permite suponer la presencia de otros factores no considerados en el modelo, que deberán ser estudiados posteriormente para lograr su calibración final a las condiciones específicas de la ciudad de Holguín.

### **Conclusiones parciales**

De acuerdo a los análisis realizados en este capítulo se arriba a las siguientes conclusiones:

El diseño del estudio facilitó la adquisición de las informaciones de los parámetros de interés que intervienen en el flujo vehicular; necesarios para determinar los intervalos de tiempos que inciden en los niveles de operación del tránsito de intersecciones no semaforizadas.

Mediante la realización de estudios de tránsito en el terreno se logra determinar que las brechas críticas aceptadas por más del 50% de los conductores en intersecciones como las de los casos de estudio en la ciudad de Holguín, es de 4.55 seg., y el tiempo de seguimiento de 5.02 seg.

Los resultados de las brechas críticas determinadas mediante el empleo de los valores bases brindados en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM, 2010) difieren en un 70% del resultado obtenido en el terreno, debido a que la condición mínima establecida es para brechas críticas aceptadas en vía principal con dos carriles y las vías estudiadas, aunque poseen dos carriles, operan como vías de un solo carril. Con respecto al tiempo de seguimiento difieren solo en un 20%. Esto también se debe a que las expresiones a emplear para la determinación de ambos parámetros no consideran ningún factor que incluya los medios de transporte de marcha lenta como los de tracción animal.

Al evaluar los niveles de operación del tránsito se puede apreciar que se comportan de manera forzada en todos los casos de estudio y que la incidencia de los medios de

transporte por tracción animal dificulta considerablemente la tasa de descarga de los accesos secundarios.

La comparación entre los resultados obtenidos en Colombia, los obtenidos aplicando la metodología propuesta en el HCM 2010 y los alcanzados por soler demuestran las afirmaciones realizadas por varios investigadores de que las brechas difieren entre localidades o regiones por ser variable dependiente del factor humano, por lo que es incorrecto emplear los valores base de brechas y tiempos de seguimiento de otras naciones en los análisis de capacidad.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

1. El análisis de la información científico técnica demuestra la incidencia que poseen los parámetros brecha y tiempo de seguimiento en la estimación de los niveles de operación del tránsito en las intersecciones no semaforizadas, así como, el método adecuado para la determinación de estos parámetros que es el de máxima verosimilitud.
2. La realización del diseño teórico experimental que se plantea, posibilita corroborar que las brechas críticas aceptadas en intersecciones controladas por señal de PARE, con presencia de medios de transporte por tracción animal, es de 4.55 seg y el tiempo de seguimiento promedio es de 5.02 seg. Siendo estos valores el aporte esencial de la investigación.
3. Los resultados de las brechas críticas que se determinan mediante el empleo de los valores bases, que se establecen en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM, 2010) difieren en más de un 50% del resultado obtenido en el terreno. Lo mismo sucede con el tiempo de seguimiento que difieren en un 20%, condición que se debe al no estar considerado en el manual, un factor que considere la tracción animal, lo que valida su incidencia negativa en la calidad de operación del flujo y demuestra la veracidad de la hipótesis planteada.



## **RECOMENDACIONES**

- Se exhorta incorporar, a la ecuación de brecha y tiempo de seguimiento que se plantean en el manual, un factor que considere los medios de transporte de tracción animal para que la metodología se ajuste mejor a las condiciones imperantes del tránsito en la ciudad de Holguín.
- Además, analizar otros parámetros como la visibilidad, que condiciona el tiempo de brecha que será aceptada o rechazada por parte de los conductores.

## **BIBLIOGRAFÍA**







- Álvarez, J. (2018) Los tres elementos que forman el tráfico.tuteórica.com trabajando por la educación vial. Recuperado de <https://www.tuteorica.com/blog/Los-tres-elementos-que-forman-el-trafico>.
- BRILON, W, WU, N (2002) - Unsignalized Intersections - A Third Method For Analysis - Published In Taylor, A.P. (ed.): Transportation and Traffic Theory in the 21st Century, Proceedings of the 15th International Symposium on Transportation and Traffic Theory Pergamon, Elsevier Science Ltd., New York, Tokyo, Oxford
- Cárdenas, D., Rivera, S. (2012). Aceptabilidad de intervalos (brechas) para maniobras en intersecciones de prelación vial. Tesis en opción del título de ingeniero civil. Universidad de Medellín. Especialización en Vías y Transporte, Cohorte 10. Medellín, Colombia, 2012.
- 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.
- Depiante, V., Galarraga, J. (2010). Intervalos críticos y capacidad en intersecciones no semaforizadas de tres ramas. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina
- Díaz, L. (2009) Análisis vial de dos intersecciones sin semáforo en aldeaña a nuevo terrapuerto de Piura. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Universidad de Piura.
- Gibson, J. (2001). Teoría de flujos vehiculares. Apuntes. Universidad de Chile. División Ingeniería y Transporte. Chile, 2001.

- Kyte, M.; Tian, Z.; Mir, Z.; Hameedmansoor, Z.; Kittelson, W.; Vandehey, M.; Robinson, B.; Brilon, W.; Bondzio, L.; Wu, N.; Troutbeck, R. (1996) -Capacity and Level of Service at Unsignalized Intersections - Final Report: Volume 1– Two Way Stop-Controlled Intersections - National Cooperative Highway Research Program 3-46.
- Luttinen, T. (2003) - Capacity and Level of Service at Finnish Unsignalized Intersections Finnra Reports .
- Luttinen, T. (2006) - Capacity and Level-of-Service Estimation in Finland – Fifth International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service - Yokohama, Japan, 2006.
- Miramontes, E. (2015) Análisis y Evaluación de Intersecciones Urbanas. Docente del programa de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Portelles, A. (2017) Evaluación de la incidencia de los medios de transporte de Tracción animal 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.
- Radelat, G. (1985) Manual de ingeniería de tránsito. Edición revolucionaria
- Reyes, Y. (2020) Propuesta de ordenamiento de la circulación de los coches en las vías principales del centro de 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.

- Suárez, D. (2017)- Evaluación de la intersección Máximo Gómez- Frexes aplicando la metodología del HCM 2010. Tesis en opción al título de ingeniero civil. Universidad de Holguín, Cuba.
- TRB (2010). - Highway Capacity Manual (HCM) - Chapter 17-Unsignalized Intersections Special Report 209 - TRB, National Research Council, Washington, D.C.

## ANEXOS

### Anexo I. Descripción de los niveles de servicios

<p><b>A</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La velocidad de los vehículos es la que elige libremente el conductor</li> <li>• Cuando un vehículo alcanza a otro más lento puede adelantarlo sin sufrir demoras</li> <li>• Condiciones de circulación libre y fluida</li> </ul>	
<p><b>B</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La velocidad de los vehículos más rápidos se ve influenciada por otros vehículos</li> <li>• Pequeñas demoras en ciertos tramos, aunque sin llegar a formarse colas</li> <li>• Circulación estable a alta velocidad</li> </ul>	
<p><b>C</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La velocidad y la libertad de maniobra se hallan más reducidas, formándose grupos</li> <li>• Aumento de demoras de adelantamiento</li> <li>• Formación de colas poco consistentes</li> <li>• Nivel de circulación estable</li> </ul>	
<p><b>D</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad reducida y regulada en función de la de los vehículos precedentes</li> <li>• Formación de colas en puntos localizados</li> <li>• Dificultad para efectuar adelantamientos</li> <li>• Condiciones inestables de circulación</li> </ul>	
<p><b>E</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidades de operación bajas y volúmenes próximos a la capacidad máxima</li> <li>• Formación de largas colas de vehículos</li> <li>• Imposible efectuar adelantamientos</li> <li>• Define la capacidad de una carretera</li> </ul>	
<p><b>F</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formación de largas colas y velocidades de operación muy bajas</li> <li>• La intensidad sobrepasa la capacidad de la vía</li> <li>• Circulación intermitente mediante interrupciones y rupturas de flujo</li> <li>• La circulación se realiza de forma forzada</li> </ul>	

Fuente: Highway Capacity Manual 2000, Adaptación Propia

