



Departamento de Ingeniería Civil

TRABAJO DE DIPLOMA

Título

Propuesta de organización del tránsito en el centro urbano de Santa Clara.

Autor: Eduardo Alexandre Swartes Luis

Tutor: Luis Enrique Gálvez Herrera

Santa Clara, Junio, 2019
Copyright©UCLV



FC
Facultad de
Construcciones

Academic Departament of Civil Engineering

DIPLOMA THESIS

Proposal off organization of transit in the urban center of Santa Clara.

Author: Eduardo Alexandre Swartes Luis

Thesis Director: Luis Enrique Gálvez Herrera

Santa Clara, June, 2019
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

DEDICATORIA

En memoria de mi abuela **“Regina Tchitalala”**
que su alma en paz descanse...

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por siempre apoyarme en los momentos difíciles y haberme permitido no derrumbarme ante las dificultades durante la carrera universitaria y poder haber llegado con bendición a culminar mi carrera y mi proyecto de tesis.

A mis padres, en particular a mi papa por ser quien más se preocupó y tuvo pendiente de mi ante cualquier problema presentando en la universidad, además de darme sus buenos consejos para poder afrontar.

A todas las personas que me han ayudado y apoyado de manera desinteresada e incondicional.

A la Universidad Marta Abreu de las Villas por brindarme los conocimientos necesarios para poder afrontar diferentes situaciones en el plano laboral y personal.

Al Ing. Luis Henrique Gálvez Herrera y al Dr. Rene A. García Depestre por su inmensa ayuda desinteresada en el desarrollo de este proyecto de tesis fomentando siempre cosas innovadoras.

Muchas gracias...

RESUMEN

En Santa Clara el aumento poblacional y el desarrollo turístico ha generado un aumento del tránsito vehicular y peatonal, esta situación provoca afectaciones en las principales calles del centro histórico de la ciudad, trayendo consigo incrementos en la congestión, demoras y accidentalidad. La presente investigación tiene como objetivo realizar estudios en las principales calles del centro histórico de la ciudad de Santa Clara, mediante la aplicación de la metodología propuesta en el Highway Capacity Manual, versión 2010. Además, se realiza la modelación computacional de la zona objeto de estudio en el programa Synchro 10, con el objetivo de realizar modificaciones del tránsito en el modelo computacional, encaminadas a solucionar los problemas detectados; para posteriormente proponer una serie de mejoras que posibiliten el mejor funcionamiento de la zona estudiada.

Palabras claves: Organización del tránsito, Highway Capacity Manual, versión 2010, centro histórico urbano, software synchro 10.

ABSTRACT

In Santa Clara the population increase and the tourist development has generated an increase of the vehicular and pedestrian traffic, this situation causes affectations in the main streets of the historical center of the city, bringing with it increases in the congestion, delays and accidents. The objective of this research is to carry out studies in the main streets of the historic center of the city of Santa Clara, through the application of the methodology proposed in the Highway Capacity Manual, version 2010. In addition, computational modeling of the target area is carried out. study in the Synchro 10 program, with the aim of making changes in the traffic in the computational model, aimed at solving the problems detected; to later propose a series of improvements that allow the best operation of the studied area.

Keywords: Traffic organization, Highway Capacity Manual, version 2010, urban historic center, software synchro 10.

INDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. ESTADO DE CONOCIMIENTO SOBRE EL ANÁLISIS DE LA ORGANIZACIÓN DEL TRÁNSITO EN LOS CENTROS HISTÓRICOS	6
1.1 Ingeniería de tránsito	6
1.2 Clasificación de las vías	8
1.3 Clasificación vehicular	11
1.4 Estudio del tránsito en los centros históricos	17
1.4.1 Estudios de Volúmenes de Tránsito	18
1.4.2 Aforo vehicular durante la hora pico	18
1.4.3 Estudios de Velocidad	21
1.4.4 Estudio de Demoras	23
1.4.5 Estudios de origen y destino	23
1.4.6 Capacidad	24
1.4.7 Nivel de servicio	25
1.5 Softwares utilizados para estudios del tránsito en el centro histórico urbano	25
1.6 Conclusiones parciales	30
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA ORGANIZACIÓN DEL TRÁNSITO EN LOS CENTROS HISTÓRICOS URBANOS	31
2.1 Generalidades de la metodología para el análisis de la organización del tráfico en los centros históricos urbanos.	31
2.2 Observación de la problemática	31
2.3 Selección de las intersecciones a analizar	32
2.4 Recopilación de datos	32
2.4.1 Estudio de Ingeniería de Tránsito	33
2.5 Procesamiento y análisis	35
2.5.1 Determinación de los puntos de conflictos	35
2.5.2 Determinación del nivel de servicio mediante la aplicación de la metodología del Manual de Capacidad de Carreteras para intersecciones no semaforizadas.	36
2.4 Modelación computacional de la información obtenida	43

2.6 Evaluación y selección de alternativas	46
2.6.1 Análisis de los resultados	46
2.6.2 Propuesta de mejoras encaminadas a solucionar los problemas detectados	46
2.7 Conclusiones parciales	47
CAPITULO III. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO Y MODELACION COMPUTACIONAL	
MEDIANTE EL SOFTWARE SYNCHRO 10.	48
3.1 Observación de la problemática	48
3.2 Selección de las intersecciones a analizar	48
3.3 Recopilación de datos	49
3.3.1 Estudio de ingeniería de tránsito	52
3.3.1.1 Estudios de volumen vehicular	52
3.3.1.2 Estudio de volumen peatonal	54
3.3.1.3 Estudio de demoras	55
3.4 Procesamiento y análisis	56
3.4.1 Determinación de los puntos de conflictos	56
3.4.2 Nivel de servicio	57
3.5 Modelación computación de la información obtenida mediante el software Synchro 10 ..	58
3.6 Evaluación y selección de alternativas	59
3.6.1 Análisis de los resultados	59
3.6.2 Propuestas de mejoras encaminadas a solucionar los problemas detectados	59
3.7 Conclusiones parciales	60
CONCLUSIONES GENERALES	61
RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFIA	63
ANEXOS	65
Anexo I Aforos Vehiculares	65
Anexo II Aforos Peventonales	66
Anexo III Estudios de Demoras	67

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la humanidad suscita un desarrollo de las carreteras y caminos para el transporte de mercancías, bienes y personas. Un innegable ejemplo de lo anterior es que en el Imperio Romano se construyen hace 6 mil años una vasta red de caminos. La ciudad de Roma llega a tener más de un millón de habitantes, lo que provoca que circulen por sus calzadas numerosos vehículos de distintos tipos y tamaños, lo que ocasiona los primeros problemas de tráfico de la historia. El volumen de tráfico en la ciudad de Roma, es tan grande que se establece una ley que prohíbe a los carros con mercancía circular por sus calles desde el amanecer hasta la puesta de sol, se exceptúa de esta normativa a los vehículos destinados a construcciones de interés público y de recogida de basura, esto sin duda fue un temprano ejemplo de medidas para controlar la congestión del tráfico en el centro urbano y buscar una solución a los conflictos existentes (Gonzalez, 2004).

Los problemas de tráfico que se producen en las ciudades se ven incrementados con la modernización de los vehículos de tracción animal, los cuales evolucionan y se adaptan a las necesidades del hombre. Durante la revolución industrial se comienzan a realizar investigaciones con el objetivo de desarrollar un medio de transporte autopropulsado. El primer intento de obtener una fuerza automotriz autopropulsada se remonta al año 1769 cuando el francés Nicolas Joseph Cugnot diseña el primer vehículo a vapor. Los primeros modelos de automóviles comienzan a desarrollarse en 1886 por el ingeniero alemán Karl Benz (Barneo, 2016).

Los primeros prototipos de vehículos automotor se crean a finales del siglo XIX, pero no es hasta una década después que los vehículos empiezan a ser vistos como algo útil. En 1908 Henry Ford comienza a producir automóviles en una cadena de montaje, sistema totalmente innovador que le permite alcanzar cifras de fabricación hasta entonces impensables (Barneo, 2016). Puede afirmarse que el vehículo de motor de combustión interna en la forma que se conoce actualmente, forma parte y nace con el siglo XX, y es uno de los inventos más importantes de la humanidad (Gómez Johnson, 2004).

El avance alcanzado por la humanidad con el surgimiento del automóvil provoca una serie de consecuencias negativas que se acrecientan con la rápida expansión del vehículo. En los últimos años, especialmente a partir de la década del 1990, el aumento de la circulación vehicular en las ciudades ha causado, fundamentalmente en los centros históricos, un aumento constante de la congestión y la accidentalidad, demoras y problemas ambientales, debido a que las calles de los centros históricos no poseen las condiciones creadas para el tránsito de

estos vehículos. Los problemas del tránsito mencionados anteriormente se presentan tanto a los países desarrollados como en los que se encuentran en vías de desarrollo. La consecuencia más evidente de la congestión es el incremento de los tiempos de viaje, fundamentalmente en la hora pico, que alcanza en algunas ciudades niveles superiores a los considerados aceptables (Bull, America, & Caribbean, 2003).

En Cuba los problemas de circulación que se observan en los centros históricos urbanos son similares al de los países en vías de desarrollo, debido a que el tránsito imperante es de naturaleza heterogénea. En Cuba circulan fundamentalmente dos tipos de vehículos; motorizados y no motorizados. Dentro del primer grupo se encuentran los automóviles, los vehículos pesados, los ómnibus y las motos; mientras que los vehículos no motorizados son los ciclos y los vehículos de tracción animal. La heterogeneidad del parque vehicular provoca un aumento de la congestión en los centros históricos, debido a que los mismos no fueron diseñados para este tipo de transporte, ni para la intensidad presente en la actualidad.

La ciudad de Santa Clara presenta características de ciudad medieval, con una trama urbana de radio concéntrica, que se mantiene hasta la actualidad, posee un núcleo urbano con un entramado de calles sinuosas y estrechas. El núcleo urbano ha sido foco del desarrollo económico, político, social y cultural de la ciudad, la peculiar estructura urbana ha determinado que la circulación vial tenga características específicas. Sus principales ejes convergen en el centro, donde el tránsito se organiza de forma unidireccional, por tener sus principales calles estrechas, tortuosas y manzanas multiformes.

Gran parte de las calles del centro histórico urbano de la ciudad de Santa Clara se utilizan para maniobras de carga y descarga de mercancías, además del estacionamiento de vehículos; el aumento poblacional y el desarrollo turístico en la ciudad han generado un aumento del tránsito vehicular y de peatones en la ciudad de Santa Clara, lo que ocasiona implicaciones en la circulación vehicular y peatonal, esta situación conlleva a que se afecte la circulación. Por tanto, las investigaciones actuales se centran en lograr vías sustentables, que respondan a velocidad de circulación adecuada y a tratar de evitar congestionamiento en las vías y disminuir accidentes, para lograr lo anterior resulta necesario desarrollar estudios que permitan establecer la incidencia de estos factores sobre los parámetros que caracterizan el tránsito.

A partir de la situación presentada se plantea el siguiente **problema científico**: ¿Cómo contribuir al mejoramiento y a la organización del tránsito en el centro histórico urbano de la ciudad de Santa Clara?

Se define como **objeto de estudio** la ingeniería de tránsito y el **campo de acción** es la organización del tránsito en el centro histórico de la ciudad de Santa Clara.

El presente trabajo de diploma presenta el siguiente **objetivo general**: Analizar la organización del tránsito dentro del centro histórico urbano de la ciudad de Santa Clara.

Los **objetivos específicos** son los siguientes:

- Realizar una revisión bibliográfica sobre la organización del tránsito, especialmente en los centros históricos urbanos para conformar el marco teórico referencial.
- Proponer una metodología para el análisis del tránsito en los centros históricos urbanos, que se adapte a las condiciones de tránsito imperantes en Cuba.
- Aplicar la metodología propuesta en el centro histórico urbano de la ciudad de Santa Clara.
- Analizar los resultados obtenidos posteriores a los estudios realizados.
- Proponer alternativas que permitan disminuir la congestión vehicular y las demoras mediante la modelación computacional.

A partir del objetivo general y los objetivos específicos se plantea la siguiente **hipótesis**: La realización de los estudios de tránsito en vías del centro histórico urbano de la ciudad de Santa Clara y la obtención de resultados, permite sugerir propuestas que puedan contribuir con el mejor funcionamiento del tránsito en la zona objeto de estudio.

Tareas de científicas

- Análisis crítico de la información científica–técnica acerca de los estudios del tránsito en vías urbanas e intersecciones.
- Realización de estudios de tránsito basados en la teoría de Ingeniería de Tránsito, tales como estudios de volúmenes de tránsito, de demora y de nivel de servicio.
- Análisis de los resultados obtenidos sobre el estudio de tránsito.
- Propuesta de medidas para mejorar la situación existente en las vías del centro histórico urbano de la ciudad de Santa Clara.

Aportes teóricos y prácticos

La importancia y el aporte práctico del presente trabajo es el análisis a propuesta de medidas que mejoren el flujo vehicular, mediante la evaluación del funcionamiento de las zonas de estacionamiento en el centro histórico de la ciudad de Santa Clara, Villa Clara, para garantizar una mejora en la calidad de circulación y seguridad del servicio vial; además de dar respuesta a

un problema social a petición del Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito de Villa Clara y la Comisión Provincial de Seguridad Vial.

Los **métodos científicos del nivel teórico** que se utilizó para el desarrollo de la investigación son:

- ❖ **Analítico - sintético.** A lo largo de todo el trabajo de investigación durante el procesamiento de la revisión bibliográfica realizada, lo cual permite analizar y obtener los elementos necesarios para abordar la situación polémica y establecer las conclusiones necesarias.
- ❖ **Inductivo - deductivo,** se irá de lo universal, en la valoración y análisis de las zonas de tránsito, a lo particular, en su aplicación en la oferta y demanda que existe en el centro histórico de Santa Clara.
- ❖ **Sistémico - estructural,** para analizar la utilización del procedimiento como parte de un sistema que interactúa con la calidad del tránsito.
- ❖ **Histórico - lógico,** permite crear una periodización en la valoración de la organización de tránsito y sus consecuencias.

Métodos del nivel empírico:

- ❖ **Análisis de documentos oficiales:** Se revisan varias tesis sobre el tema, así como el libro de PMBOK que presenta estándares, pautas y normas para la gestión de proyectos para valorar los contenidos que para la misma se proponen y la bibliografía que se recomienda para su estudio.
- ❖ **Observación:** de las características geométricas, del tránsito y de control en las zonas de circulación vial para corroborar la hipótesis inicial del trabajo.

Población: Centro histórico urbano, muestra principales vías del centro histórico urbano.

Novedad científica:

El empleo de un modelo que beneficie los trabajos de la organización del tránsito vial en la ciudad de Santa Clara, donde se emplea el programa “ Synchro 10” que sirve para modelar el tránsito, y el que se utiliza por primera vez en la Facultad de Construcciones, y que contribuya tanto a la preparación de mejores profesionales formados en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, como a la planificación y la ejecución de obras viales.

Estructura de la investigación:

La estructura está confeccionada en función de la metodología de la presente investigación y se desglosa de la siguiente forma:

- Resumen
- Introducción
- Desarrollo

Capítulo I: Estado de conocimiento sobre el análisis de la organización del tránsito en los centros históricos.

En este capítulo se realiza la fundamentación teórica conceptual de la investigación a partir de la revisión bibliográfica a nivel internacional y nacional en busca de los antecedentes y el estado actual del conocimiento sobre el análisis de la organización del tránsito en los centros históricos urbanos y sus características operacionales. Además, se presentan para el mundo y para Cuba, la clasificación de las carreteras rurales y urbanas, los diferentes tipos de vehículos.

Capítulo II: Metodología para el análisis de la organización del tránsito en el centro histórico urbano de la ciudad de Santa Clara.

En el capítulo se muestra el procedimiento establecido en el Highway Capacity Manual, versión 2010 (HCM versión 2010) para la realización de la investigación científica, la cual consta de varios pasos para lograr el análisis de la organización del tránsito en centro histórico urbano, teniendo en cuenta los vehículos de tracción animal.

Capítulo III: Aplicación de la metodología y análisis de los resultados obtenidos.

En el tercer capítulo de la presente investigación se desarrolla la metodología propuesta en el capítulo II, con el fin de determinar las zonas con elevados valores de congestión vehicular y los mayores índices de demoras, para lograrlo se realiza una modelación de la intersección utilizando el software Synchro 10. Los resultados alcanzados son analizados con el objetivo de proponer alternativas que permitan optimizar el tránsito en el centro histórico urbano de la ciudad de Santa Clara.

- Conclusiones.
- Recomendaciones.
- Referencias bibliográficas.
- Anexos.

CAPÍTULO I. ESTADO DE CONOCIMIENTO SOBRE EL ANÁLISIS DE LA ORGANIZACIÓN DEL TRÁNSITO EN LOS CENTROS HISTÓRICOS

Se realiza una revisión bibliográfica a nivel internacional y nacional en este capítulo para conocer los antecedentes y el estado actual del conocimiento sobre la organización del tránsito en los centros históricos urbanos y sus características operacionales. Además, se aborda para el mundo y para Cuba, la clasificación de las vías rurales y urbanas, la clasificación vehicular propuesta por el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara, los estudios del tránsito que se realizan en los centros históricos y los softwares empleados para realizar la modelación del tránsito.

1.1 Ingeniería de tránsito

Después de la aparición del automóvil, las carreteras se proyectan teniendo en cuenta únicamente el movimiento de vehículos aislados, debido a que circulan un número muy bajo de ellos y se supone que cada uno podía moverse a una velocidad razonable y segura para que la carretera cumpliera con todos sus objetivos. Hacia 1920 el número de vehículos en circulación era lo suficientemente elevado como para establecer medidas de regulación que evitasen las dificultades de circulación. El objetivo principal de las medidas fue mejorar la seguridad basándose en su comienzo con la práctica de la policía, pronto fue necesario adoptar medidas más eficientes por lo que 1920 y 1930 en los Estados Unidos nace la Ingeniería de Tránsito con el fin de mejorar la explotación de las redes viarias existentes (Tapia Arandia & Veizaga Balta, 2006).

La ingeniería de tránsito o ingeniería de tráfico, se conceptualiza como “la fase de la Ingeniería de Transporte que se ocupa de la planificación, diseño geométrico, y las operaciones de tráfico en calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras colindantes, y las relaciones con otros modos de transporte”. Su objetivo es que el movimiento de personas y mercancías se realice de la forma más segura, eficaz y cómoda (Quintero González, 2017).

La ingeniería de tránsito, como una ciencia definida y estructurada, ha permitido el estudio de las variables propias del tráfico en las ciudades. Se deriva de la ingeniería de transporte y se ha enfocado, principalmente, en el estudio de los elementos del tránsito: conductor, peatón, vehículo, vía, señalización y dispositivos de control del tráfico, y la caracterización y estudio del comportamiento de las llamadas variables macroscópicas del tránsito: volumen vehicular, velocidad y densidad, así como la relación existente entre elementos y variables. Del estudio de estos componentes, tanto en flujos vehiculares como en flujos peatonales, en áreas urbanas y

rurales, se desprende la mayoría de las soluciones empleadas hoy en día para el tratamiento de problemas de tráfico como la congestión, las demoras, los tiempos de viaje, el nivel de servicio y la accidentalidad. En la actualidad se cuenta con modelos matemáticos probados y se han logrado importantes avances en la modelación del tránsito con software especializado (Quintero González, 2017).

Los resultados derivados de los estudios de tránsito han permitido entender mejor el comportamiento de los flujos vehiculares y peatonales en áreas urbanas, a la vez que se ha facilitado la gestión de la movilidad urbana mediante la calibración y mejora de dispositivos de control y el rediseño geométrico de elementos, así como la implementación de nuevos dispositivos e infraestructuras. Sin embargo, se ha desestimado el estudio de aspectos propios de la movilidad urbana sostenible: medio ambiente, equidad social, valor económico, lo que en algunos casos ha derivado en la implementación de medidas de tráfico ineficientes, cuyos resultados han sido contrarios a lo deseado (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2007).

Cuba al ser un país en vías de desarrollo posee múltiples problemas del tránsito, causados fundamentalmente por la heterogeneidad del parque vehicular, las diferencias en los años de explotación de los vehículos que circulan por sus calles y carreteras y el mal estado de sus vías. Los problemas mencionados anteriormente provocan un aumento considerable de la congestión y el mal funcionamiento de las vías, que son agudizados en los centros históricos urbanos productos a que estas zonas no poseen las condiciones para la demanda vehicular a la cual son sometidas.

En Cuba los estudios destinados a la solución de los problemas del tránsito mencionados en el párrafo anterior son realizados por los centros provinciales de ingeniería de tránsito. La principal función de estos organismos es la organización del tránsito en las ciudades, colocación de señales, diseño y colocación de semáforos, etc. Los centros de ingeniería de tránsito realizan estudios para lograr lo anterior, dentro de los cuales encontramos los estudios de velocidad, aforos vehiculares y peatonales, estudios de demora, estudios de capacidad y determinación del nivel de servicio.

1.2 Clasificación de las vías

Clasificación de las vías rurales

Las vías se pueden clasificar atendiendo a diferentes aspectos tales como el interés socio económico, el tipo de la superficie de rodadura, la funcionalidad, las características técnicas y el lugar de emplazamiento que puede ser rural o urbano.

Las carreteras rurales se han clasificado de diferentes maneras en diferentes lugares del mundo. y son generalmente aquellas que permiten el tránsito de vehículos entre ciudades, pueblos y regiones económicas, siempre fuera de los límites de las urbanizaciones.

En la práctica vial mexicana se pueden distinguir varias clasificaciones de carreteras rurales, en el Manual de Carreteras de México en el cual se establece que las vías mexicanas se pueden clasificar por: su transitabilidad, su aspecto administrativo y su clasificación técnica oficial. La clasificación por su transitabilidad corresponde a las etapas de construcción de las carreteras y se divide en terracerías, revestidas y pavimentadas. En cuanto a su aspecto administrativo se clasifican en federales, estatales, vecinales o de cuota; mientras que técnicamente se dividen en vías tipo A, B o C en dependencia del tráfico promedio diario anual (Sayago, 2005).

En Nicaragua la clasificación de las carreteras, se establece en dependencia del tipo de construcción pueden ser: caminos pavimentados, revestidos, de todo tiempo o de estación seca; mientras que la clasificación funcional de Nicaragua las divide en troncal principal, troncal secundario, colectora principal, colectora secundaria y caminos vecinales. El manual de carreteras de Chile realizado en el 2001, divide las vías en carreteras y caminos; los primeros a la vez se subdividen en autopistas, autorrutas y primarios, mientras q los caminos se dividen en colectoras, locales y de desarrollo (Navarro Hudiel, 2008).

En España el manual de carreteras confeccionado por (Bañón & Beviá García, 2000) clasifica a las carreteras rurales según su tipología en autopistas, autovías, vías rápidas y carreteras convencionales. La clasificación funcional las divide en carreteras nacionales, regionales o comarcales, locales y vecinales.

En Cuba, según la (NC 753:2010) las (Carreteras-Vías Rurales-Clasificación Funcional) una vía rural está compuesta por carreteras y caminos para fines de tránsito de vehículos y peatones, se encuentran por lo general, fuera de los perímetros urbanos. A partir de la (NC 753:2010) las vías rurales, según la función que realizan se clasifican en:

- ❖ Vías expresas: Carreteras arteriales multicarriles divididas en dos sentidos de circulación. Proporcionan una vinculación directa entre la capital del país y el resto de

las capitales provinciales, poseen control de acceso parcial o total y generalmente con paso a desnivel en las intersecciones principales.

- ❖ Arterias principales: Son vías de dos carriles no divididas y dos sentidos de circulación y al igual que las vías expresas proporcionan una vinculación directa entre la capital del país y el resto de las capitales provinciales.
- ❖ Arterias menores: Son vías de dos carriles no divididas y dos sentidos de circulación, sin control de accesos y sirven directamente a los terrenos colindantes. Dentro del sistema arterial, son las vías de menos intensidades de tránsito. Sirven al movimiento de tránsito entre dos y más provincias.
- ❖ Colectoras: Son vías de dos carriles no divididas y dos sentidos de circulación. Generalmente prestan servicios a los viajes intermunicipales y en ocasiones a los interprovinciales.
- ❖ Locales: Son vías de dos carriles no divididas y dos sentidos de circulación. Constituyen una red ramificada, pero más bien de importancia en el municipio o localidad.

Clasificación de las vías urbanas

Los criterios que se utilizan para la clasificación de las vías urbanas son los siguientes: la capacidad y el nivel de servicio, la seguridad, la funcionalidad y la técnica. Estos criterios se realizan de manera que se puedan fijar funciones específicas a las diferentes vías y calles, para así atender las necesidades de movilidad de personas y mercancías, de una manera rápida, confortable y segura, y a las necesidades de accesibilidad a las distintas propiedades (Alvarez Pabón, 2008).

La clasificación funcional agrupa a carreteras de acuerdo al carácter del servicio que deben proveer. La mayoría de los viajes incluyen movimientos a través de redes viales y las vialidades utilizadas por estos movimientos. Por lo tanto, la clasificación funcional de las redes viales es consistente con la categorización de los viajes. La jerarquía de movimientos en áreas urbanas se ilustra en la figura 1.1 (**Norma de IT de México**).

Sin embargo, la clasificación de vialidades es un poco complicada en áreas urbanas, ya que, debido a la alta densidad y usos de suelo, los centros específicos de generación de viajes son muy difíciles de identificar; por lo tanto, se deben tomar en cuenta consideraciones adicionales, tales como continuidad de las vialidades, distancia entre intersecciones, accesibilidad, de manera que se pueda definir una red lógica y eficiente (Montoya, 2005).

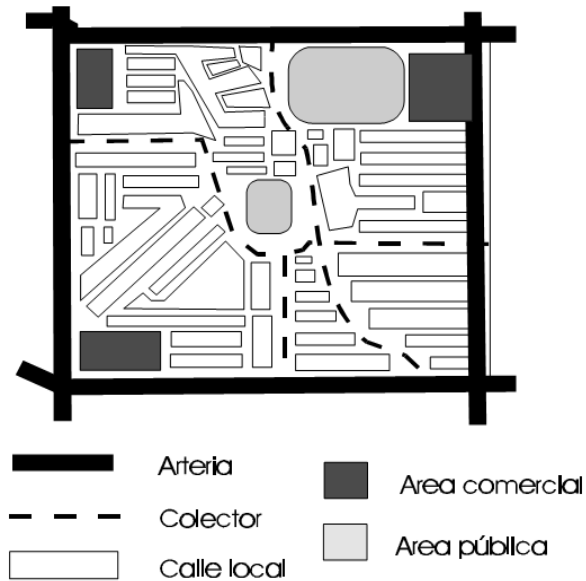


Figura 1.1 Movimientos en una red vial urbana
Fuente: Norma de IT de México

Según la **Norma de Ingeniería de Tránsito de México** la clasificación funcional de sistemas viales en áreas urbanas se realiza de la siguiente manera, las arterias principales y las arterias menores (vialidad primaria), los colectores (vialidad secundaria) y las calles locales. La clasificación por su transitabilidad se divide en terracerías, revestidas y pavimentadas. En cuanto a aspectos administrativos se clasifican en federales, estatales, rurales y de cuota.

La clasificación de sistemas urbanos utilizados en Perú divide en cuatro los sistemas funcionales de vialidades: las arterias principales, las arterias menores (vialidad primaria), los colectores (vialidad secundaria) y las calles locales (Montoya, 2005) Según el Código de tránsito de Colombia las vías urbanas se clasifican funcionalmente en autopistas, arterias principales, arterias secundarias, colectoras, ordinarias, locales, privadas y ciclomotoras (Rodríguez, 2017).

En Cuba la clasificación de las vías urbanas se realiza según la (NC 53-80-1987), "Clasificación funcional de las vías urbanas", además existe un anteproyecto de NC – Diseño Geométrico de vías urbanas que clasifica las calles técnicamente. Se tiene en cuenta la función que realiza y se aplica en trabajos de planeamiento, inversiones, codificación, estudios y proyectos viales. Esta clasificación funcional es similar a las consultadas a nivel internacional.

Según la (NC 53-80-1987) la clasificación funcional de las vías se partirá siempre del sistema superior (expresos, arterias principales), luego se procede con el sistema inmediato inferior (arterias menores, colectoras, locales). Esta clasificación funcional de las vías urbanas describe

las características principales de cualquier infraestructura tales como: función del tráfico principal, velocidad de diseño, características geométricas, volúmenes de tránsito, etc.

Las vías urbanas atendiendo a la función que realizan, se clasifican en (NC 53-80-1987):

- ❖ Vías expresas: conducen el flujo vehicular rápido de los distritos de viviendas a zonas industriales periféricas del núcleo urbano. Permite además la comunicación del núcleo urbano con la red externa.
- ❖ Arterias principales: este sistema será el encargado de mover el tránsito en dirección hacia las vías expresas y el que proviene de ellas.
- ❖ Calles arterias menores: este sistema interconecta con el sistema arterial principal urbano, aumentándolo y proporcionando servicio de longitud menor que 1,5 Km. Son las encargadas de comunicación de las zonas de viviendas o de industrias entre sí y con los lugares de descanso, en zonas de viviendas son periféricas a los distritos.
- ❖ Calles colectoras: este sistema difiere de los sistemas arteriales en que las vías de este sistema colector pueden penetrar en la vecindad distribuyendo viajes, desde las arterias a través de la superficie hasta su último destino, que puede ser en una calle local o colector.
- ❖ Calles locales: el sistema de calles locales comprende todas las instalaciones que no se encuentran en los sistemas de mayor categoría.

1.3 Clasificación vehicular

Cada país clasifica los vehículos según las características y disposiciones del Ministerio del Transporte. La mayoría de las clasificaciones dependen de la cantidad de ruedas que posee el vehículo y la función que cumplen en la sociedad, ya sea para el transporte de pasajeros o para el transporte de mercancías y combinaciones especiales para actividades específicas. Algunos ejemplos de estas clasificaciones de los vehículos de algunos países como Ecuador, Bolivia, España se aprecian en las tablas. 1.1, 1.2, 1.3, 1.4.

Tabla 1.1. Clasificación vehicular en Ecuador

Categoría	Descripción
Categoría L	Vehículos automotores con menos de cuatro ruedas.
Categoría M	Vehículos automotores de cuatro ruedas o más, diseñados y contruidos para el transporte de pasajeros.

Categoría N	Vehículos automotores de cuatro ruedas o más, diseñados y contruidos para el transporte de mercancías.
Categoría O	Remolques (incluidos semirremolques).
Combinaciones especiales	Realizan una función específica, para la cual requieren carrocerías y/o equipos especiales.

Fuente: ("Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656:2012," 2012).

Tabla 1.2. Clasificación vehicular en Bolivia

Categoría	Descripción
VP	Vehículos livianos como automóviles, camionetas, vagonetas, minibuses, etc.
CO	Vehículos comerciales de dos ejes, comprenden a camiones y autobuses comerciales, normalmente de dos ejes y seis ruedas.
O	Automóviles de mayores dimensiones, y camiones de mayores dimensiones. Los autobuses empleados generalmente para viajes de largas distancias y turismo. Estos vehículos son de mayor longitud que los CO y pueden contar con tres ejes.
SR	Vehículo comercial articulado, compuesto normalmente de una unidad tractora y un semirremolque o remolque de dos ejes o más.

Fuente: Johnson 2004

La tabla 1.3 muestra la clasificación en España, donde se destaca la presencia de dos categorías L, que incluyen los vehículos de motor de menos de cuatro ruedas y los cuadríciclos. Además, en la clasificación se destaca la presencia de vehículos asimilables a otras categorías como el caso de los vehículos de turismo y se especifican los tipos de vehículos para labores agrícolas y para labores constructivas y de servicio.

Tabla 1.3. Clasificación vehicular en España

Categoría	Descripción
Categoría M	Vehículos de motor destinados al transporte de personas y que tengan por lo menos cuatro ruedas.
Categoría N	Vehículos de motor destinados al transporte de mercancías que tengan por lo menos cuatro ruedas.
Categoría O	Remolques (incluidos los semirremolques).
Categoría L	Vehículos de motor con menos de cuatro ruedas.
Categoría L	Vehículos de motor de dos o tres ruedas, gemelas o no, y cuadríciclos, destinados a circular por carretera, así como sus componentes o unidades técnicas.
Categoría T	Tractores agrícolas: Vehículos especiales de dos o más ejes concebidos y contruidos para arrastrar, empujar, llevar o accionar,

	maquinaria o remolques agrícolas.
Otros vehículos asimilables a los M1	Derivado de turismo, vehículo mixto adaptable, auto-caravana.
Otros vehículos asimilables a los de dos o tres ruedas y cuadríciclos	Vehículo especial de cuatro o más ruedas fabricado para usos específicos muy concretos, con utilización fundamentalmente fuera de carretera.
Vehículos agrícolas (excepto tractores)	Motocultor, portador, tracto-carro, remolque agrícola, máquina agrícola automotriz, máquina agrícola remolcada.
Vehículos de obras y servicios	Tractor de obras, máquina de obras automotriz, máquina de obras remolcada, tractor de servicios, máquina de servicios automotriz, máquina de servicios remolcada.

Fuente: ("Directiva 70/156/CEE y 92/61/CEE o el Real Decreto 2140/85," 1985) .

Cuba presenta un parque vehicular muy variado donde se mezclan vehículos de tres generaciones, en algunos casos con más de 60 años de explotación como los autos americanos, o vehículos modernos importados de países desarrollados, lo que provoca diferencias significativas en las velocidades entre los distintos tipos de vehículos, que afectan la capacidad y el nivel de servicio de las carreteras. Dados los cambios en el tránsito cubano, por la recuperación y modernización del transporte, el crecimiento de la circulación de vehículos y peatones en las vías, en el año 2010 se aprueba por la Asamblea Nacional de Poder Popular, la Ley No 109, Código de Seguridad Vial, la clasificación vehicular según esta ley se muestra en la tabla 1.4.

Tabla 1.4. Clasificación vehicular en Cuba

Categoría	Descripción
Automóvil ligero	Vehículo de motor cuyo peso neto no exceda los 3 500 kilogramos.
Automóvil pesado	Vehículo de motor cuyo peso neto exceda de 3 500 kilogramos.
Camión	Vehículo de motor destinado al transporte de carga, cuyo peso máximo autorizado excede las 3,5 toneladas o 3 500 kilogramos.
Ciclo	Vehículo de por lo menos dos ruedas, movido por el esfuerzo muscular de las personas que lo conducen mediante pedales o manivelas.
Ciclomotor	Vehículo de por lo menos dos ruedas con motor térmico de cilindrada inferior a 50 centímetros cúbicos o con motor eléctrico de potencia no superior a 1 000 watt y una velocidad máxima por construcción hasta 50 kilómetros por hora.

Cuña de tracción	Vehículo de motor destinado al arrastre de un semirremolque, no preparado para llevar carga por sí mismo.
Microbús	Automóvil destinado al transporte de personas, cuyo número de asientos es mayor que ocho y no excede de dieciséis, sin contar el del conductor.
Motocicleta	Vehículo de dos o tres ruedas, provisto de motor de propulsión con una cilindrada superior a 50 centímetros cúbicos o pueda desarrollar una velocidad superior a los 50 kilómetros por hora por construcción.
Ómnibus	Vehículo destinado a transportar pasajeros, cuyo número de asientos exceda de dieciséis sin contar el del conductor.
Remolque	Vehículo sin motor arrastrado por un vehículo de motor.
Remolque ligero	Remolque cuyo peso máximo autorizado no exceda de 750 kilogramos.
Semirremolque	Vehículo construido para ser acoplado a otro vehículo tractor o cuña, de tal manera que una parte sustancial de su peso y carga queden soportados por este último.
Sidecar	Aditamento de una sola rueda acoplado a una motocicleta.
Tractor	Vehículo especial de motor, con dos o más ejes, que arrastra o empuja máquinas, aperos, remolques u otros vehículos.
Vehículo de tracción animal	Vehículo arrastrado o tirado por animales.
Vehículo todo terreno	Automóvil particularmente diseñado para transitar por todo tipo de terreno, el cual puede tener tracción en dos o más ruedas.

Fuente: ("Ley No 109 Código de Seguridad Vial en Cuba," 2010).

La clasificación cubana según la Ley No 109, Código de Seguridad Vial, se distingue de las analizadas por no agrupar los tipos de vehículos, sino que muestra una descripción detallada de sus características fundamentales, además que se destacan los vehículos de tracción animal, que no son incorporados en la clasificación vehicular de los países analizados anteriormente.

Según el Centro Provincial de Registro de Vehículos en Villa Clara, el país cuenta con un total de 634 685 vehículos motorizados, de estos 350 860 pertenecen al sector privado y 283 825 pertenecen al sector estatal. En la figura 1.2 se observa que La Habana cuenta con la mayor cantidad de vehículos, con un total de 203 353, lo que representa el 32% del total general. Por su parte, Villa Clara posee 41 306 vehículos motorizados y es la tercera provincia de mayor cantidad del país, con un 6,5% del total general.

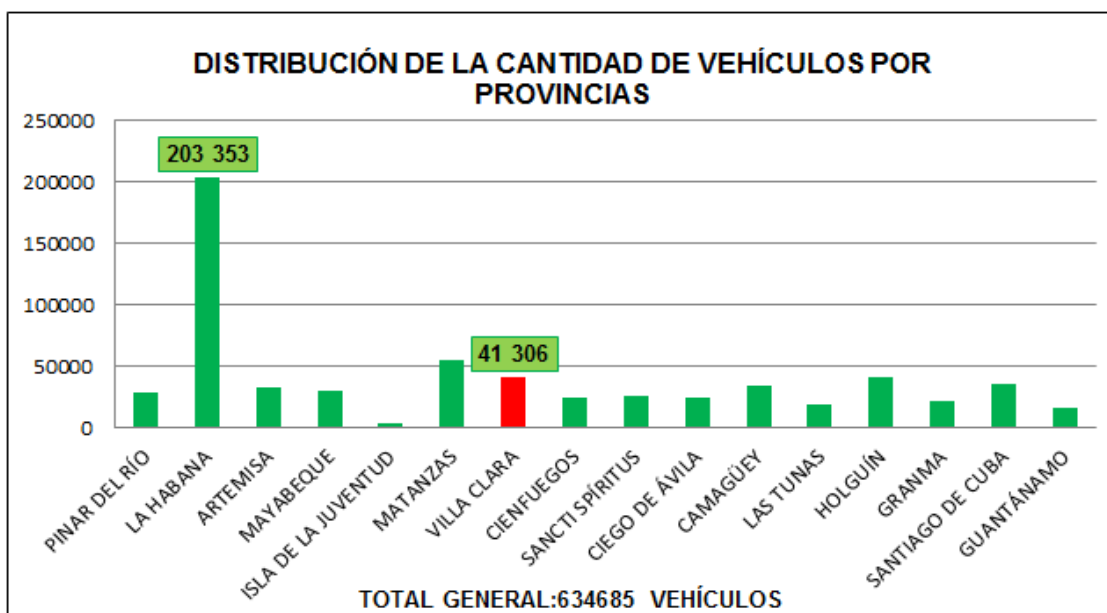


Figura 1.2 Distribución de la cantidad de vehículos por provincias
Fuente: Centro Provincial de Registro de Vehículos en Villa Clara

La cantidad de vehículos motorizados en Cuba se ha incrementado con el transcurso de los años, como consecuencia del desarrollo a nivel mundial. Según el Centro Provincial de Registro de Vehículos en Villa Clara, la provincia después de 1959 ha incrementado de forma intermitente el parque vehicular, donde se destaca la década de los años 80, en la que se incorporaron un total de 18 307 vehículos, como se muestra en la figura 1.3.

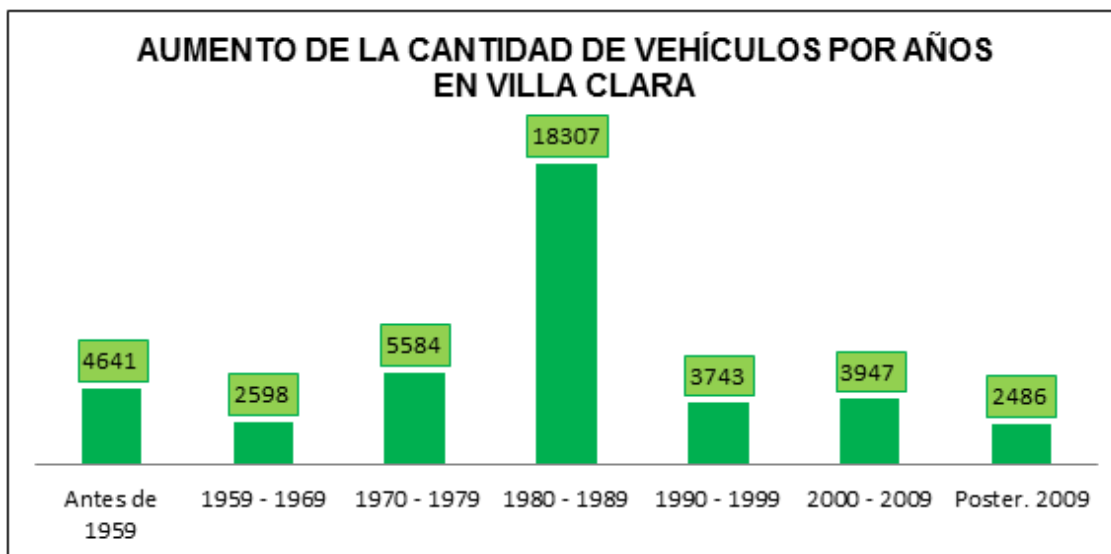


Figura 1.3 Aumento de la cantidad de vehículos por años en Villa Clara
Fuente: Centro Provincial de Registro de Vehículos en Villa Clara

Según datos del Centro Provincial de Registro de Vehículos en Villa Clara, esta provincia cuenta con 17 401 motos, lo que representa el 42,1% del total del parque general de vehículos. La figura 1.4 muestra la cantidad de vehículos para cada una de las clasificaciones vehiculares.

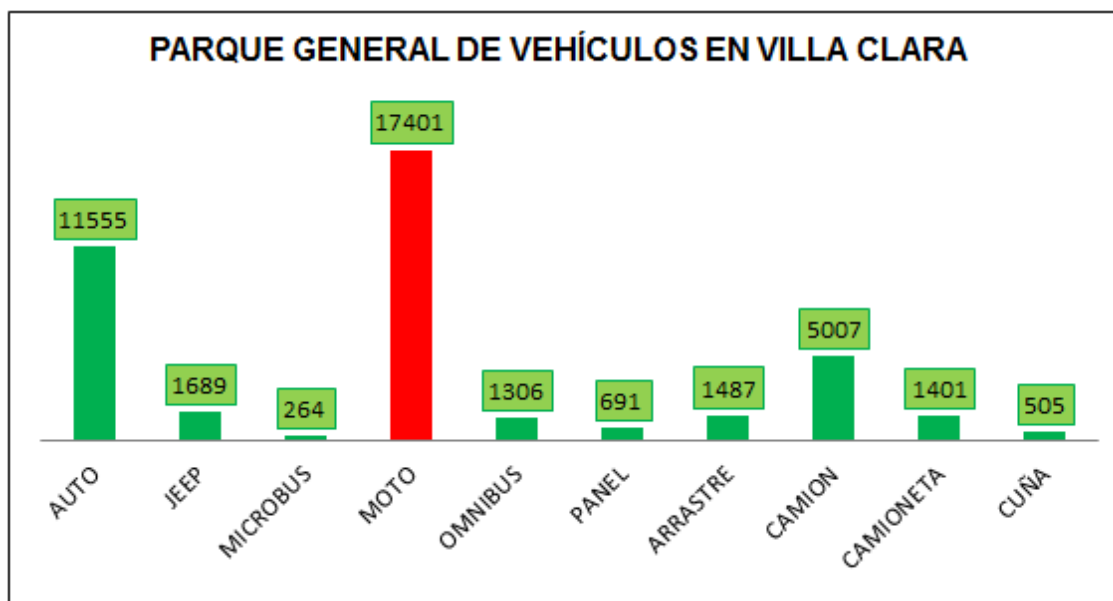


Figura 1.4 Parque general de vehículos en Villa Clara
Fuente: Centro Provincial de Registro de Vehículos en Villa Clara

Estas categorías de vehículos, el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara, las agrupa en función del peso de los vehículos y otras consideraciones en cuanto a la geometría y a la función que realizan, para los diferentes estudios de tránsito que en este centro se ejecutan. La tabla 1.5 muestra estas categorías.

Tabla 1.5. Categorías según el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito	
Categoría	Vehículos que incluye
Ligeros	Autos, microbús (menos de 16 asientos), jeeps, paneles y camionetas.
Pesados	Camiones, arrastres, cuñas, remolques y semirremolques.
Ómnibus	(Más de 16 asientos)
Motos	Ciclomotores y motorinas.
Ciclos	Bicicletas y triciclos.
Equipos especializados	Tractores y equipos de la construcción (grúas, cargadores, etc.)
Vehículos de tracción animal	(Vehículos arrastrados o tirados por animales)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 1.5 aparecen las categorías anteriores según el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito y la cantidad correspondiente a la provincia de Villa Clara. Aquí se destaca que a pesar de que las categorías de ligeros y pesados incluyen una serie de vehículos que se presentaron de forma individual en la figura 1.4, la mayor cantidad continúa en poder de la categoría de motos.

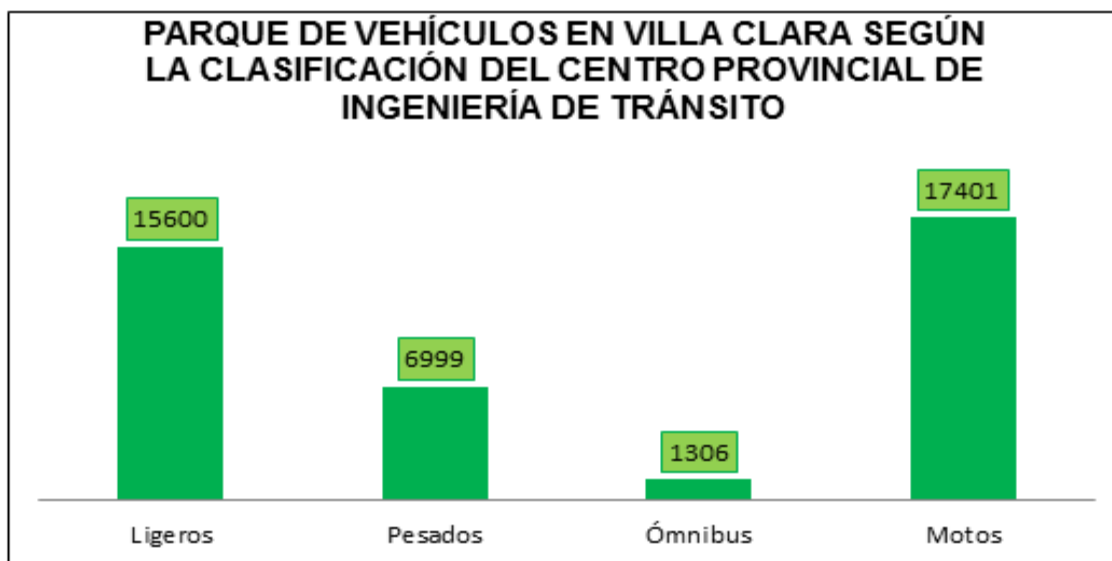


Figura 1.5 Parque de vehículos en Villa Clara según la clasificación del Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito

Fuente: Centro Provincial de Registro de Vehículos en Villa Clara

Los datos brindados en las figuras 1.2, 1.3, 1.4 y 1.5 relacionados con el parque vehicular existente en Cuba y en la provincia de Villa Clara, no incluyen la cantidad de ciclos y de vehículos de tracción animal que circulan tanto en el país como en la provincia anteriormente mencionada. Esto provoca que la cantidad de vehículos que transitan por las carreteras cubanas sean mayores a los expresados con anterioridad, producto a que estos dos tipos de vehículos forman parte de la corriente vehicular.

1.4 Estudio del tránsito en los centros históricos

Los estudios del tránsito en los centros históricos son importantes en la planificación, el planeamiento, la explotación y la conservación de las vías que lo conforman. Determinan las características principales de la circulación, así como la capacidad de un elemento viario y sus condicionantes.

La información obtenida puede ser múltiple, entre las que se destacan las características de tránsito, como la intensidad, composición, velocidad, espaciamiento, intervalo, densidad, distribución, aceleraciones y desaceleraciones, colas o el diagrama espacio-tiempo, también se pueden obtener las matrices origen-destino, los modelos de tránsito y de pronosis de la demanda, la capacidad y Niveles de Servicio en diferentes elementos de las vías y los costos sociales asociados a una infraestructura vial (Tellez, 2001).

Entre los estudios que a nivel internacional se emplean en los centros históricos están: estudios de volumen de tránsito, estudio de velocidad, estudios de demoras, estudios de origen y destino, capacidad y nivel de servicio.

1.4.1 Estudios de Volúmenes de Tránsito

Los estudios de volúmenes de tránsito se realizan con el objetivo de obtener datos reales relacionados con el movimiento de vehículos y personas en la vía. Pueden realizarse en zonas muy amplias de toda la red vial o en lugares específicos como intersecciones aisladas. Las razones para realizar estos estudios son múltiples, y el tipo de dato, así como el tiempo de duración de los mismos depende de la aplicación que se les vaya a dar (Spíndola & Grisales, 1998).

Dentro de los estudios de volúmenes de tránsito se encuentran los aforos vehiculares, los cuales son los que permiten determinar la composición vehicular, los movimientos direccionales, el volumen horario de máxima demanda, la hora de máxima demanda. El primer paso para determinar los volúmenes mencionados anteriormente es hacer el aforo o conteo vehicular (Radelat & Engineers, 2003).

1.4.2 Aforo vehicular durante la hora pico

Según el Manual de Ingeniería de Tránsito, los estudios del tránsito se realizan cuando se desea conocer los volúmenes de tránsito que circulan por una vía, por parte de ella, o por un sistema de vías. Para efectuar un estudio de volumen de tránsito se deben tener en cuenta los siguientes factores (J. Esparza, 2014).

1. Objeto de estudio e información necesaria.
2. Grado de precisión deseado y recursos disponibles.
3. Magnitud de las corrientes vehiculares.
4. Tiempo de organización del estudio.

Los estudios de volúmenes de tránsito se realizan con el objetivo de obtener datos reales relacionados con el movimiento de vehículos y/o personas en la vía. Pueden realizarse en zonas muy amplias de toda la red vial o en lugares específicos como intersecciones aisladas, túneles, estaciones de peaje, etc. Las razones para realizar estos estudios son variadas y el tipo de dato, así como el tiempo de duración de los mismos depende de la aplicación que tenga la investigación. El tipo de datos recolectado en un estudio de volúmenes de tránsito depende mucho de la aplicación que tengan los mismos. Algunos requieren determinar la composición

vehicular y los movimientos direccionales, como el caso de estudio de una intersección urbana, y en otros solo se necesita conocer volúmenes totales. (Cárdenas, 2007).

El aforo es la enumeración de los vehículos que pasan por uno o varios puntos fijos establecidos previamente de una vía, clasificándolos de acuerdo con distintos criterios según el objeto del estudio. A no ser que se enumeren los vehículos de forma continua todo el año, año tras año, los aforos constituyen una toma de muestras que pueden ser desde unos pocos minutos hasta muchos meses. (Cárdenas, 2007).

Existen diversas formas de obtener los conteos de volúmenes de tránsito, para lo cual se ha generalizado el uso de aparatos de medición de diversa índole. Conforme a los procedimientos y equipos empleados pueden distinguirse dos clases principales de aforos: manuales y con instrumentos registradores, aunque a veces también se usa el método de filmación. El período de diseño no debe comprender condiciones en las que se presenten eventos especiales, a menos que se desee estudiar específicamente esa situación. No es recomendable que los aforos se lleven a cabo en días festivos ni en días anteriores y posteriores a estos, tampoco cuando existen condiciones atmosféricas adversas que pudieran afectar el flujo. (Box & Oppenlander, 2008).

Los anteriores métodos permiten conocer el grado de ocupación y las condiciones en que operan las vialidades; así como el análisis de la evolución histórica de la demanda permite definir las tendencias de crecimiento y el momento a partir de los cual ciertos segmentos dejaran de prestar un servicio adecuado, convirtiéndose en cuellos de botella que propicien el estancamiento del desarrollo en lugar de propiciarlo.

Métodos para la realización de aforos

- Aforos manuales

Los aforos manuales consisten en registrar la cantidad de vehículos, por tipo, que cruzan una línea imaginaria en diferentes puntos carreteros y urbanos, con la finalidad de determinar el 100% de los volúmenes de vehículos, así como su composición vehicular.

Los métodos de aforos manuales presentan ventajas y desventajas entre las cuales se encuentran:

- ✓ Ventajas: ayuda a corregir el porcentaje de vehículos de más de dos ejes, con el objetivo de corregir los datos globales obtenidos en los aforos automáticos.

- ✓ Desventajas: duran periodos de tránsito elevados es necesario más de una persona para efectuar los aforos.

Con el objeto de actualizar y detallar las características de tránsito, en un tramo de carretera deben realizarse aforos de corta duración bajo la observación de importantes aspectos locales como puede ser el entorno agrícola, en cuyo caso ha de procurarse realizar aforos en las épocas de siembra y cosecha; o si la zona es de influencia turística, estudiar los periodos normales y los de mayor afluencia del turismo.

Gran parte de los aforos de volúmenes de tránsito se hacen de forma manual. Hay varias razones, en primer lugar, los aforos manuales al ser más económicos se encuentran al alcance de más ingenieros de tránsito. En segundo lugar, en aforos que duran pocas horas no vale la pena llevar, instalar y recoger equipo automático. En tercer lugar, la percepción de los aforadores humanos es siempre mucho más inteligente que la de las máquinas, por perfeccionadas que estas sean, y permite captar muchos detalles que son difíciles de obtener de forma mecánica, tales como los movimientos direccionales de los vehículos y los relacionados con la clasificación de lo que se cuenta.

La mayoría de los aforos manuales son cortos y se hacen en las horas pico, durante una o dos horas, divididas en períodos de 15 minutos. Cuando interesa conocer las variaciones diurnas de los volúmenes, los aforos se hacen de siete de la mañana a siete de la noche, período en el que se considera circula el 70% del volumen diario. Los modelos de campo pueden confeccionarse de forma que se adapten a los requerimientos del aforo.

Dentro de la precisión de los estudios es importante el error estimado de la muestra:

- ✓ Menos del 10% si TPD (Tránsito promedio diario) > 500 vehículos/día.
- ✓ Menos del 20% si TPD < 500 vehículos/día.
- ✓ Nivel de confianza del 95%.
- Aforos automáticos:

Los contadores automáticos deben ser considerados en la mayoría de los aforos en los que se requieren más de 12 horas de datos continuos en el mismo lugar, dado que el costo del personal aumenta proporcionalmente al tiempo. Los contadores automáticos se utilizan para obtener conteos vehiculares en lugares situados a mitad de cuadra o en tramos continuos a campo abierto. Los avances tecnológicos permiten captar cada día más detalles del tránsito, automatizar más las tareas de reducción y análisis de los datos captados y reducir el tamaño del equipo para que sea más fácil de ocultar.

Este tipo de aforo presenta diversas ventajas y desventajas, tales como:

- ✓ Ventajas: bajo costo y extenso tiempo de cobertura.
- ✓ Desventajas: la mayoría de ellos solo proporcionan número de vehículos o ejes y no distinguen el tipo de vehículo, ni su movimiento direccional, ni los peatones y están sujetos al vandalismo.

En la actualidad se cuenta con un tipo de contador para detectar el paso de los vehículos (no sus ejes). Combina las unidades captadoras y acumuladoras en un dispositivo muy pequeño que es completamente independiente y se ubica sobre el pavimento. Puede registrar también la velocidad, tipo y longitud de los vehículos. Un programa informático reduce, analiza los datos captados y produce distintos tipos de gráficos.

- Filmación con análisis automático de imágenes.

Existen otros métodos como la filmación y el uso de cámaras virtuales, mediante las cuales se obtienen una gran precisión, se pueden comprobar datos que parezcan erróneos, además, de captar mucha información simultánea y adicional.

- ✓ Ventajas: es posible obtener todos los movimientos direccionales que ocurran simultáneamente, por intensos que sean, utilizando un solo observador, ofrece mayor confianza pues se puede comprobar datos que parezcan erróneos, se trabaja más cómodamente y al abrigo de las inclemencias del tiempo, permite obtener otros datos que interesen.
- ✓ Desventajas: Puede no resultar económico.
- Otros métodos

Existen otros métodos como el uso de contadores ópticos, laser etc. que son más confiables en los resultados, que tienen mayor duración y resisten mejor a los cambios de tiempo por lo que son tecnologías más costosas y son más utilizadas en lugares permanentes.

1.4.3 Estudios de Velocidad

La velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Es decir, para un vehículo representa su relación de movimiento, usualmente expresada en kilómetros por hora (km/h) (García Depestre, Delgado Martínez, & Díaz García, 2012)

Los estudios de velocidad de punto se realizan con el propósito de determinar la tendencia de velocidades de los vehículos en un tramo especificado y la relación entre accidentes y

velocidad que pueda ayudar a tomar medidas de corrección para evitar accidentes, establecer límites de velocidad máxima y mínima, evaluar los resultados de algún cambio efectuado en las condiciones y controles de tránsito existentes y los efectos de las distribuciones de las velocidades reales en las características de los elementos geométricos de la vía, además de realizar estudios de investigación sobre capacidades, efecto de obstrucciones laterales en la velocidad y teoría de flujo vehicular (Garcia, 1991).

Existen diferentes metodologías para llevar a cabo los estudios de velocidad de punto: método manual, dispositivos automáticos (radar), entre otros. En la actualidad, para la medición directa de las velocidades de punto, se dispone de procedimientos tales como: las técnicas infrarrojas y de láser, los detectores de paso de ruedas temporales (mangueras, tubos de caucho y cintas de contacto), los detectores de lazo inductivo y las técnicas fílmicas de video con reloj integrado (García Depestre et al., 2012).

El método manual más utilizado para el registro de las velocidades de punto es el del cronómetro, en el cual sobre una distancia determinada (de 25 a 80 metros, de acuerdo con la velocidad) que se ha marcado con dos rayas de gris o pintura en el pavimento, se miden los tiempos que tardan los vehículos en recorrerla. El observador se sitúa en un lugar conveniente entre las marcas. Cuando las ruedas delanteras de un determinado vehículo pasan sobre la primera marca, el observador inicia la marcha del cronómetro, y cuando el mismo vehículo toca la segunda marca con las ruedas delanteras, se obtiene la marcha del cronómetro. La velocidad se obtiene dividiendo la distancia prefijada, en metros, entre el tiempo que se requirió para recorrerla, en segundos y centésimas de segundo. El resultado obtenido, en metros por segundo, se convierte a kilómetros por hora (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2007).

Existen también dispositivos automáticos para medir velocidades de punto, entre los cuales se pueden mencionar el radar. Este instrumento, el más empleado actualmente, se basa en el principio fundamental de que una onda de radio reflejada por un vehículo en movimiento experimenta una variación en su frecuencia que es función de la velocidad del vehículo, lo que se conoce como el efecto Doppler. Midiendo el cambio de frecuencia es posible determinar la velocidad del vehículo que la refleja (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2007).

El sistema de medición de velocidad con pistola laser es un sistema desarrollado para medir la velocidad de vehículos que ingresan a una carretera, autopista, etc o cualquier otro lugar donde se desea controlar que no se excedan los límites de velocidades permitidos. Ideal para medir rápidamente y con precisión la velocidad de objetivos móviles. La pistola radar de

velocidad utiliza tecnología digital para ofrecer mediciones instantáneas de velocidad con una precisión de una milla por hora o un kilómetro por hora (Valencia & Fernández, 2007).

1.4.4 Estudio de Demoras

Las informaciones de demora son tomadas cuando el flujo de tránsito se encuentra parado o con retardo excesivo. La duración de la demora de tránsito es medida en unidades de tiempo, anotando la ubicación correspondiente, la causa y la frecuencia de demoras en el viaje (Otero Seminario, 2015).

Las aplicaciones de estudios de demoras en intersecciones son: evaluación de la eficiencia de diversos tipos de control del tránsito en intersecciones, determinación de la necesidad de un semáforo en una intersección determinada, cálculos del costo de las demoras en la evaluación económica de mejoras a la vialidad, evaluación de la geometría de la intersección, análisis de la efectividad de mejoras al tránsito usando estudios de antes y después e investigación relacionada con el flujo del tránsito en intersecciones (Valladares Mejía, 2016).

A continuación, se presentan los métodos para medir demoras en intersecciones (Valencia & Fernández, 2007):

- Métodos de Tiempos de Viaje: Miden el tiempo de viaje desde un punto antes de la intersección hasta un punto después de ésta.
- Métodos de Tiempo durante el cual el vehículo permanece parado: Estos métodos miden sólo las demoras durante las cuales el vehículo permanece parado. Reducciones de velocidad no son consideradas en este método. El procedimiento se describe a continuación:
 - ✓ Determinar el número de vehículos que se paran en un afluente de la intersección en intervalos sucesivos.
 - ✓ Determinar el volumen del afluente, incluyendo los vehículos que paran y los que no paran.

1.4.5 Estudios de origen y destino

Los estudios de origen y destino se adelantan con propósitos de planificación del transporte: localización, diseño, programación de vías nuevas o mejoradas, transporte público y estacionamientos. Un estudio origen y destino recopila datos sobre el número y tipo de viajes entre parejas de sitios de origen y destino dentro de un área de influencia, por lo tanto, requiere definirla mediante una zonificación; permite analizar la movilidad de vehículos y pasajeros. El principal resultado que se busca es obtener la matriz de origen y destino de los viajes de las personas o de los vehículos dentro del área de estudio según propósitos de viaje, horas del día,

tipo de servicio de transporte, tipo de vehículo y su variación a través del tiempo y del espacio (Box & Oppenlander, 2008).

Hay diferentes tipos de estudios de origen y destino, según la precisión y objetivos que quieran alcanzarse; pero todos se basan en el registro de las características de una muestra de viajes vehiculares, personales, cuyos resultados se expanden apropiadamente. Entre las características a recopilar están: origen y destino del viaje, hora del día en que se realiza, duración del mismo, vehículo utilizado, ruta realizada y propósito.

Tipos de viajes susceptibles a ser encuestados:

Según la posición origen y destino de los viajes en relación con el cordón exterior, estos pueden clasificarse de acuerdo a lo que aparece en el siguiente esquema de la figura 1.6.

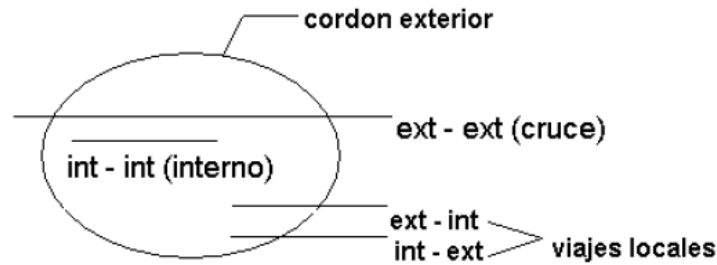


Figura 1.6: Estudios de origen y destino
Fuente: Highway Capacity Manual, versión 2010

Cualquiera de estos tipos de viajes se puede clasificar en viajes personales o vehiculares. Los primeros tienen que ver con las personas, independientemente de las modalidades (colectivas o particulares) que utilicen. Los segundos están asociados a los vehículos (pesados y ligeros) y sus características, se aprecian por las entrevistas al conductor del mismo. Luego, las entrevistas a un grupo de pasajeros de un ómnibus revelan las características de los viajes personales del conjunto de pasajeros. (Gómez & Guzmán, 2006).

Las entrevistas a los conductores de vehículos de carga, taxis, estatales, etc., revelan las características de los viajes vehiculares o los que esa muestra representa. Los que se hacen a una muestra de vehículos privados dan información de viajes, tanto personales como vehiculares de ese tipo el universo que ellas representan (Gómez & Guzmán, 2006).

1.4.6 Capacidad

La capacidad es la tasa o flujo máximo que puede soportar una vía o calle. No depende sólo de las características geométricas. De manera particular, la capacidad de una infraestructura vial

es el máximo número de vehículos y/o peatones que pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes. La capacidad frecuentemente se mide en vehículos por hora (veh/h) (L. G. M. Díaz, 2011).

La infraestructura vial se define como las características físicas de la vía o calle (de tránsito continuo o discontinuo, con o sin control de accesos, dividida o no, de dos o más carriles, etc.); el desarrollo de su entorno; las características geométricas (ancho de carriles y acotamientos, obstrucciones laterales, velocidad de proyecto, restricciones para el rebase y características de los alineamientos); y el tipo de terreno donde se aloja la obra (L. G. M. Díaz, 2011).

1.4.7 Nivel de servicio

Es una medida de calidad que describe las condiciones de funcionamiento de la vía dentro de un flujo de tránsito, en general, en términos de medidas de servicios tales como la velocidad y el tiempo de viaje, la libertad de maniobra, las interrupciones de tráfico, y la comodidad ((J. R. Q. González, 2011).

Los factores que afectan el Nivel de Servicio son: internos y externo. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas, tales como la anchura de los carriles, la distancia lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes, etc (G. R. Esparza, 2015).

Existen varias metodologías para determinar el nivel de servicio para las carreteras de carriles múltiples, Autopistas, carreteras de dos carriles, intersecciones semaforizadas e intersecciones no semaforizadas.

En Cuba el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito utiliza estos mismos estudios del tránsito en los centros históricos para la planificación, el planeamiento la explotación y la conservación de las vías que lo conforman.

1.5 Softwares utilizados para estudios del tránsito en el centro histórico urbano

Las nuevas tecnologías de la informática, software y algoritmos nos permiten realizar simulaciones de los flujos de tráfico, y diversas situaciones que se pueden encontrar en redes tanto urbanas como interurbanas y de manera multimodal. Los simuladores dan una vista “microscópica” de lo que bien puede suceder o no, según unas determinadas situaciones a las cuales les afectan unas u otras causas.

La función de los simuladores es tratar de reproducir un sistema, en el cual se reproducen las sensaciones y experiencias que podrían llegar a suceder. Se encargan de reproducir tanto sensaciones como aceleración y velocidad las cuales son sensaciones físicas que se calculan y reproducen mediante modelos matemáticos complejos adaptados al software. También reproducen el exterior del terreno, en el cual se emplean cartografía o como también proyecciones de base de datos.

Los simuladores más utilizados en el mundo para modelar el tránsito son: Synchro y Simtraffic, desarrollado en los Estados Unidos; Sonido (Simulación en redes viales urbanas con guía dinámica de ruta); Avenue (Avanzado Evaluador Visual para redes viales en zonas urbanas); Aimsun (Avanzado Simulador Microscópico Interactivo para redes Urbanas y no Urbanas) este software ha sido desarrollado por la empresa Transport Simulation System (TSS); Dracula (Ruta Dinámica Asignación Combinando el aprendizaje de usuario y microsimulación) se desarrolla en la Universidad de Leeds Reino Unido, desde 1993; SUMO que significa (Simulación de Movilidad Urbana) fue desarrollado en el año 2000 por el Instituto de Investigación en el transporte (Centro Aeroespacial Alemán) conjunto con el Centro de Informática Aplicada de Colonia (Alemania) (García Ortega, 2012).

Synchro y simtraffic: Es un programa de computación con aplicación en la planificación, diseño, control y optimización de tiempos de semáforos en intersecciones y arterias viales y **simtraffic:** es un programa incorporado a Synchro, con capacidad de modelado, y animación del movimiento vehicular.

Las características del Synchro y Simtraffic son que permite realizar la simulación detallada de la dispersión del flujo vehicular; no existe una limitación al número de accesos en una intersección que se pueden simular; permite su utilización por todo el mundo ya que se puede modelar el sentido de conducción por el lado izquierdo y derecho de la vía; utiliza el sistema de unidades inglesa y métrico; permite realizar una modelación real del tráfico ya que incluye demoras, paradas, consumo de combustibles, rendimientos y formación de colas; posee la capacidad de modificar y optimizar el ciclo de un semáforo (longitud del ciclo, secuencia de fases, posiciones, repartos y compensaciones) (Chacón Pérez & Cuervo Coronado, 2017).

Los simuladores Synchro y Simtraffic se aplican en el análisis de capacidad en intersecciones semaforizadas y no semaforizadas siguiendo la metodología del HCM 2010. Optimización de longitudes de ciclo y tiempos de fases, coordinación de semáforos generando planes de tiempo, optimizando fases, longitud del ciclo y desplazamientos; y genera los diagramas de espacio-tiempo. Modelado y simulación microscópica del tráfico de una intersección o de la red

y crea una animación del mismo. Trabaja con los diferentes tipos de controladores: de tiempo fijo y actuados. (Chacón Pérez & Cuervo Coronado, 2017).

El Synchro 10 es programa que se utiliza en el mundo debido a que permite trabajar en diferentes proyectos y construcción de todo tipo como: edificios, infraestructuras, carreteras, ferrocarriles, puentes, túneles redes de suministros, plantas, industriales, refinerías, centrales de energía renovable, proyecto, mineros y marinos (Jüngst, 2017).

Ventajas del Synchro 10

- ✓ Se puede aplicar a cualquier tipo de proyecto de construcción.
- ✓ Permite trabajar con diferentes tipos de modelos 3D.
- ✓ Permite interactuar tanto sobre la planificación como sobre el modelo, sin afectar los modelos originales.
- ✓ Gestionar y ejecutar el proyecto con total transparencia y confianza.
- ✓ Se pueden hacer simulaciones de la planificación de lo que sería demolición, construcción, instalación, montaje y logística.

Sonido

En el comienzo de los 90, se desarrolla Sonido (Simulación en redes viales urbanas con guía dinámica de ruta). Es muy práctico para evaluar planificaciones de toda una red, pero en áreas más pequeñas está más limitado, este simulador se utiliza para hacer una elección de ruta, usa una función de elección de la misma para una aplicación a gran escala. A causa de ser a gran escala la aplicación los modelos de flujo para este simulador son más simplificados. Sonido es muy práctico para evaluar planificaciones de toda una red, pero en áreas más pequeñas está limitado (García-Ortega, 2015).

Avenue

Este software permite la selección de las rutas dinámicas y para la elección del modelo es necesario saber la “preferencia” de elección de rutas de los conductores. Avenue implementa muchas clases de rutas modelo como: ruta dinámica elección modelo, marco común de modelos de simulación del tráfico de red. Y además es bueno para determinar el tiempo estimado del viaje, Avenue también tiene en cuenta rutas fijas para tipos de vehículos especiales como autobuses o metro ligero (García Ortega, 2012).

Aimsun

Este programa integra los tres tipos de modelo de transporte, es decir, herramientas para la asignación del tráfico estático a nivel macroscópico, un simulador mesoscópico y uno de los microsimuladores más cualificados. Algunas de las aplicaciones que ofrece este programa son: análisis de nuevas infraestructuras, variaciones en la infraestructura, control del tráfico, líneas de transporte público, estudios de viabilidad y medioambientales, gestión del tráfico, etc. (P. A. M. González, 2019).

La ingeniería de tráfico y fuera de línea son las ramas principales en las que trabaja Aimsun, más recientemente, en línea (tiempo real) como decisiones a la gestión de tráfico. Los objetivos que tiene Aimsun principalmente son proporcionar soluciones a corto y medio plazo. Hay importantes interfaces entre esos dos dominios a nivel de metodología y tecnología (Ali et al., 2017).

Dracula

Modelo de microsimulación red dinámica Dracula (Ruta Dinámica Asignación Combinando el aprendizaje de usuario y microsimulación). El enfoque que se le dio fue único para el modelado de redes de tráfico, en el cual se énfasis en la “microsimulación” de opciones y vehículos de los individuos responsables del movimiento del viaje. Este modelo de simulación de tráfico se diseñó con el fin de obtener una herramienta que sirviese para saber la dinámica entre oferta y demanda interacciones en las redes de carreteras. Por esto, la importancia de microsimulación, integrando decisiones responsables, viajes individuales, experiencias y aprendizajes. Todo esto se representa por medio de modelos basados en la asignación dinámica del tráfico microscópico, en modelado explícito de opciones ruta y hora de salida de los individuos del día a día y cómo su experiencia pasada y el conocimiento de la red influye en sus decisiones futuras (López Molina & Vásquez Granda, 2017).

Algunas de las funciones que tiene el software son como en el modelado, respecto a los caminos rurales de dos carriles, el comportamiento del adelantamiento en dichos caminos y la integración plena con un modelo microscópico de las operaciones de transporte público y la demanda de este transporte, ambos son representados (Rodríguez Gaitán, 2012).

Este modelo intenta hacer la representación directa a tiempo real, de los conductores pues este comportamiento varía día a día. El “ withinday” se le suma a todo esto, que consiste en una simulación detallada del tráfico con sus movimientos continuos de vehículos individuales de acuerdo para el coche de seguimiento y las reglas de cambio de carril y controles de tráfico.

También se combina la evolución del sistema de tráfico a través de un cierto número representativo de días para que dentro de una variabilidad de días se incluya la interacción entre la oferta y la demanda (García Ortega, 2012).

Sumo

Sus siglas Sumo significan (Simulación de Movilidad Urbana) Permite la simulación en grades redes de carreteras. El generador de tráfico tiene la opción de importar topologías de diferentes fuentes, incluso crearlas desde cero, utiliza el modelo de coche seguidor, es un simulador multimodal e intermodal en una simulación de flujo de tráfico de espacio discreto y tiempo continuo. Es software de código abierto y esto es debido a dos razones (Pablo González, 2012).

La primera razón fue con el deseo de apoyar el tráfico a la comunidad con una herramienta gratuita la cual posee algoritmos que se pueden implementar. Otros simuladores de tráfico de código abierto también se encontraban disponibles.

La segunda razón para hacer un código abierto fue para obtener el apoyo de otras instituciones.

En la última década Sumo se ha destacado en los servicios públicos de modelado de tráfico que incluyen un camino importado de redes capaces de leer en distintos formatos, utilidades de enrutamiento y generación de demanda que utilizan grandes y altos números de fuentes de entrada (matrices de destino de origen, conteos de tráfico, etc.), una simulación de alto rendimiento utilizable para uniones individuales, o como ciudades enteras incluyendo un control remoto de interfaz (Pablo González, 2012).

La utilización de cualquiera de estos softwares proporciona una serie de ventajas tales como:

- ✓ Conseguir una aproximación de la realidad y comportamiento de las redes de tráfico y poder actuar como mejor sea conveniente.
- ✓ Permiten hacer pruebas con el cambio de señales de tráfico, semáforos.
- ✓ Poder simular casos a tiempo continuo o en días o casos eventuales.
- ✓ Los simuladores suelen ser de bajo coste, usamos de libre licencia.
- ✓ El margen de error a la hora de simular cualquier escena es bajo, ya que puede haber factores externos inesperados en el tráfico.
- ✓ Previsiones para futuros proyectos múltiples.

El factor más importante no es tener un programa único sino tener una forma de comunicación entre ellos. Es claro que todo se facilita si todos trabajan con el mismo programa. Muchas veces es mejor empezar con el uso de programas más simples y emigrar para otros sistemas cuando se tenga un mejor conocimiento de los datos de que se dispone.

1.6 Conclusiones parciales

- En el mundo existen diferentes clasificaciones para los vehículos, las que varían según la función que realizan, la capacidad que poseen y el número de ruedas que tienen. En Cuba la clasificación vehicular según la Ley No 109, Código de Seguridad Vial, muestra de forma directa los tipos de vehículos que circulan en el país, incluso contiene los vehículos de tracción animal, los que no son mencionados en las clasificaciones de los países analizados.
- En la revisión bibliográfica realizada se constata que a nivel internacional existen y se emplean numerosos estudios de tránsito en vías los que pueden ser aplicados al del centro histórico urbano de la ciudad de Santa Clara y la obtención de resultados, para sugerir propuestas que puedan contribuir con el mejor funcionamiento del tránsito en la zona objeto de estudio.
- En el mundo se han desarrollado disímiles tipos de software para realizar la modelación computacional del tránsito en zonas urbanas, siendo por sus características y diversas aplicaciones el Synchro 10 uno de los más empleados.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA ORGANIZACIÓN DEL TRÁNSITO EN LOS CENTROS HISTÓRICOS URBANOS

En el presente capítulo se presenta una metodología que permite analizar la organización del tránsito en los centros históricos urbanos y proponer alternativas que permitan disminuir la congestión vehicular y las demoras mediante la modelación computacional, utilizando el software Synchro 10.

2.1 Generalidades de la metodología para el análisis de la organización del tráfico en los centros históricos urbanos.

En este epígrafe se plantea un orden lógico de la metodología para el análisis de la organización del tráfico en los centros históricos urbanos.

1. Observación de la problemática.
2. Selección de las intersecciones a analizar.
3. Recopilación de datos.
4. Procesamiento y análisis de la información obtenida.
5. Modelación computacional mediante el software Synchro 10.
6. Evaluación y selección de alternativas.

2.2 Observación de la problemática

En los centros históricos urbanos se evidencian elevados valores de congestión, demoras e índice de accidentalidad, provocado fundamentalmente por el incremento constante del flujo vehicular y peatonal; la heterogeneidad del parque vehicular y la existencia de una estructura vial no acorde a las necesidades del tránsito actual, debido a que la trama urbana es de radio concéntrica y las calles que existen en esta zona son estrechas producto a que en la época en que se diseñaron circulaban una menor cantidad de vehículos. Por todo lo anterior se propone observar en el centro histórico urbano los siguientes aspectos:

1. Infraestructura vial. Secciones, longitud, pendiente y otros elementos de interés.
2. Tipos de vehículo que circulan, volúmenes y movimientos en las intersecciones.
3. Señalización vertical y horizontal existente, semáforos, prohibiciones y otros elementos de control existentes en la zona objeto de estudio.
4. Circulación del transporte colectivo urbano y sus paradas.
5. Zonas de circulación peatonal.

2.3 Selección de las intersecciones a analizar

Los centros históricos urbanos poseen un extenso entramado de calles, lo que provoca que no sea posible analizarlas todas, por lo que en la selección de las mismas se deben considerar las características geométricas, del tránsito y de control que presenta la zona que se estudia. Las vías a estudiar deben ser las que posean mayor circulación tanto peatonal como vehicular, las de mayor cantidad de puntos de conflictos y las de mayores tasas de accidentalidad. Además, a la hora de seleccionar las calles a analizar se debe tener en cuenta las vías de interés para el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito.

2.4 Recopilación de datos

Luego de seleccionar las vías a estudiar se procede a determinar las dimensiones de las calzadas y de las aceras, los sentidos de circulación y las señales de tránsito tanto verticales como horizontales, así como el uso de los carriles y las aceras.

Ancho de calzada

La determinación del ancho de la calzada se realiza con una cinta métrica en cada uno de los accesos de la intersección, midiendo desde un extremo hasta el otro de la calzada sin incluir el ancho de las cunetas. El procedimiento mencionado debe realizarse varias veces para verificar la medición realizada, ya que es una vía construida hace varios años.

Ancho de aceras

La determinación del ancho de las aceras se realiza con una cinta métrica en cada uno de los accesos de la intersección, midiendo desde el borde exterior del contén hasta donde termine el ancho de la acera, se mide varias veces para verificar la dimensión seleccionada.

Sentido de circulación

Los sentidos de circulación de cada uno de los carriles que componen cada uno de los accesos de la intersección se determina mediante la observación de los movimientos permitidos que realicen los vehículos al transitar por las vías.

Señales de tránsito

Los dispositivos de señalización se clasifican en señales (Ley No. 109, Código de Seguridad Vial):

- 1) Sonoras: sonidos emitidos por vehículos en circulación y en pasos a nivel que indican cambios en la conducta a seguir en la vía.

- 2) Mediante luces: conjunto de dispositivos eléctricos a colores empleados fundamentalmente en las intersecciones urbanas para otorgar de forma alternativa el derecho de paso de vehículos y peatones.
- 3) Señales verticales: placas y dispositivos de diferentes formas geométricas y colores.
- 4) Señales horizontales: marcas hechas con pintura en el pavimento.

Señales lumínicas

Las señales mediante luces sirven para regular la circulación vial en las intersecciones de las zonas urbanas, se realizan por semáforos que generalmente están divididos en tres secciones distribuidas verticalmente u horizontalmente. Las luces están situadas de arriba abajo o de la izquierda a derecha en el siguiente orden: luz roja, amarilla y la luz verde.

Señales verticales

Se denomina señal vertical al conjunto compuesto por elementos de sustentación, placa y símbolo o leyenda específica inscritos en ella. Estas señales tienen por objetivos la seguridad, eficiencia y comodidad de la circulación. Las señales verticales por su contenido y significado, se dividen en los grupos principales siguientes: grupo A "Señales de peligro o precaución", grupo B "Señales de prioridad", grupo C "Señales de prohibición", grupo D "Señales de obligación", grupo E "Señales de fin de prohibición u obligación", grupo F "Señales de información", grupo G "Señales de orientación" y grupo H "Señales para los pasos a nivel".

Señales horizontales

Las señales horizontales son aquellas marcas viales que se hacen sobre el pavimento y se emplean para regular o encauzar la circulación, advertir e informar a los usuarios de la vía. El empleo de las señales horizontales se rige por las normas generales siguientes: se utilizan solas o con otros medios de señalización, a fin de reafirmar o precisar las indicaciones; son amarillas o blancas, pero su color no indica la regulación, sino el diseño de su trazado en el pavimento; y deben cumplir con los parámetros técnicos adecuados de visibilidad, retro reflexión y resistencia al deslizamiento y a la intemperie.

Las señales horizontales son señales viales que, de acuerdo con el objetivo para el que están destinadas, se clasifican en: marcas paralelas a la circulación; marcas transversales a la circulación; y otras marcas.

2.4.1 Estudio de Ingeniería de Tránsito

Estudio de aforo vehicular

Los estudios sobre volúmenes de tránsito se realizan con el propósito de obtener datos reales relacionados con el movimiento vehicular y peatonal, sobre un punto o sección de la vía; dichos datos se expresan con relación al tiempo, y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de metodologías que permiten estimar la calidad del servicio que el sistema presta a los usuarios (Bustamante Carbo, 2017).

Se define volumen de tránsito, como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o calzada, durante un período determinado, y se expresa como (expresión 2.1).

(Expresión 2.1)

Donde:

N = número de vehículos que pasan por un punto (vehículos).

T = período de tiempo determinado (unidades de tiempo).

Q = vehículos que pasan por unidad de tiempo (vehículos/período).

Para la hora pico (hora de máxima demanda), se llama factor de la hora pico (factor de la hora de máxima demanda), a la relación entre el volumen horario de la hora pico (el volumen horario de máxima demanda), y el volumen máximo en el período pico dentro de la hora pico ($Q_{m\acute{a}x}$), que se expresa durante un período dado dentro de dicha hora (expresión 2.2).

(Expresión 2.2)

Donde:

FHP = Factor hora pico.

VHP = Volumen en la hora pico (veh/h).

$Q_{m\acute{a}x}$ = Volumen en el período pico dentro de la hora pico (veh/min).

N = número de períodos dentro de la hora.

Los aforos se hacen registrando los vehículos que pasan, en una hoja de campo. Los aforadores deben colocarse en lugares donde se distingan bien a los vehículos, pero sin distraer a sus conductores. Los aforos manuales son cortos y se hacen generalmente durante un período de tres horas, divididas en períodos de 15 minutos. Los modelos de campo pueden confeccionarse de forma que se adapten a los requerimientos del aforo. Ver tabla en el anexo I: Modelo para la realización del conteo vehicular.

Estudio de volumen peatonal

El estudio consiste en aforar todos los peatones que cruzan por un acceso (de acera a acera) y los peatones que cruzan en forma diagonal. Estos aforos se realizan durante el mismo período de los aforos vehiculares, ver tabla (Modelo OT-2) en el anexo II.

Al dorso del modelo OT-2 aparece el gráfico de movimiento de peatones en el cual en cada rectángulo se coloca la cantidad de peatones que en realizan el movimiento. Donde dice observaciones se colocan alguna anomalía que pueda existir durante el estudio.

Estudio de demora

El procedimiento consiste en:

1. Un observador registra a intervalos regulares, el número de vehículos que están detenidos en un acceso a la intersección, o parte del mismo.
2. Otro observador anota todos los vehículos que llegan a la intersección durante el período de estudios diferenciándolos en los que se detienen en la intersección y los que no. Ver tabla (Modelo para realizar el estudio de demora en intersecciones) en el anexo III.

De la observación se puede determinar: demora total, demora promedio por vehículo, demora promedio por vehículo parado y el porcentaje de vehículos que se detienen.

- Demora total de tiempo parado (DTP) = (1) * 20
- Demora media de los vehículos que se paran (DMP) = DPT * (2)
- Demora media de parada total (DMPT) = DPT / (3)
- Porcentaje de vehículos que paran = %VP = (2) / (3)

2.5 Procesamiento y análisis

2.5.1 Determinación de los puntos de conflictos

Cuando un conductor se cambia de la ruta sobre la cual conduce realiza maniobras, sale de la corriente de tránsito para entrar a una de diferente trayectoria. En cualquier caso, que exista divergencia, convergencia o cruce existe un conflicto entre los conductores que intervienen en las maniobras. Esto puede incluir a los conductores cuyas trayectorias se unen, cruzan o separan, o pueden abarcar a los vehículos que se aproximan al área de conflicto (García, Bencomo, & Esparza, 2015). Los peatones también pueden entrar en conflicto con la corriente vehicular, ya que, al igual que los flujos vehiculares ocupan una zona que puede ser utilizada por vehículo de la corriente secundaria.

Divergencia

La divergencia es, tal vez, la más simple y fácil de las maniobras que ocurren en una intersección. El área de conflicto comienza en el punto donde la velocidad del vehículo que diverge, se reduce, influyendo en el vehículo siguiente, hasta que el vehículo que realiza la maniobra sale de su trayectoria original. Esta área de conflicto se continúa hasta el punto donde el vehículo que diverge abandona el carril original de su viaje. La divergencia es una

trayectoria común que se separa en dos o tres para tomar distintas direcciones (García et al., 2015).

Convergencia

A diferencia de la maniobra de divergencia, la de convergencia no puede realizarse a voluntad, sino que debe ser diferida hasta que exista un espacio adecuado entre dos vehículos que circulen por el carril al cual se va a incorporar. El área de conflicto se inicia antes que el área potencial de colisión y se extiende a un punto donde el vehículo que converge ha alcanzado, aproximadamente, la velocidad del vehículo que lo antepone. El área de colisión se extiende desde el punto de entrada del vehículo convergente, hasta alcanzar el límite del área de conflicto. La convergencia es dos o más trayectorias que se unen para formar una en común (Pedraza, Hernández, & López, 2012).

Cruce

En el cruce, el área de conflicto comienza en un punto colocado a una distancia del área de la intersección y se extiende a través del área de colisión. El cruce ocurre cuando dos trayectorias ocupan temporalmente el mismo lugar (J. F. Díaz, 2005).

Frecuencia de conflictos

La frecuencia de los puntos de conflicto depende de la intensidad de tránsito que se encuentra en cada trayectoria de flujo. El primer paso es la multiplicación de la intensidad del tránsito, el por ciento de vehículos por movimiento y la cantidad de accesos de la intersección, obteniendo un resultado para cada movimiento permitido. Luego cada resultado anterior se multiplica por la cantidad de conflicto por giro. Después se adicionan los resultados antepuestos para obtener el total de conflictos por hora que se pueden generar en la intersección. La cifra anterior, da el número de motivos de accidentes que existen en una intersección para la intensidad supuesta y revela la necesidad de estudiar su funcionamiento a fin de reducir el número de conflictos posibles (J. F. Díaz, 2005).

2.5.2 Determinación del nivel de servicio mediante la aplicación de la metodología del Manual de Capacidad de Carreteras para intersecciones no semaforizadas.

El siguiente epígrafe presenta estimaciones de nivel de servicio para intersecciones no semaforizadas. La figura 2.1 resume la metodología básica para vías urbanas.

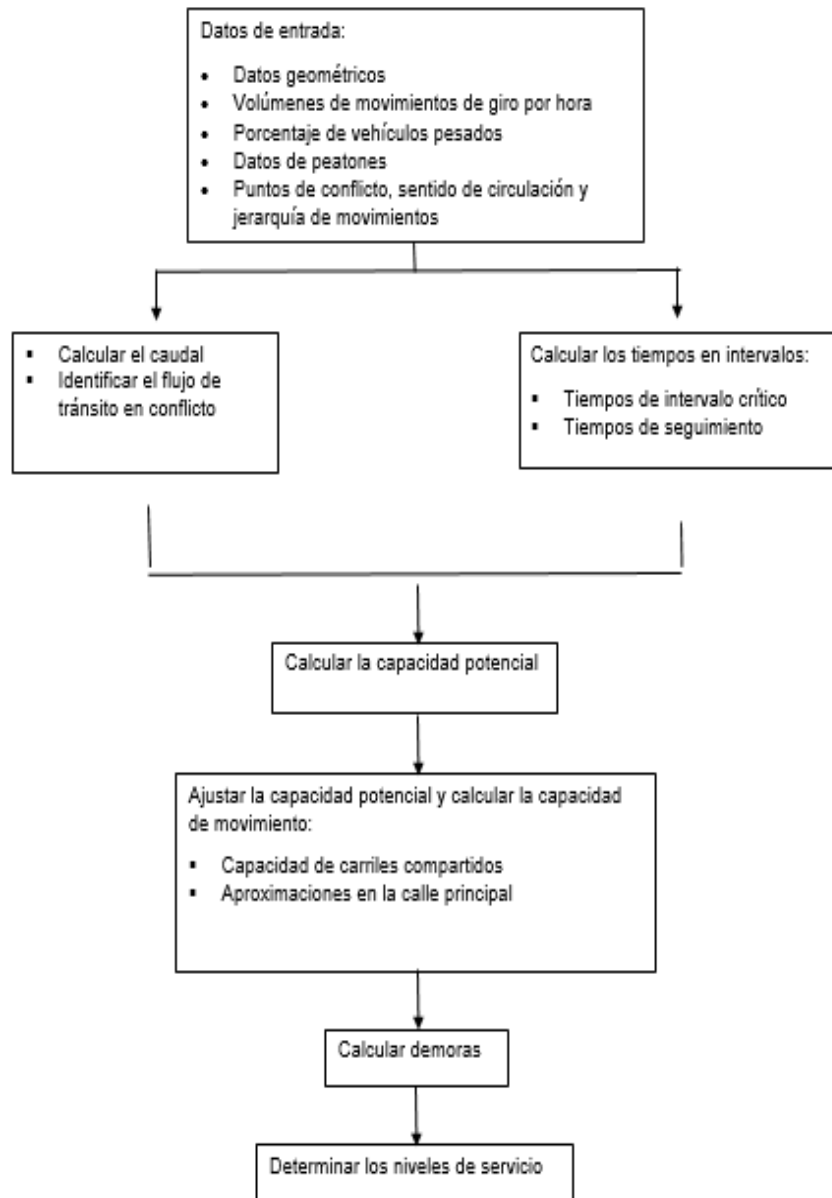


Figura 2.1: Determinación del nivel de servicio

Fuente: Highway Capacity Manual, versión 2010

Puntos de conflicto, sentido de circulación y jerarquía de movimientos

La metodología plantea que se debe identificar la prioridad de los derechos de paso dada a cada flujo de tráfico. Algunos flujos poseen prioridad absoluta, mientras que otros tienen que ceder el movimiento al flujo principal. La figura 2.2 muestra la prioridad relativa de los accesos en las intersecciones de tres y cuatro ramas.

Los movimientos del rango 1 (denotados por el subíndice i) se incluyen a través del tráfico en la calle principal y el tráfico que gira a la derecha desde la calle principal (figura 2.2).

Los movimientos del grado 2 (subordinados a 1 y denotados por el subíndice j) incluyen el tráfico que da vuelta a la izquierda desde la calle principal y da vuelta al tráfico hacia la calle principal (figura 2.2).

Los movimientos de rango 3 (subordinados a 1 y 2 e indicados por el subíndice k) incluyen el tráfico en la calle menor (en el caso de una intersección de cuatro ramas) y el tráfico de giro a la izquierda de la calle menor (en el caso de una calle menor, T-intersección) (figura 2.2).

Los movimientos de rango 4 (subordinados a todos los demás y denotados por el subíndice l) incluyen el tráfico de izquierda de la calle menor. Los movimientos de rango 4 sólo ocurren en las intersecciones de cuatro ramas (figura 2.2).

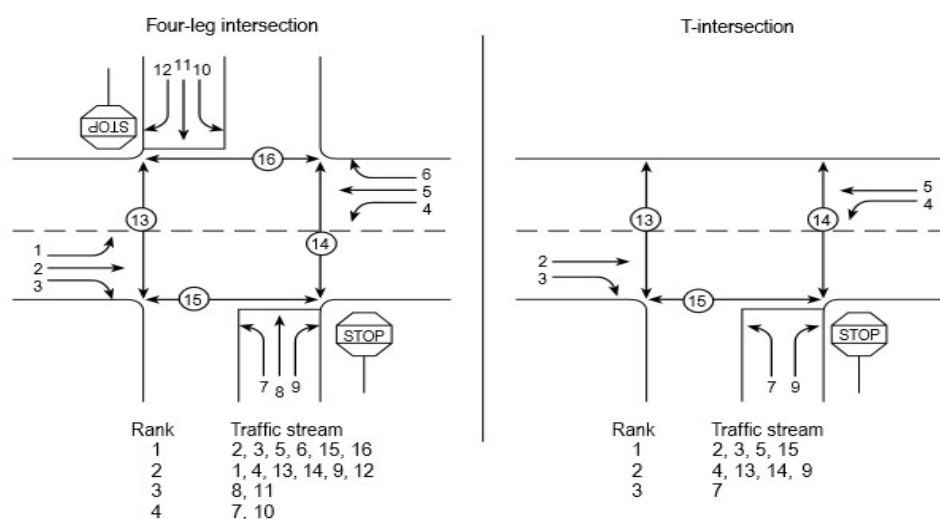


Figura 2.2: Flujo de tráfico en una intersección sin semáforo

Fuente: Highway Capacity Manual, versión 2010

Los peatones también pueden entrar en conflicto con el flujo del tráfico vehicular. Incluidos como parte de los caudales conflictivos, ya que, al igual que los flujos vehiculares, definen el comienzo o el final de un espacio que puede ser utilizado por un vehículo del flujo secundario. Aunque reconoce algunas peculiaridades asociadas con los flujos peatonales, este método adopta un enfoque uniforme para los movimientos vehiculares y peatonales.

Tiempos de intervalo crítico

El intervalo crítico es el tiempo, en segundos, de la parte delantera de un segundo vehículo consecutivo para llegar al punto de partida de la parte delantera del primer vehículo. El intervalo crítico t_{cx} , para un movimiento determinado es definido como el intervalo mínimo promedio aceptado que permite entrar a la intersección para un vehículo de la calle secundaria, su cálculo se representa en la expresión 2.3.

Expresión (2.3)

$$t_{cx} = t_{cb} + (P_{HV} * t_{cHV}) + (G * t_{cG} - t_{cT} - t_{cLT})$$

t_{cx} = intervalo crítico para cada movimiento x (segundos).

t_{cb} = intervalo crítico base, (obtenido de la tabla 2.1), (segundos).

t_{cHV} = factor de ajuste para vehículos pesados (1.0 para calles principales de dos carriles y 2.0 para calles principales de cuatro carriles), (segundos).

P_{HV} = proporción de vehículos pesados para movimientos menores

t_{cG} = factor de ajuste para pendiente (0.1 para los movimientos 9 y 12; 0.2 para los movimientos 7,8,10,11; y 1.0 para otros movimientos), (segundos).

G = pendiente, decimal o porcentaje/100

t_{cT} = factor de ajuste para intervalo aceptado en 2 etapas o fases (1.0 para la primera o segunda etapa del proceso de dos fases y 0.0 para el proceso de una sola fase), (segundos).

t_{cLT} = factor de ajuste por geometría de la intersección (0.7 para el giro a la izquierda de la calle secundaria en la intersección de tres ramas y 0.0 en caso contrario), (segundos).

Tabla 2.1: Tabla para determinar los intervalos críticos bases y los tiempos continuos bases

Intervalos Críticos Bases y Tiempos Continuos Bases			
Movimiento Vehicular	Intervalo Crítico Base, t_{cb} (s)		Tiempo Continuo, t_{fb} (s)
	2 carriles en Calle Principal	4 carriles en Calle Secundaria	
Giro a la izquierda - Calle Principal	4.1	4.1	2.2
Giro a la derecha - Calle Secundaria	6.2	6.9	3.3
Paso directo - Calle Secundaria	6.5	6.5	4.0
Giro a la izquierda - Calle Secundaria	7.1	7.5	3.5

Fuente: Highway Capacity Manual, versión 2010

Tiempos de seguimiento

El tiempo continuo(t_{fx}) para un movimiento determinado es el tiempo mínimo promedio aceptado entre la salida de un vehículo de la calle secundaria y la salida de un segundo vehículo usando el mismo intervalo. El tiempo continuo es calculado sólo bajo condiciones de flujo de cola continuo, su cálculo se representa en la expresión 2.4.

Expresión (2.4)

$$t_{fx} = t_{fb} + (P_{HV} * t_{fHV})$$

t_{fx} = tiempo continuo para movimientos x, (segundos).

t_{fb} = intervalo crítico base, (obtenido de la tabla 2.1), (segundos).

t_{fHV} = factor de ajuste para vehículos pesados (0.9 para calles principales de dos carriles y 1.0 para calles principales de cuatro carriles), (segundos).

P_{HV} = proporción de vehículos pesados para movimientos menores.

Capacidad potencial

Para un movimiento determinado la capacidad potencial se calcula según la expresión 2.5.

$$C_{px} = \frac{3600}{t_{cx} + \frac{V_{c,x}}{C_{px}}} \quad \text{Expresión (2.5)}$$

Donde:

C_{px} = capacidad potencial de movimiento x, (veh/h).

$V_{c,x}$ = tasa de flujo de conflicto para un movimiento x, (veh/h).

t_{cx} = intervalo crítico para cada movimiento x, (segundos).

t_{fx} = tiempo continuo para cada movimiento x, (segundos).

Capacidad de movimiento

La capacidad potencial de los movimientos de calle menor se obtiene en la figura 2.3 para una calle principal de dos carriles y en la figura 2.4 para una calle principal de cuatro carriles. Estas cifras muestran la aplicación de la expresión 2.5 con los valores presentados en la tabla 2.1. La capacidad potencial se expresa como vehículos por hora (veh/h).

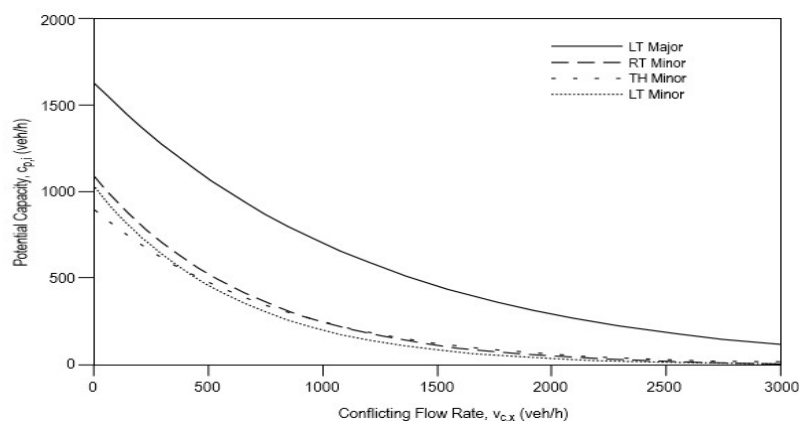


Figura 2.3: Capacidad potencial de movimiento para una calle principal de dos carriles
Fuente: Highway Capacity Manual, versión 2010

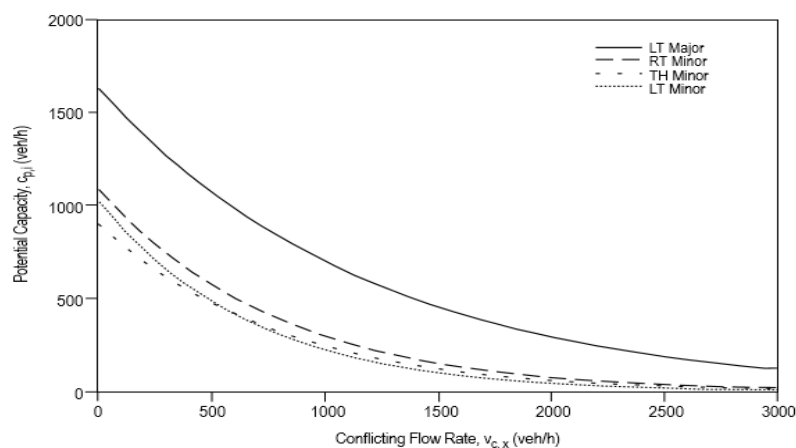


Figura 2.4: Capacidad potencial de movimiento para una calle principal de cuatro carriles

Capacidad de carriles compartidos

Cuando varios movimientos comparten el mismo carril y no pueden detenerse a un lado de la línea de parada, es necesario juntar algunos movimientos y reajustar las nuevas condiciones, la capacidad reajustada de carriles compartidos se calcula según la siguiente expresión 2.6:

$$C_{SH} = \frac{\sum C_{my}}{\sum V_y}$$

Expresión (2.6)

Donde:

C_{SH} = capacidad de carril compartido, (veh/h).

V_y = radio de flujo del movimiento en el carril compartido con otros flujos secundarios, veh/h.

C_{my} = capacidad de movimiento del movimiento en el carril compartido con otros flujos secundarios, veh/h.

Aproximaciones a la calle principal

Cuando no existe un carril de giro exclusivo a la izquierda, los demás movimientos de la calle principal conllevan a demoras por los vehículos que esperan aceptar un intervalo para girar izquierda. Las probabilidades de los movimientos 1 y 4 (jerarquía 2), serán calculados con las ecuaciones siguientes (expresión 2.7 y expresión 2.8):

$$P_{Vj} = 1 - \frac{1 - P_{Vj}}{1 - (P_{Vj} + P_{Vj})}$$

Expresión (2.7)

$$P_{Vj} = 1 - \frac{1 - P_{Vj}}{1 - ((P_{Vj} * P_{Vj}) - (P_{Vj} * P_{Vj}))}$$

Expresión (2.8)

Donde:

P_{Vj} = probabilidad de estado de cola libre para los movimientos j suponiendo un carril de giro a la izquierda exclusivo en la calle principal.

j = 1.4 (giro a la izquierda en la calle principal).

i1 = 2.5 (sentido de frente a la calle principal).

i2 = 3.6 (giro a la derecha en la calle principal).

S_{i1} = tasa de flujo de saturación para los flujos con sentido de frente en la calle principal, (veh/h)

S_{i2} = tasa de flujo de saturación para los flujos con giro a la derecha en calle principal, (veh/h)

V_{i1} = flujo con sentido de frente en la calle principal, (veh/h)

V_{i2} = flujo con giro a la derecha en la calle principal (0 si existe un carril exclusivo para el giro derecha), veh/h.

q_{i1} = volumen de flujo i1, (veh/h).

q_{i2} = volumen de flujo i2, (veh/h).

t_{Bi1} , t_{Bi2} = tiempo continuo requerido por un vehículo en el flujo i1 o i2, (segundos).

Demoras

La demora total es la diferencia entre el tiempo de viaje actual experimentado y el tiempo de viaje referencial. Una porción de la demora total se atribuye al control de medidas, de cualquier señal de pare, que es posible cuantificar. Esta demora es denominada demora controlada. La expresión muestra la demora, pero sólo en condiciones que la demanda sea menor que la capacidad para un período de período de análisis (expresión 2.9).

$$d_x = \frac{3600}{V_x} + (900 * \frac{V_x}{C_{mx}}) [(\frac{V_x}{C_{mx}} - 1) + \sqrt{(\frac{V_x}{C_{mx}} - 1)^2 + 450 * \frac{V_x}{C_{mx}}}] + 5 \quad \text{Expresión (2.9)}$$

Donde:

d_x = demora controlada (seg/veh).

V_x = tasa de flujo para un movimiento x, (seg/veh).

C_{mx} = capacidad de movimiento x, veh.

T = período de tiempo de análisis, h (T = 0.25 para un período de 15 min).

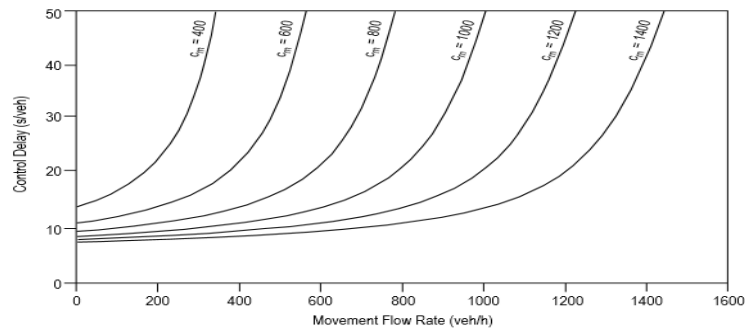


Figura 2.5 Demora controlada
Fuente: Highway Capacity Manual, versión 2010

La demora total de la intersección se determina como un promedio de las demoras en todos los movimientos de la intersección, según la siguiente expresión (2.10).

$$d_t = \frac{\sum (V_x d_x)}{V_t} \quad \text{Expresión (2.10)}$$

Donde:

d_t = demora total en la intersección (seg/veh)

V_x = volumen de cada movimiento (veh/h)

d_x = demora de cada movimiento (seg/veh)

V_t = volumen total de la intersección (veh/h)

Niveles de servicio

El nivel de servicio se determina según la tabla 2.2 en función de la demora controlada, calculada en el paso anterior.

Tabla 2.2: Niveles de servicio

Level of Service	Average Control Delay (s/veh)
A	0–10
B	> 10–15
C	> 15–25
D	> 25–35
E	> 35–50
F	> 50

Fuente: Highway Capacity Manual, versión 2010

2.4 Modelación computacional de la información obtenida

Atendiendo a las características del software Synchro 10 se determina el empleo del mismo en la presente investigación. Synchro 10 es un completo paquete de software para la modelación, optimización, gestión y simulación de sistemas de tráfico que incluye:

- Synchro programa que se utiliza para realizar el análisis macroscópico y la optimización del tráfico.
- SimTraffic software potente y fácil de utilizar para realizar la simulación del tráfico.
- 3D Viewer una vista tridimensional de simulaciones SimTraffic.

Una vez abierto el programa aparece en pantalla la siguiente imagen, que en la parte superior se puede observar la barra de menús y una barra de herramientas donde están todos los comandos que permite diseñar el modelo ver figura 2.6.

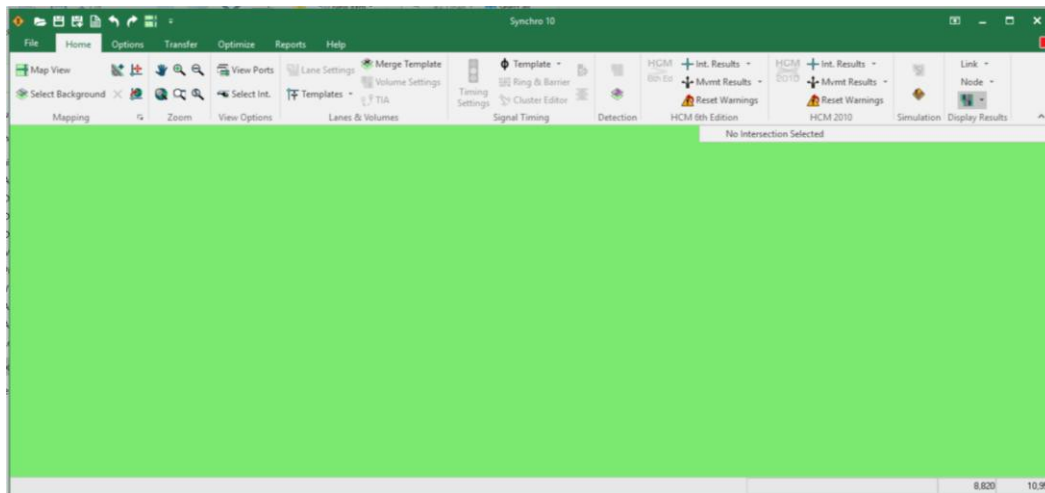


Figura 2.6: Aria de dibujo y botones de información

Fuente: Elaboración propia

Para comenzar a modelar la zona objeto de estudio lo primero que se debe hacer es trazar las calles de la intersección, esto se puede hacer de dos formas:

1. Utilizando el comando Add Linck, el cual permite realizar el trazado de las calles.

- Mediante la utilización del comando Select Background (ver figura 2.7), dicho comando posibilita insertar una imagen o un plano de la intersección de la zona objeto de estudio; posteriormente es necesario definir la escala en la que se trabaja para posteriormente realizar el trazado de las calles utilizando el comando mencionado en el punto anterior.

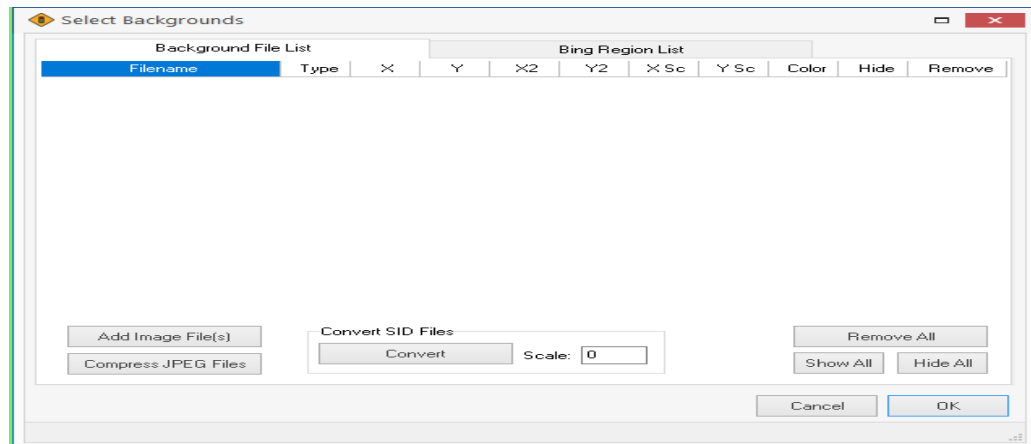


Figura 2.7: Selección de fondo
Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar el diseño de la intersección de la zona que se quiere estudiar, se procede a insertar los datos relacionados con las características de las vías que convergen en la intersección para esto se utiliza el comando Lane Setting el cual permite introducir elementos como: las pendientes y el ancho de cada calle, la velocidad, el tipo de zona y el tiempo de viaje como se observa en la figura 2.8.

LANE SETTINGS	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Traffic Volume (vph)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Future Volume (vph)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Street Name												
Link Distance (ft)	1058			1219			820			653		
Link Speed (mph)	30			30			30			30		
Set Arterial Name and Speed	EB			WB			NB			SB		
Travel Time (s)	24.0			27.7			18.6			14.8		
Ideal Satd. Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lane Width (ft)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Grade (%)	0			0			0			0		
Area Type CBD	☐			☐			☐			☐		
Storage Length (ft)	0		0	0		0	0		0	0		0
Storage Lanes (#)												
Right Turn Channelized			None			None			None			None
Curb Radius (ft)												
Add Lanes (#)												
Lane Utilization Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Right Turn Factor												
Left Turn Factor (prot)												
Saturated Flow Rate (prot)												
Left Turn Factor (perm)												
Right Ped Bike Factor												
Left Ped Factor												
Saturated Flow Rate (perm)												
Right Turn on Red?	☒		☒	☒		☒	☒		☒	☒		☒
Saturated Flow Rate (RTOR)												
Link Is Hidden	☐			☐			☐			☐		
Hide Name in Node Title	☐			☐			☐			☐		

Figura 2.8: Configuraciones de los carriles
Fuente: Elaboración propia

Además, de insertar las características de las calles que convergen en la intersección es necesario introducir los datos relacionados con el movimiento vehicular en la zona objeto de estudio, el volumen vehicular y peatonal, para esto se utiliza el comando Volume Settings, ver

figura 2.9. Este comando también permite insertar datos de interés en la zona objeto de estudio como el porcentaje de vehículos pesados, las maniobras de parqueos y las paradas de ómnibus.

VOLUME SETTINGS	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Traffic Volume (vph)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Development Volume (vph)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Combined Volume (vph)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Future Volume (vph)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Conflicting Peds. (#/hr)	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0
Conflicting Bicycles (#/hr)	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0
Peak Hour Factor	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Adjusted Flow (vph)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heavy Vehicles (%)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Bus Blockages (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adj. Parking Lane?	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Parking Maneuvers (#/hr)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Traffic from mid-block (%)	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—
Link OD Volumes	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Traffic in shared lane (%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lane Group Flow (vph)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 2.9: Configuración de volumen

Fuente: Elaboración propia

El comando Signing Settings posee elevada importancia, ya que el mismo permite introducir el tipo de control existente en la intersección, posibilitando modelar vías señalizadas, rotondas, y vías semaforizadas. Además, este comando tiene una elevada importancia, pues permite modificar las condiciones de control imperantes en la zona y de esta forma evaluar cómo influyen los cambios propuestos en la intersección que se estudia, ver figura 2.10.

Map View		View Ports		Lane Settings		Merge Template		Volume Settings		STOP		Template		Phasing Settings		Detection Settings		HCM 6th Ed									
Select Background		Select Int.		Templates		TIA		Signing Settings		Ring & Barrier		Cluster Editor		TSD		Detector Template		HCM 6th Ed									
Mapping		Zoom		View Options		Lanes & Volumes		Signal Timing		Detection		HCM 6th Ed															
X		Y		Z		A		B		C		D		E		F		G									
NODE SETTINGS		HCM 2000 SIGNING SETTINGS		EBL		EBT		EBR		WBL		WBT		WBR		NBL		NBT		NBR		SBL		SBT		SBR	
Node #		17																									
Zone:																											
X East (ft)		452																									
Y North (ft)		-434																									
Z Elevation (ft)		0																									
Description																											
Control Type		Unsig																									
Max v/c Ratio:		0.00																									
Intersection Delay (s)																											
Intersection LOS:																											
ICU:		0.41																									
ICU LOS:		A																									

Figura 2.10: Señalización de la intersección

Fuente: Elaboración propia

Existen otros comandos como los que se pueden observar en la figura 2.11 que permiten observar la relación volumen capacidad, demoras, el nivel de servicio para cada una de las intersecciones, flujo ajustado, numero de fases el comienzo del tiempo de verdes y el comienzo del tiempo de amarillo etc.

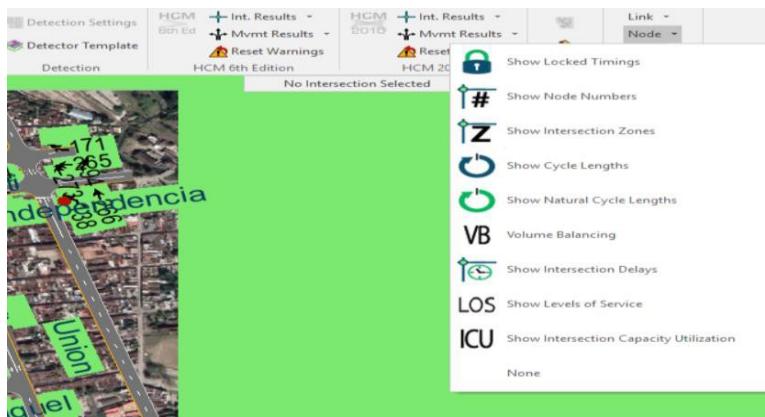


Figura 2.11: Resultados de las intersecciones

Fuente: Elaboración propia

2.6 Evaluación y selección de alternativas

Luego de determinar el nivel de servicio y la capacidad en las intersecciones seleccionadas, así como realizada la modelación computacional de la zona objeto de estudio se procede a evaluar el comportamiento del tránsito en el centro histórico urbano analizado, así como a detectar las principales deficiencias existentes. En las intersecciones donde se detecten problemas o insuficiencias se procede a aplicar soluciones alternativas con vista a disminuir las deficiencias divisadas.

2.6.1 Análisis de los resultados

Entre los estudios de tránsito que se realizan para evaluar el funcionamiento de la calidad de circulación de una intersección se destacan los estudios de volúmenes, demoras y nivel de servicio se obtiene la situación actual de las vías objeto de estudio, ello es posible hacerlo de forma manual o utilizando el software, si se introducen cambios en la geometría de la vía o el transito es posible confeccionar variantes para realizar los análisis y seleccionar la mejor alternativa de trabajo.

2.6.2 Propuesta de mejoras encaminadas a solucionar los problemas detectados

En Cuba las propuestas de mejoras encaminadas a solucionar los problemas detectados (congestión, demoras, accidentes y problemas ambientales), se materializan mediante medidas, acciones de conservación e inversiones con el fin de buscar un equilibrio entre la oferta y la demanda para satisfacer las necesidades del vehículo moderno. Estas mejoras pueden ser desde la modificación de las características geométricas de la vía hasta actividades que fomenten la educación vial del usuario, también se puede realizar planes integrales de movilidad, basados en estudios de diagnóstico sobre los problemas predominantes en la

ciudad, y teniendo en cuenta las particulares formas y modos de desplazamiento de cada localidad.

2.7 Conclusiones parciales

- Se expone mediante una secuencia de pasos, el procedimiento para la evaluación del funcionamiento de la calidad de circulación en una intersección urbana sin semáforo.
- La selección de las calles para la investigación se realiza considerando las características geométricas, del tránsito y de control que presenta la zona que se estudia, además deben ser las que posean mayor circulación tanto peatonal como vehicular, las de mayor cantidad de puntos de conflictos y las de mayores tasas de accidentalidad.
- Se aplica la metodología planteada en el Highway Capacity Manual, versión 2010 (HCM versión 2010), para la evaluación y determinación del nivel de servicio en una intersección urbana sin semáforo.
- Se utiliza el software computacional Synchro Simtraffic 10, dadas las ventajas del mismo, para la realización de la modelación de la zona objeto de estudio.

CAPITULO III. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO Y MODELACION COMPUTACIONAL MEDIANTE EL SOFTWARE SYNCHRO 10.

En el tercer capítulo de la presente investigación se desarrolla la metodología propuesta en el capítulo II, con el fin de determinar las zonas con elevados valores de congestión vehicular y los mayores índices de demoras, para lograrlo se realiza una modelación de la intersección utilizando el software Synchro 10. Los resultados alcanzados son analizados con el objetivo de proponer alternativas que permitan optimizar el tránsito en el centro histórico urbano de la ciudad de Santa Clara.

3.1 Observación de la problemática

Luego de realizar una primera visita en el centro histórico urbano de la ciudad de Santa Clara se observan calles estrechas y de secciones irregulares, lo que provoca que la estructura vial existente en esta zona no sea acorde con el tránsito que circula en la actualidad, propiciado fundamentalmente por el incremento de la circulación de vehículos y peatones, debido al desarrollo turístico, al aumento poblacional y al incremento de camiones y ómnibus para el transporte de carga y personas.

La heterogeneidad del parque vehicular es otra problemática observada; la cual es causada por la circulación de disímiles tipos de vehículos sus diferentes años de explotación y las variaciones en las tasas de aceleración y desaceleración. En las vías transitan transportes colectivos urbanos, lo que conlleva a que en las paradas de ómnibus ocurran disímiles problemas de congestión y demoras, producto de la estrechez de las calles y la existencia estacionamiento de vehículos dentro de los carriles de circulación vehicular.

Otra problemática encontrada es la circulación de peatones por las calzadas debido a que los anchos de las aceras son demasiado pequeños para el tránsito de dos o más personas en filas y la presencia de obstáculos que obstruyen la circulación de los peatones.

3.2 Selección de las intersecciones a analizar

En el presente trabajo de diploma se seleccionan un total de diez intersecciones urbanas, para la selección de las mismas se considera lo planteado en el epígrafe 2.3. Las calles seleccionadas en su mayoría pertenecen a la categoría funcional de colectoras dentro de la trama urbana. Ellas son Cuba y Nazareno (1); Colón y San Miguel (2); Rafael Tristá y Colón (3); Marta Abreu y Alemán (4); Independencia y Unión (5); Maceo e Independencia (6,); Unión y Martí (7); Maceo y Martí (8); Martí y Luis Estévez (9); y Martí y Máximo Gómez (10), ver esquema general de las intersecciones a estudiar en la figura 3.1.



Figura 3.1 Intersecciones a estudiar

Fuente: Elaboración propia

3.3 Recopilación de datos

En la recopilación de datos de la zona objeto de estudio se tienen en cuenta diferentes características como: ancho de la calzada, ancho de las aceras, sentidos de circulación y señales del tránsito. El levantamiento de la zona se realiza manualmente mediante visitas al lugar (trabajo de campo), con la utilización de varios instrumentos. En las tablas 3.1 a la 3.10 se observan los valores de los datos recopilados para cada intersección analizada.

Tabla 3.1: Características de la intersección calle Cuba y Nazareno

Característica	Acceso: Calle Nazareno	Acceso: Calle Cuba
Ancho de la calzada	4.50 m	4.50 m
Ancho de la acera	0.90 m (ambas aceras)	0.90 m (ambas aceras)
Número de carriles por sentido	2 carriles (1 sentido de circulación)	2 carriles (1 sentido de circulación)
Sentido de circulación	Recto y derecha	Recto e izquierda
Señales del tránsito	F-9 (Parada de ómnibus), F-1(sentido único) y B-1 (Pare)	B-5 (Vía con prioridad) y F-1(sentido único)

Fuente de graduación propia

Tabla 3.2: Características de la intersección Calle Colón y San Miguel

Característica	Acceso: San Miguel	Acceso: Calle Colón
Ancho de la calzada	6.00 m	6.30 m
Ancho de la acera	0,65 m (derecha) y 1,10 m (izquierda)	0,95 m (derecha) y 1,10 m (izquierda)
Número de carriles por sentido	2 carriles (1 sentido de circulación)	2 carriles (1 sentido de circulación)
Sentido de circulación	Recto y derecha	Recto e izquierda
Señales del tránsito	C-8 (Circulación prohibida a vehículos de trac. Animal), B-1 (Pare), F-1(sentido único).	B-5 (Vía con prioridad), A-26 (Niños), zona de carga, C-6 (circulación prohibida).

Fuente de graduación propia

Tabla 3.3: Características de la intersección Calle Rafael Tristán y Colón

Característica	Acceso: Rafael Tristán	Acceso: Calle Colón
Ancho de la calzada	10.80 m	6.30 m
Ancho de la acera	0,90 m (derecha) y 2,45 m (izquierda)	0,65 m (ambas aceras)
Número de carriles por sentido	2 carriles (1 sentido de circulación)	2 carriles (1 sentido de circulación)
Sentido de circulación	Recto e izquierda	Recto y derecha
Señales del tránsito	F-9 (Parada de ómnibus), zona de carga, F-1(sentido único).	F-9 (Parada de ómnibus), C-8 (Circulación prohibida a vehículos de trac. Animal), C-6 (circulación prohibida). B-2 (Ceda el paso).

Fuente de graduación propia

Tabla 3.4: Características de la intersección calle Marta Abreu y Alemán

Característica	Acceso: Calle Marta Abreu	Acceso: Calle Alemán
Ancho de la calzada	7.50 m	5.90 m
Ancho de la acera	0,90 m (ambas aceras)	1,10 m (derecha) y 1,00 m (izquierda)
Número de carriles por sentido	2 carriles (1 sentido de circulación)	2 carriles (1 sentido de circulación)
Sentido de circulación	Recto e izquierda	Recto y derecha
Señales del tránsito	B-5 (Vía con prioridad), F-9 (Parada de ómnibus), zona de carga, F-1(sentido único), C-26 (prohibido estacionar).	B-1 (Pare), F-1(sentido único).

Fuente de graduación propia

Tabla 3.5: Características de la intersección calle Independencia y Unión

Característica	Acceso: Calle Unión	Acceso: Calle Independencia
Ancho de la calzada	4.50 m	5.40 m
Ancho de la acera	0.70 m (ambas aceras)	1.00 m (derecha) y 1.15 m (izquierda)
Número de carriles por sentido	2 carriles (1 sentido de circulación)	2 carriles (1 sentido de circulación)
Sentido de circulación	Recto y derecha	Recto y derecha
Señales del tránsito	B-1 (Pare), F-1(sentido único), C-26 (prohibido estacionar).	B-5 (Vía con prioridad), F-1(sentido único).

Fuente de graduación propia

Tabla 3.6: Características de la intersección calle Maceo e Independencia

Característica	Acceso: Calle independencia	Acceso: Calle Maceo
Ancho de la calzada	5.00 m	5.40 m
Ancho de la acera	1,05 m (derecha) y 0,90 m (izquierda)	1,00 m (derecha) y 0,70 m (izquierda)
Número de carriles por sentido	2 carriles (1 sentido de circulación)	2 carriles (1 sentido de circulación)
Sentido de circulación	izquierda	Recto
Señales del tránsito	F-1(sentido único) y B-1 (Pare)	B-5 (Vía con prioridad), F-9 (Parada de ómnibus), F-1 (sentido único), A-26 (Niños)

Fuente de graduación propia

Tabla 3.7: Características de la intersección calle Unión y Martí

Característica	Acceso: Calle Unión	Acceso: Calle Martí
Ancho de la calzada	5.30 m	6.10 m
Ancho de la acera	0,85 m (ambas aceras)	1,05 m (derecha) y 0,85 m (izquierda)
Número de carriles por sentido	2 carriles (1 sentido de circulación)	2 carriles (1 sentido de circulación)
Sentido de circulación	Recto y derecha	Recto e izquierdo
Señales del tránsito	B-5 (Vía con prioridad), F-1(sentido único) y A-26 (Niños)	F-1(sentido único) y B-1 (Pare)

Fuente de graduación propia

Tabla 3.8: Características de la intersección calle Maceo y Martí

Característica	Acceso: Calle Maceo	Acceso: Calle Martí
Ancho de la calzada	5.70 m	4.60 m
Ancho de la acera	0,65 m (derecha) y 0,85 m (izquierda)	1,00 m (derecha) y 0,80 m (izquierda)
Número de carriles por sentido	2 carriles (1 sentido de circulación)	2 carriles (1 sentido de circulación)
Sentido de circulación	Recto e izquierdo	Recto y derecha
Señales del tránsito	B-5 (Vía con prioridad), F-9 (Parada de ómnibus), F-1(sentido único), A-26 (Niños)	F-1(sentido único), B-1 (Pare) y A-26 (Niños)

Fuente de graduación propia

Tabla 3.9: Características de la intersección calle Martí y Estévez

Característica	Acceso: Calle Martí	Acceso: Calle Luis Estévez
Ancho de la calzada	5.10 m	5.20 m
Ancho de la acera	1,25 m (derecha) y 0,90 m (izquierda)	0,80 m (derecha) y 1,00 m (izquierda)
Número de carriles por sentido	2 carriles (1 sentido de circulación)	2 carriles (1 sentido de circulación)
Sentido de circulación	Recto e izquierdo	Recto y derecha
Señales del tránsito	B-5 (Vía con prioridad), F-9 (Parada de ómnibus), F-1(sentido único), C-21 (Prohibido doblar a derecha), zona de descarga	F-1(sentido único), pare y A-26 (Niños)

Fuente de graduación propia

Tabla 3.10: Características de la intersección Calle Martí y Máximo Gómez

Característica	Acceso: Calle Martí	Acceso: Calle Máximo Gómez
Ancho de la calzada	4.70 m	5.30 m
Ancho de la acera	0,90 m (derecha) y 1,10 m (izquierda)	1,15 m (derecha) y 1,20 m (izquierda)
Número de carriles por sentido	2 carriles (1 sentido de circulación)	2 carriles (1 sentido de circulación)
Sentido de circulación	Recto e derecha	Recto e izquierdo
Señales del tránsito	B-5 (Vía con prioridad), F-1 (sentido único), C-8 (Circulación prohibida a vehículos de trac. Animal), C-6 (circulación prohibida)	F-1(sentido único), B-1 (Pare) y zona de descarga

Fuente de graduación propia

Los datos recopilados muestran que las calles analizadas poseen un solo sentido de circulación y dos carriles por sentido, las aceras de forma general son estrechas con un ancho promedio

de 1 metro, lo que imposibilita el tránsito de dos personas al mismo tiempo. En la zona objeto de estudio el tráfico se encuentra regulado solamente por señales verticales, aunque es importante mencionar que existe una adecuada señalización.

3.3.1 Estudio de ingeniería de tránsito

3.3.1.1 Estudios de volumen vehicular

El estudio de volumen vehicular se realiza mediante aforos de tránsito manuales durante dos horas, desde las 7:00am-9:00am, divididos en períodos de 15 minutos. Los modelos de campo se realizan de acuerdo con la clasificación vehicular propuesta por el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito.

Cada intersección cuenta con tablas y gráficos que facilitan la comprensión de los resultados, estos estudios se encuentran en el Anexo IV del presente trabajo de diploma. En las tablas 3.11, 3.12 y 3.13 se presentan los resultados del aforo vehicular, condiciones de tránsito y la composición vehicular en la intersección calle Colón y calle San Miguel.

Tabla 3.11: Aforo vehicular (vehículos mixtos) en la intersección calle Colón y calle San Miguel

Hora	Calle Colón			Calle San Miguel		
	I	R	Total	R	D	Total
7:00-7:15	5	53	58	18	9	27
7:15-7:30	14	121	135	58	9	67
7:30-7:45	16	164	180	61	11	72
7:45-8:00	15	159	174	68	10	78
8:00-8:15	32	165	197	56	19	75
8:15-8:30	28	174	202	82	15	97
8:30-8:45	24	136	160	74	12	86
8:45-9:00	26	148	174	77	15	92
Total	160	1120	1280	494	100	594

Fuente de graduación propia

Tabla 3.12: Condiciones de tránsito en la intersección calle Colón y calle San Miguel

Condiciones de tránsito	Calle Colón	Calle San Miguel	Total
Hora Pico	7:30-8:30 am	8:00-9:00 am	7:30-8:30 am
Volumen de la Hora Pico	753 veh/h	350 veh/h	1075 veh/h
Factor Hora Pico	FHP = 0,96	FHP = 0,90	FHP = 0,90
Flujo máximo para los 15 más cargados en la Hora Pico	Qmáx = 197 veh mixtos	Qmáx = 97 veh mixtos	Qmáx = 299 veh mixtos

Fuente de graduación propia

Tabla 3.13: Composición vehicular en la intersección calle Colón y calle San Miguel

Tipos de Vehículos	Calle Colón		Calle San Miguel	
	Total	%	Total	%
Veh. ligeros	137	18	63	18
Veh. pesados	5	1	2	1
Ómnibus	32	4	7	2
Motos	390	52	151	43
Ciclos	126	17	114	33
VTA	54	7	0	0
Otros	9	1	13	4
Total	753	100.00	350	100

Fuente de graduación propia

Las tablas 3.11 y 3.12 pertenecientes a los estudios de aforos vehiculares de la intersección calle Colón y calle San Miguel muestran que la hora pico es de 7:30 a 8:30 am con un volumen de 1075 vehículos mixtos por hora, el flujo máximo para períodos de 15 minutos corresponde al de las 8:15-8:30 am con un valor de 299 vehículos mixtos por hora. El factor de la hora pico es de 0.90, lo que representa una distribución aproximadamente uniforme del flujo vehicular durante toda la hora pico en la intersección por estar dicho factor cercano a la unidad.

La tabla 3.13 muestra la composición vehicular de la intersección calle Colón y calle San Miguel; donde se observa que el mayor porcentaje de vehículos que circulan en dichas zonas son motores, vehículos ligeros y ciclos; mientras que los vehículos pesados y los vehículos que se clasifican como otros son los que poseen una menor presencia dentro de la zona objeto de estudio.

La tabla 3.14 muestra de forma resumida para todas las intersecciones analizadas la hora de máxima demanda, la hora pico, el factor hora pico y el volumen vehicular de los quince minutos más cargados.

Tabla 3.14. Tabla resumen de los aforos vehiculares en cada intersección.

Intersecciones	Hora pico (hora)	VHMD(veh)	FHP	(Q _{máx15}) veh
Cuba - Nazareno	8:00-9:00	421	0.91	117
Colón - San Miguel	8:00-9:00	1083	0.91	299
Rafael Tristá - Colón	7:30-8:30	986	0.98	251
Marta Abreu - Alemán	7:15-8:15	782	0.87	226
Independencia- Unión	7:30-8:30	840	0.93	227
Maceo- Independencia	7:30-8:30	1085	0.91	297
Unión - Martí	7:45-8:45	622	0.98	159
Maceo - Martí	8:00-9:00	1238	0.84	367
Martí - Luis Estévez	7:30-8:30	567	0.87	163
Martí - Máximo Gómez	8:00-9:00	801	0.94	212

Fuente de graduación propia

Como se puede apreciar la hora pico que impera en las intersecciones objeto de estudio es de 7:30 am a 8:30 am y de 8:00 am a 9:00 am. Las intersecciones Colón-San-Miguel, Maceo-Independencia y Maceo-Martí presentan un elevado flujo vehicular al observarse más de mil vehículos mixtos en la hora pico. Los factores de la hora pico poseen valores cercanos a la unidad, lo que representa una distribución aproximadamente uniforme del flujo vehicular durante toda la hora pico en las intersecciones.

En la tabla 3.15 se observa de forma resumida la composición vehicular en cada intersección analizada durante la hora pico.

Tabla 3.15. Tabla resumen con los resultados de la composición vehicular en la hora pico de cada intersección.

Intersecciones	Tipos de vehículos						
	Veh. Ligero	Veh. Pesado	Ómnibus	Motos	Ciclos	VTA	otros
Cuba-Nazareno	86	8	41	161	93	22	10
Colón-San Miguel	200	7	39	541	240	54	22
Rafael Tristán-Colón	288	0	53	494	194	0	0
Marta Abreu-Alemán	209	18	36	326	147	31	15
Independencia- Unión	193	32	44	338	92	121	20
Maceo-Independencia	303	47	40	504	108	95	29
Unión- Martí	166	20	25	203	104	90	21
Maceo- Martí	365	53	35	497	152	102	34
Martí- Luis Estévez	232	22	14	192	104	11	24
Martí-Máximo Gómez	290	31	26	309	153	12	18

Fuente de graduación propia

La tabla 3.15 establece que la mayor cantidad de vehículos que circulan en el centro histórico urbano de la ciudad de Santa Clara son las motos, un ejemplo de esto es que dicho tipo de transporte alcanza el 48% de los vehículos que transitan en la intersección calle Maceo y calle Independencia. Los vehículos ligeros también poseen una alta presencia dentro de la zona objeto de estudio, en la intersección calle Maceo y calle Martí alcanzan el 39%. Los vehículos de menor presencia dentro de las intersecciones analizadas son los vehículos pesados y los vehículos que se clasifican como otros, debido a que la circulación de los mismos oscila entre el 1% y el 5%.

3.3.1.2 Estudio de volumen peatonal

El estudio de volumen peatonal se realiza mediante aforos de tránsito manuales durante dos horas, desde las 7:00am a 9:00am, divididos en períodos de 15 minutos. El estudio consiste en aforar todos los peatones que cruzan por un acceso (de acera a acera). La tabla 3.16 presenta los resultados del aforo vehicular manual:

Tabla 3.16. Tabla resumen de los aforos peatonal e las intersecciones de estudio.

Intersecciones	Hora pico	Volumen de la hora pico	15 min. Max	Qmáx
Cuba v Nazareno	8:00-9:00 am	610	8:45-9:00 am	195
Colón v San Miguel	8:00-9:00 am	913	8:45-9:00 am	302
Rafael Tristá - Colón	8:00-9:00 am	1532	8:00-8:15 am	394
Marta Abreu - Alemán	7:45-8:45 am	785	8:15-8:30 am	254
Independencia - Unión	8:00-9:00 am	666	8:45-9:00	210
Maceo e Independencia	8:00-9:00 am	471	8:30-8:45 am	140
Unión - Martí	8:00-9:00 am	644	8:45-9:00 am	210
Maceo - Martí	7:45-8:45 am	364	7:45-8:00 am	116
Martí - Luis Estévez	8:00-9:00 am	579	8:30-8:45 am	162
Martí-Máximo Gómez	8:00-9:00 am	382	8:30-8:45 am	117

Fuente de graduación propia

Como se puede apreciar en la tabla 3.16 existe una amplia presencia de peatones en el centro histórico urbano de la ciudad de Santa Clara, observándose más de 600 peatones por hora en seis de las intersecciones aforadas, destacándose las intersecciones Rafael Tristá y calle Colón; y calle Colón y San miguel con 1532 y 913 peatones por hora respectivamente.

3.3.1.3 Estudio de demoras

Los estudios de demoras se realizan en períodos de 15 minutos en el intervalo desde las 7:00am a las 9:00 am, horario en el cual fueron realizados los estudios de volumen vehicular y peatonal en la zona de análisis. Los estudios de demoras consisten en aforar los vehículos que se encuentran detenidos en un acceso a la intersección en intervalos regulares, además de registrar todos los vehículos que llegan a la intersección durante el período de estudio diferenciándolos en los que se detienen en la intersección y los que no. A continuación en la tabla 3.17 se presentan los resultados de los estudios de demora por acceso.

Tabla 3.17. tabla resumen del estudio de demora manual en las intersecciones de estudio.

Intersecciones	Demora total de tiempo parado. (seg)	Demora media de los vehículos que se paran. (seg)	Demora media de parada de todos los vehículos en el afluente (seg)	Porcentaje de vehículos que paran. (%VP)
Cuba y Nazareno	360	16	23	10.13
Colón y San Miguel	1260	21	52	16.67
Rafael Tristá y Colón	740	19	32	12.97
Marta Abreu y Alemán	1120	15	40	27.99
Independencia y Unión	2000	19	68	31.94
Maceo e Independencia	1660	21	57	30.74
Unión y Martí	2480	31	92	25.81
Maceo y Martí	2780	28	98	29.29
Martí y Luis Estévez	1740	20	49	43.54
Martí-Máximo Gómez	1380	19	51	25.44

Fuente de graduación propia

La tabla 3.17 nos muestra que la demora media de los vehículos que se paran varía para cada intersección con un comportamiento diferente. Sin embargo, se observan tres intercesiones criticas donde las demoras superan el minuto, llegando a ser de 98 segundos y 92 segundos en las intersecciones calle Unión y calle Martí; y calle Maceo y calle Martí respectivamente.

3.4 Procesamiento y análisis

3.4.1 Determinación de los puntos de conflictos

La cantidad de puntos de conflicto se determinará según los movimientos permitidos de cada uno de los accesos de la intersección que entren en conflicto con la corriente vehicular y peatonal. Los puntos de conflicto se clasifican en: **divergencia**, **convergencia** o **cruce**.

Tabla 3.18: Tabla resumen de la determinación de la cantidad de puntos de conflicto de la corriente vehicular y peatonal

Intersección	Puntos de conflicto del flujo vehicular	Total de puntos de conflicto del flujo vehicular	Puntos de conflicto del flujo peatonal
Cuba y Nazareno	2 divergencias 2 convergencias 1 cruce	5 puntos de conflicto	4 cruces
Colón y San Miguel	2 divergencias 2 convergencias 1 cruce	5 puntos de conflicto	4 cruces
Rafael Tristá y Colón	2 divergencias 2 convergencias 1 cruce	5 puntos de conflicto	4 cruces
Marta Abreu y Alemán	2 divergencias 2 convergencias 1 cruce	5 puntos de conflicto	4 cruces
Independencia y Unión	2 divergencias 2 convergencias 1 cruce	5 puntos de conflicto	4 cruces
Maceo e Independencia	2 divergencias 1 convergencias	3 puntos de conflicto	3 cruces
Unión y Martí	2 divergencias 2 convergencias 1 cruce	5 puntos de conflicto	4 cruces
Maceo y Martí	2 divergencias 2 convergencias 1 cruce	5 puntos de conflicto	4 cruces
Martí y Luis Estévez	2 divergencias 2 convergencias 1 cruce	5 puntos de conflicto	4 cruces
Martí y Máximo Gómez	2 divergencias 2 convergencias 1 cruce	5 puntos de conflicto	4 cruces

Fuente de graduación propia

3.4.2 Nivel de servicio

A continuación, se muestra la determinación del nivel de servicio aplicando la metodología establecida en el capítulo 2, como ejemplo la intersección Colón y San Miguel. Ver tabla 3.19.

Tabla 3.19 Determinación de las demoras en la intersección Colón y San Miguel

Tabla 3.19 Determinación de las demoras en la intersección Colón y San Miguel					
Movimiento	tcx(S)	tfx(S)	Cpmx (veh/h)	dx (veh/h)	dt (veh/s)
4	5.29	2.28	1126	9	28
5	5.57	4.06	452	36	
11	5.58	4.07	662	15	
12	6.1	3.30	221	30	
El nivel de servicio de la intersección es D					

Fuente de graduación propia

Por tanto, la demora total de la intersección es de 28 s/veh, según la tabla 2.2 del capítulo II, el nivel de servicio global de la intersección es D, es decir, las velocidades de operación están un poco restringidas por las condiciones del tránsito. Los conductores mantienen una considerable libertad para maniobrar y mantener la velocidad deseada con poca demora.

A continuación, se presentan la tabla 3.20 con el valor de las demoras totales y el nivel de servicio en las intersecciones estudiadas:

Tabla 3.20: Tabla resumen de la determinación del nivel de servicio de las intersecciones de estudio.

Intersecciones	Demora total (veh/s)	Nivel de Servicio
Cuba v Nazareno	12	B
Colón v San Miguel	28	D
Rafael Tristá v Colón	28	D
Marta Abreu v Alemán	21	C
Independencia v Unión	15	C
Maceo e Independencia	44	E
Unión v Martí	24	C
Maceo v Martí	25	D
Martí v Luis Estévez	14	B
Martí y Máximo Gómez	17	C

Fuente de graduación propia

A continuación, se puede apreciar que hay 4 intersecciones donde los niveles de servicios son críticos de categoría D y E.

Se puede decir que las intersecciones cuyo el nivel de servicio es D, es el producto de la incidencia de un grupo de factores como la presencia de ómnibus, bicicletas, vehículo de tracción animal y parqueo lateral, resultando así condiciones inestables en el tránsito.

Se puede decir que la intersección cuyo el nivel de servicio es E, es por la presencia de vehículos mixtos en especial los vehículos de tracción animal, por un alto flujo peatonal y los tipos de movimientos en dicha intersección.

3.5 Modelación computación de la información obtenida mediante el software Synchro 10

Se realiza la modelación de todas las intersecciones estudiadas, para esto se introducen los datos obtenidos en los estudios realizados en el software Synchro 10, en la figura 3.2 se observan los valores de los volúmenes vehiculares, la señalización de las intersecciones y los sentidos de circulación de las calles pertenecientes al centro histórico de la ciudad de Santa Clara.



Figura 3.2: Modelación de las intersecciones
Fuente: Elaboración propia

Resultados del programa

En la tabla 3.21 se observan los valores de nivel de servicio determinados en el programa para cada una de las intersecciones analizadas. Se puede apreciar que hay 4 intersecciones con nivel de servicio A, y 6 con nivel de servicio B, o sea de una forma general se quiere decir que los usuarios poseen comodidad la hora circular por las calles del centro histórico urbano a partir de no considerar el tráfico de vehículos de tracción animal y la prohibición de estacionamiento.

Tabla 3.21: Resultados obtenido con el software

Intersecciones	Demora total (veh/s)	Nivel de Servicio
Cuba v Nazareno	8.34	A
Colón v San Miguel	13.7	B
Rafael Tristán v Colón	11.2	B
Marta Abreu v Alemán	14.6	B
Independencia v Unión	14.2	B
Maceo e Independencia	15.9	C
Unión v Martí	13	B
Maceo v Martí	7.68	A
Martí v Luis Estévez	8.2	A
Martí y Máximo Gómez	13.8	B

Fuente: Elaboración propia

3.6 Evaluación y selección de alternativas

3.6.1 Análisis de los resultados

Durante la realización de los estudios manuales se pudo comprobar la existencia de calles que poseen un elevado valor de congestión y nivel de servicio, causado fundamentalmente por la existencia de estacionamientos laterales y de un elevado volumen de circulación de vehículos de tracción animal. Las intersecciones Colón y San Miguel, Tristán y Colón y Maceo y Martí poseen un nivel de servicio D; mientras que la intersección Maceo e Independencia el nivel de servicio es E, propiciado fundamentalmente por los problemas mencionados anteriormente.

La modelación de la zona objeto de estudio utilizando el software Synchro 10 permite realizar modificaciones al tránsito con el objetivo de disminuir los problemas de congestión detectados, para esto se elimina el estacionamiento lateral en las calles analizadas y se prohíbe la circulación de vehículos de tracción animal por dichas vías. Los resultados obtenidos permiten observar que los problemas de demoras y de nivel de servicio de las intersecciones mencionadas anteriormente son relativamente bajos, debido a que se obtiene un nivel de servicio A en la intersección Maceo y Martí, B en las intersecciones Colón y San Miguel y Tristán y Colón; mientras el nivel de servicio en la intersección Maceo e Independencia se reduce de E a C.

3.6.2 Propuestas de mejoras encaminadas a solucionar los problemas detectados

Debido a lo mencionado en el epígrafe 3.6.1 se proponen una serie de medidas encaminadas a mitigar los problemas de demoras y congestión detectados durante la realización de la presente investigación. Primeramente, se propone eliminar la circulación de los vehículos de tracción animal en las calles Maceo, Colón e Independencia. Además, se propone realizar un estudio de estacionamiento con el objetivo de reubicar los vehículos que se parquean en las calles Maceo,

Colón, Cuba, Rafael Tristán e Independencia hacia vías que posean un menor valor de circulación vehicular.

3.7 Conclusiones parciales

- El tránsito en las vías del centro histórico de la ciudad de Santa Clara presenta una composición heterogénea, la cual está regida por el predominio de motos, autos, ciclos, vehículos de tracción animal, ómnibus, vehículos pesados y otros.
- Los estudios de aforos vehiculares muestran que la hora de máxima demanda se encuentra en periodos de 7:30 am a 8:30 am y de 8:00 am a 9:00 am con un factor horario de máxima demanda que oscila sobre los 0,90 lo que evidencia que existe una distribución uniforme del flujo vehicular.
- La modelación computacional del centro histórico urbano de la ciudad de Santa Clara mediante el software Synchro 10 demuestra que es significativa la influencia de los vehículos de tracción animal y el estacionamiento en el nivel de servicio en las intersecciones estudiadas, siendo una de las propuestas la prohibición de la circulación de este tipo de vehículo y el análisis de la prohibición del estacionamiento.

CONCLUSIONES GENERALES

- A nivel internacional existen disímiles estudios que posibilitan conocer el funcionamiento del tráfico en los centros históricos urbanos, dichos estudios no tienen en cuenta la circulación de ciclos, triciclos y vehículos tracción animal, medios de transporte muy utilizados en países en vías de desarrollo.
- La metodología propuesta en la presente investigación permite realizar un análisis de tránsito en los centros históricos urbanos de Cuba, a partir de la determinación de las demoras y el nivel de servicio teniendo en cuenta las condiciones de tránsito heterogéneas imperantes en Cuba.
- Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran la existencia de elevados valores de congestión vehicular y demoras en importantes intersecciones del centro histórico urbano de la ciudad de Santa Clara, producto de la existencia de estacionamientos en la vía y la circulación de vehículos de tracción animal.
- La modelación computacional del centro histórico urbano de la ciudad de Santa Clara utilizando el software Synchro 10, permite comprobar que la eliminación de estacionamientos y de la circulación de vehículos de tracción animal posibilita disminuir significativamente las demoras y la congestión vehicular en la zona objeto de estudio.

RECOMENDACIONES

- ❖ Aplicar la metodología propuesta en el capítulo II del trabajo de diploma en otros centros históricos urbanos de Cuba.
- ❖ Realizar estudios de estacionamientos en el centro histórico urbano de la ciudad de Santa Clara, con el objetivo de reubicarlos hacia vías con un menor flujo vehicular.
- ❖ Exponer los resultados al Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito en Villa Clara, para que sean consideradas las propuestas de mejoras realizadas en la presente investigación.

BIBLIOGRAFIA

- Ali, C., Arturo, L., Oviedo Meneses, A. R., Torres, R., Victoria, S., & Tejada Espinoza, A. M. (2017). Semaforización inteligente como alternativa de solución al problema del tránsito en la ciudad de Arequipa.
- Alvarez Pabón, J. A. (2008). CLASIFICACION DE LAS CARRETERAS Y VIAS URBANAS (I. C. D. P. D. CEMENTO Ed.).
- Bañón, L., & Beviá García, J. F. (2000). Manual de carreteras. Volumen I: elementos y proyecto. Caminos I.
- Barneo, Á. G. (2016). Historia del Automóvil.
- Box, P., & Oppenlander, J. (2008). MANUAL DE ESTUDIOS DE INGENIERIA DE TRANSITO (D. F. PRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA S.A. MEXICO, MEXICO Ed. 4 ed ed.).
- Bull, A., America, U. N. E. C. f. L., & Caribbean, t. (2003). Congestión de tránsito: el problema y cómo enfrentarlo: Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Bustamante Carbo, G. T. (2017). Análisis de la variación del volumen vehicular del distribuidor de tráfico en el sentido desde tillales a río siete.
- Cal y Mayor Reyes Spíndola, R., & Cárdenas Grisales, J. (2007). Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones: Alfaomega Grupo Editor.
- Cárdenas, J. G. (2007). INGENIERIA DE TRANSITO Y APLICACIONES (G. E. ALFAMEGA, S.A DE C.V., MEXICO Ed. 8a Edicion ed.).
- Chacón Pérez, D. E., & Cuervo Coronado, G. (2017). Implementación de la metodología BIM para elaborar proyectos mediante el software REVIT.
- Díaz, J. F. (2005). UN VIEJO PARADIGMA URBANO: LA CALLE COMO LUGAR DE ENCUENTROS CARA A CARA.
- Díaz, L. G. M. (2011). Estimación de costos externos marginales de los modos de transporte carretero, fluvial y ferroviario en Colombia. Ingeniería e Investigación, 31(1), 56-64.
- . Directiva 70/156/CEE y 92/61/CEE o el Real Decreto 2140/85. (1985). Sevilla.
- Esparza, G. R. (2015). CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO EN LA RED DE CARRETERAS (D. G. D. S. TÉCNICOS Ed.).
- Esparza, J. (2014). Analisis de trafico vehicular usando vision artificial en la ciudad de San Juan de Pasto. Proyecto de Titulacion, 25.
- García-Ortega, A.-M. (2015). Aportaciones de los simuladores de tráfico en Linares.
- García, A. C. (1991). ESTUDIOS DE INGENIERIA DE TRANSITO PARA LA PLANEACION REGIONAL DEL TRANSPORTE CARRETERO (MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERIA DE TRANSITO), UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
- García Depestre, R. A., Delgado Martínez, D. E., & Díaz García, E. E. (2012). Modelos de perfil de velocidad para evaluación de consistencia del trazado en carreteras de la provincia de Villa Clara, Cuba. Revista ingeniería de construcción, 27(2), 71-82.
- García, E. M., Bencomo, J. O. V., & Esparza, A. R. (2015). Vialidad: Análisis y Evaluación de Intersecciones Urbanas. Cultura Científica y Tecnológica(56).
- García Ortega, A. M. (2012). APORTACIONES DE LOS SIMULADORES DE TRÁFICO EN LINARES. (Máster en Ingeniería del Transporte Terrestre y Logística), UNIVERSIDAD DE JAÉN.
- Gómez Johnson, R. C. (2004). TEXTO DEL ALUMNO INGENIERIA DE TRÁFICO CIV – 326
- Gómez, R. d. I. L., & Guzmán, A. L. (2006). ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE SAN JUAN DEL RÍO (State or province government publication ed.).
- Gonzalez, J. A. E. (2004). Los caminos de postas en el Pago de los Arroyos y las actuales carreteras. Paper presented at the Presentación en Congreso.

- González, J. R. Q. (2011). Inventarios viales y categorización de la red vial en estudios de Ingeniería de Tránsito y Transporte. Facultad de Ingeniería, 20(30), 65-78.
- González, P. A. M. (2019). Implementación en AIMSUN de modelo de comportamiento vehicular en intersecciones semaforizadas.
- Jüngst, H. E. (2017). Las ventajas de integrar actividades de doblaje en el aula de traducción. TRANS. Revista de Traductología(17), 103-114.
- . Ley No 109 Código de Seguridad Vial en Cuba. (2010) Gaceta Oficial de la República de Cuba. La Habana: 17 de septiembre del 2010.
- López Molina, L. M., & Vásquez Granda, M. F. (2017). Evaluación de acciones encaminadas a la aplicación del plan de movilidad y espacios públicos de Cuenca en el Centro Histórico, mediante un modelo calibrado de movilidad vehicular.
- Montoya, G. (2005). Ingeniería de tránsito. Lima: UNI.
- Navarro Hudiel, S. (2008). CLASIFICACION FUNCIONAL DE CARRETERAS.
- . Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656:2012. (2012).
- Otero Seminario, L. (2015). ANÁLISIS VIAL DE DOS INTERSECCIONES SIN SEMÁFORO EN ZONA ALEDAÑA A NUEVO TERRAPUERTO DE PIURA: Facultad de Ingeniería. Universidad de Piura. Recuperado: [https://pirhua](https://pirhua....)
- Pablo González, R. C. (2012). ESTUDIO DEL SIMULADOR DE REDES VEHICULARES VEINS. Universidad Carlos III de Madrid, Leganés (Madrid) en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid.
- Pedraza, L. F., Hernández, C. A., & López, D. A. (2012). Control de tráfico vehicular usando ANFIS. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 20(1), 79-88.
- Quintero González, J. R. (2017). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. Ambiente y Desarrollo, 21(40), 57-72.
- Radelat, G., & Engineers, I. o. T. (2003). Principios de ingeniería de tránsito: Institute of Transportation Engineers.
- Rodríguez Gaitán, D. H. (2012). MODELO PARA MICRO-SIMULACIÓN DE TRÁFICO VEHICULAR Y PEATONAL UTILIZANDO CUDA. (Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación), Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- Rodríguez, H. R. (2017). ANÁLISIS DE LA CANTIDAD Y EL ESTADO DE LAS VÍAS TERCARIAS EN COLOMBIA Y LA OPORTUNIDAD DE LA INGENIERÍA CIVIL PARA SU CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO. (Pregrado), UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, BOGOTÁ D.C., 10 DE NOVIEMBRE DE 2017.
- Sayago, E. C. (2005). MANUAL DE CARRETERAS.
- Spíndola, R. C. M. R., & Grisales, J. C. (1998). Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones: Alfaomega.
- Tapia Arandia, J. G., & Veizaga Balta, R. D. (2006). APOYO DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA DE INGENIERÍA DE TRÁFICO. UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN Cochabamba-Bolivia.
- Tellez, J. T. (2001). MANUAL DE VIALIDAD URBANA RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS DE INFRAESTRUTURA VIAL URBANA (Edicion 2009 ed.). Chile.
- Valencia, A., & Fernández, R. (2007). Representación macroscópica de la operación segregada del transporte público de superficie. Ingeniería de Transporte, 13(1).
- Valladares Mejía, A. d. J. (2016). COMPARACIÓN DE UN ENFOQUE MACROSCÓPICO Y OTRO MICROSCÓPICO AL ESTIMAR LAS DEMORAS POR LA CONGESTIÓN URBANA. (Magíster en Ingeniería-Infraestructura y Sistemas de Transporte Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de : Magíster en Ingeniería-Infraestructura y Sistemas de Transporte), Universidad Nacional de Colombia, Medellín Colombia.

ANEXOS

Anexo I Aforos Vehiculares

Modelo para la realización del aforo vehicular								
	CENTRO PROVINCIAL DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO							
	MINISTERIO DEL INTERIOR							
MININT	Organización del Tránsito Volumen de vehículos				Hoja de campo			
Lugar:	Tramo:							
Fecha:	Sentido:							
Tiempo:	Chequeador:							
	HORA:							
CATEGORÍAS								
CICLOS								
MOTOS DE 2 RUEDAS								
MOTOS DE 3 RUEDAS								
LIGEROS								
PESADOS								
ÓMNIBUS								
VEHÍCULOS DE TRACCIÓN ANIMAL								
EQUIPOS ESPECIALIZADOS								
TOTALES								

Anexo II Aforos Peatonales

Modelo OT-2 Aforo Peatonal Intersección Cuba y Nazareno

	CONTEO DE PEATONES				HOJA DE CAMPO (MODELO OT-2)
	Movimientos				
Horas	13	14	15	16	Volumen máximo simultáneo
7:00-7:15	25	21	33	34	113
7:15-7:30	28	15	37	28	108
7:30-7:45	31	23	38	29	121
7:45-8:00	33	21	34	49	137
8:00-8:15	26	26	23	46	121
8:15-8:30	27	23	36	38	124
8:30-8:45	39	34	46	51	170
8:45-9:00	40	48	47	60	195
Total	249	211	294	335	1089

Anexo III Estudios de Demoras

Modelo para realizar el estudio de demora en intersecciones

Acceso: Calle Cuba y Nazareno						Hora de inicio: 7:35 am					
No. Carriles: 2											
Segundos		0 segundos		15 segundos		30 segundos		Volumen total del acceso			
Minutos		+ + + Número de vehículos parados en el instante de la observación				Número de vehículos que se detienen		Número de vehículos que no se detienen			
0		2		0		0		2		9	
1		3		0		0		3		11	
2		1		0		0		1		9	
3		1		0		0		1		11	
4		1		0		2		1		6	
5		2		0		0		2		8	
6		0		0		0		0		12	
7		1		0		0		1		7	
8		0		0		0		0		10	
9		0		0		0		0		11	
10		1		0		0		1		10	
11		1		0		0		1		9	
12		0		0		0		0		6	
13		2		0		0		2		7	
14		1		0		0		1		10	
15		0		0		0		0		5	
Subtotal		16		0		2		16		141	
Total		18						157			