



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
en Celaya



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO EN CELAYA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CICLOVÍAS
EN LA CIUDAD DE CELAYA MEDIANTE
UN ENFOQUE DE MICRO SIMULACIÓN”**

**TESIS PROFESIONAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

PRESENTA:

IBQ. ABIGAIL DEL CARMEN ALMANZA MENDOZA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ ALFREDO JIMÉNEZ GARCÍA

CO-DIRECTOR DE TESIS:

M.C. VICENTE FIGUEROA FERNÁNDEZ

CELAYA, GTO., MÉXICO, FEBRERO, 2019

Asunto: Autorización de impresión de trabajo profesional.


Celaya Gto., **15 de FEBRERO 2019**

M.C. MOISES TAPIA ESQUIVIAS
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL.
Presente.

De acuerdo a la convocatoria hecha por esta jefatura a fin de aprobar o no la impresión del trabajo profesional titulado:

“Diseño de un sistema de ciclovías en la ciudad de Celaya mediante un enfoque de micro simulación”

Presentado por el (a) pasante C. IBQ. Almanza Mendoza Abigail del Carmen (M1703008) alumno (a) del programa de Maestría en Ingeniería Industrial que ofrece nuestro Instituto. Hacemos de su conocimiento que éste jurado ha tenido a bien aprobar la impresión de dicho trabajo para los efectos consiguientes.


DR. JOSE ALFREDO JIMENEZ GARCIA
Presidente


M.C. EDUARDO FLORES MARTINEZ
Vocal

Ccp. Escolares
Archivo.
VFF*MTE*DMVP

ATENTAMENTE



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE CELAYA
COORDINACIÓN DE MAESTRÍA
DE INGENIERÍA INDUSTRIAL


DR. SALVADOR HERNANDEZ GONZALEZ
Secretario


M.C. MANUEL DARIO HERNANDEZ RIPALDA
Vocal Suplente



AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios, por permitirme vivir y disfrutar de esta etapa en mi vida.

A mis papás, Luz María Mendoza y Juan Raymundo Almanza García, gracias por su apoyo y ayuda en todos los proyectos que me he propuesto, gracias por brindarme las herramientas necesarias para superarme y ser una mejor persona.

A mis hermanos, Alejandra y Ernesto por los momentos de felicidad que he pasado y pasaré a su lado, gracias por su apoyo, los quiero y espero que cumplan todo lo que se propongan.

A Benjamín, gracias por tu apoyo desde el inicio de la maestría, gracias por alentarme y apoyarme a ser una mejor versión de mi misma. Agradezco infinitamente tu ayuda en la traducción del artículo para el Congreso, y gracias por todas las aventuras que hemos pasado juntos en este tiempo

Al Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Celaya, por haberme permitido ser parte de esta institución al permitirme realizar mis estudios de maestría, por ser mi fuente de formación académica, valores y la base de mi superación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme otorgado el apoyo económico para la realización de mis estudios de Maestría (CVU: 814609).

A PTV Group® por la licencia otorgada, así como la asesoría y ayuda de Adriana Cardóna y Gilberto Rueda, para realizar el último experimento.

A EDUCAFIN por el apoyo otorgado para realizar el viaje al CIT 2018 en España.

Al Dr. José Alfredo Jiménez, gracias por su apoyo y ayuda con la realización de este proyecto y por su confianza para realizarlo.

Y finalmente a Luis Ángel Toledo por su asesoría para el uso del software PTV y por permitirme usar su modelo de simulación.

RESUMEN

Celaya se encuentra entre las ciudades más diversificadas en el sector manufacturero de autopartes, metalmecánico, químico, petroquímico, y agroindustrial. Destaca como un importante centro de distribución de mercancías, por lo cual la población de la ciudad ha incrementado en los últimos años, esto ha generado un desarrollo urbano acelerado, ampliando la red de calles, avenidas y la implementación de ejes viales que interconectan gran parte de la ciudad, forzando a la población al uso de vehículos automotor para moverse dentro de ellas.

Es necesario crear iniciativas para disminuir los problemas de movilidad actuales por el uso excesivo de vehículos automotor. Por esta razón, se propone el diseño de un sistema de ciclovías en la ciudad de Celaya mediante un enfoque de micro-simulación, el cual permitirá analizar las rutas más eficientes para los ciclistas, y motivará a aquellas personas que utilizan vehículos automotores a sustituir su medio de transporte por la bicicleta. Este diseño micro simulado se realizó con ayuda del software PTV Vissim®; generando escenarios de simulación de las avenidas México-Japón, Tecnológico, Irrigación, Francisco Juárez, Torres Landa, Constituyentes y Boulevard Adolfo López Mateos por su nivel de flujo vehicular, se aplicó una encuesta para medir la cantidad de personas que estarían dispuesta a cambiar su vehículo automotor por la bicicleta, con la cual se obtuvo una respuesta positiva del 15% de las personas encuestadas, con esto se midió el impacto ambiental y como resultado se obtuvo la propuesta de una ciclovía que considera la intersección y unión con las vialidades más importantes de la ciudad.

ABSTRACT

Celaya is among the most diversified cities in the manufacturing sector of auto parts, metalworking, chemical, petrochemical, and agroindustry. It stands out as an important center of merchandise distribution, which is why the population of the city has increased in recent years, this has generated an accelerated urban development, expanding the network of streets, avenues and the implementation of road axes that interconnect a large part of the city, forcing the population to use motor vehicles to move within them.

It is necessary to create initiatives to reduce the current mobility problems due to the excessive use of motor vehicles. For this reason, “Bikeway system designs in the city of Celaya through a micro-simulation approach” is proposed, which will allow analyze the most efficient routes for cyclists and will motivate those who use motor vehicles to replace their vehicles for the bicycle. This micro simulated design was made with the help of PTV Vissim® software; generating simulation scenarios on main avenues, Mexico-Japón, Tecnológico, Irrigación, Francisco Juárez, Torres Landa, Constituyentes and Boulevard Adolfo López Mateos, for their level of vehicular flow, a survey was applied to measure the number of people who would be willing to change their vehicle by bicycle, with which a positive response was obtained from 15% of the people surveyed, the environmental impact was measured and as a result the proposal was obtained for a bikeway that consider the intersection and union with the most important roads in the city.

Contenido

| | |
|---|----|
| AGRADECIMIENTOS..... | 2 |
| RESUMEN..... | 3 |
| ABSTRACT..... | 3 |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | 8 |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | 9 |
| ÍNDICE DE ECUACIONES..... | 9 |
| CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 10 |
| 1.1 Introducción..... | 10 |
| 1.2 Planteamiento del problema..... | 12 |
| 1.3 Objetivos..... | 13 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 13 |
| 1.3.2 Objetivos específicos..... | 13 |
| 1.4 Hipótesis..... | 13 |
| 1.5 Preguntas de investigación..... | 13 |
| 1.6 Justificación..... | 14 |
| CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO..... | 15 |
| 2.1 Sistema de ciclovías..... | 15 |
| 2.1.1 ¿Qué es una ciclovía?..... | 15 |
| 2.1.2 Tipos de vías ciclistas..... | 15 |
| 2.1.3 Antecedentes de implementación..... | 16 |
| 2.1.4 Situación actual..... | 17 |
| 2.1.5 Ventajas de una ciclovía..... | 19 |
| 2.2 Simulación..... | 20 |
| 2.2.1 Características de la simulación..... | 21 |

| | | |
|--------------------------------------|--|----|
| 2.2.2 | Plataformas de simulación más utilizadas | 21 |
| 2.2.3 | Definición de modelo de simulación | 22 |
| 2.3 | Modelación del tráfico | 24 |
| 2.3.1 | Tipos de modelación..... | 25 |
| 2.3.2 | Tipos de modelo según los niveles de detalle de la simulación. | 26 |
| 2.4 | Micro- simulación | 27 |
| 2.4.1 | PTV Vissim | 28 |
| 2.5 | Diseño..... | 30 |
| 2.5.1 | Los y las ciclistas como un parámetro de diseño..... | 30 |
| 2.5.2 | El sistema bicicleta-ciclista | 31 |
| 2.5.3 | Los y las ciclistas como clientes del sistema de tráfico y transporte..... | 33 |
| 2.5.4 | Los principales requisitos para una infraestructura ciclo-amistosa | 33 |
| 2.6 | Estado del Arte | 34 |
| CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO | | 38 |
| 3.1 | Definición del sistema | 39 |
| 3.2 | Formulación del modelo..... | 40 |
| 3.3 | Recolección de datos | 41 |
| 3.4 | Implementación del modelo en computadora..... | 42 |
| 3.5 | Verificación y validación del modelo..... | 43 |
| 3.6 | Experimentación..... | 44 |
| 3.7 | Interpretación..... | 45 |
| 3.8 | Documentación..... | 45 |
| CAPITULO 4. RESULTADOS | | 46 |
| 4.1 | Definición del problema | 46 |
| 4.2 | Formulación del modelo..... | 47 |

| | |
|---|----|
| 4.3 Recolección de datos | 48 |
| 4.4 Implementación del modelo en computadora..... | 49 |
| 4.5 Verificación y validación del modelo..... | 50 |
| 4.6 Experimentación..... | 51 |
| 4.7 Interpretación..... | 53 |
| 4.8 Documentación..... | 53 |
| CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES | 54 |
| BIBLIOGRAFÍA | 57 |
| ANEXO A. Artículo..... | 63 |
| ANEXO B. Encuesta aplicada..... | 64 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2. 1 Ciudades con más viajes en bicicleta al día (FORBES MÉXICO, 2015)..... | 18 |
| Figura 2. 2 Diseño de red EuroVelo (Martínez Gaete, 2015)..... | 19 |
| Figura 2. 3 Links y conectores dentro de una modelación vial (Fellendorf, 2010)..... | 24 |
| Figura 2. 4 Principales estrategias de simulación del tráfico (Alcalá, 2016) | 27 |
| | |
| Figura 3. 1 Etapas de Investigación (Coss, 2003) | 38 |
| | |
| Figura 4. 1 Localización de las avenidas de interés | 46 |
| Figura 4. 2 Intersecciones de interés para el estudio | 47 |
| Figura 4. 3 Modelo de simulación | 50 |
| Figura 4. 4 Modelo de simulación de ciclovías propuesto (amarillo: ciclovía existente, rojo: ciclovía propuesta)..... | 51 |
| | |
| Figura 5. 1 Gráfica de resultados del escenario con una infraestructura de ciclovías mejorada, suponiendo que no hay aumento en el flujo de ciclistas, ni disminución de vehículos automotores circulando en las avenidas de interés. | 54 |
| Figura 5. 2 Gráfica de resultados del escenario con una infraestructura de ciclovías mejorada y con aumento del flujo de ciclistas en 15% y de vehículos automotor en el mismo porcentaje. | 55 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2. 1 . Características de los ciclistas hombres y mujeres, la bicicleta y su uso. (CROW, 2011)..... | 32 |
| Tabla 3. 1 Formato de conteo de flujo vehicular..... | 42 |
| Tabla 4. 1 Código de color de las avenidas de interés..... | 46 |
| Tabla 4. 2 Bitácora del flujo de vehículos..... | 48 |
| Tabla 4. 3 Tipo de vehículo..... | 49 |
| Tabla 4. 4 Calibración del modelo con GEH..... | 50 |
| Tabla 4. 5 Salidas del escenario actual..... | 51 |
| Tabla 4. 6 Salidas del escenario propuesto..... | 52 |
| Tabla 4. 7 Resultados de la comparación de salidas entre el modelo y el aumento de 15% de ciclistas..... | 53 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|-----------------|----|
| (Ec. 3. 1)..... | 44 |
|-----------------|----|

CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Introducción

La población de Celaya ha incrementado debido al crecimiento industrial, comercial y de servicios en los últimos años, cuenta con más de 494, 304 habitantes (INEGI, 2015). Esto ha obligado la aceleración de su desarrollo urbano, forzando a la población al uso de vehículos automotor para movilizarse dentro de la ciudad, situación que eleva el consumo de combustibles fósiles. Celaya ocupa el segundo lugar con más vehículos automotor del estado de Guanajuato y se encuentra entre los primeros lugares de contaminación por emisiones al medio ambiente, por lo tanto, es necesario diseñar un sistema de ciclovías con las condiciones adecuadas de seguridad para los usuarios con lo cual se disminuirán las emisiones debido a que los usuarios de las vialidades podrían cambiar su medio de transporte por la bicicleta.

El crecimiento poblacional y la necesidad de regular las necesidades de expansión justifican la realización de esta clase de estudios para la elaboración de estrategias que contribuya a solucionar uno de los grandes problemas de las ciudades: la movilidad. El 72% de la población reside en 384 ciudades de más de 15 mil habitantes que forman el Sistema Urbano Nacional. Estas altas concentraciones poblacionales se han convertido en un problema y en un desafío para la movilidad de las personas (ONU-Hábitat, 2015).

El Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo México (ITDP México) mostró que la mayor parte de los recursos federales invertidos en las zonas metropolitanas durante 2011 fue utilizada para ampliar y mantener la infraestructura vial, lo cual lleva consigo múltiples externalidades negativas e impide invertir en medios de transporte más sustentables como el transporte público y la infraestructura ciclista y peatonal (Garduño, 2013).

Según Acuña (2016), una ciclovía se define como aquel carril donde se le da prioridad al ciclista que comparte el espacio con el tránsito automotor y por lo general siempre se localiza en el extremo derecho, éstas se pueden implementar en las arterias y vías colectoras. Se debe de tomar en cuenta para la realización de una ciclovía que las bicicletas son diseñadas y clasificadas como tráfico lento, a pesar de que en el medio urbano son uno de los modos de transporte más rápidos (CROW, 2011).

Se han realizado diversas investigaciones con respecto a la implementación de ciclovías, Torres, Sarmiento y Stauber (2013), proponen prestar mayor atención a los problemas que rodean a la cicloruta, para aumentar el uso de las bicicletas como medio de transporte, se realizó un estudio para evaluar el uso y el tránsito en la ciclovía y la cicloruta, ya que estas tienen el potencial de promover de manera equitativa la actividad física y proporcionar una alternativa de movilidad en entornos urbanos complejos.

Muñoz, Betancourt y Jaramillo (2016), en el artículo “Diseño de ciclovías para ciudades intermedias, una propuesta para Loja” se retoma la bicicleta como transporte sustentable no motorizado, y debe cumplir con los dispositivos de seguridad en cuanto a la circulación y operación de bicicletas en dichas ciclovías. En ambos artículos se considera la seguridad de los ciclistas como el factor más importante para la implementación de las ciclovías.

Debido a la escasa protección con la que cuentan los usuarios vulnerables (motociclistas, ciclistas y peatones) al utilizar una vía, tienen una mayor probabilidad de resultar heridos en caso de accidente, y que sus heridas sean más graves. Tal como lo evidencian datos del 2014, en México de las alrededor de 16 mil muertes al año suscitadas por los accidentes de tránsito, más del 40% corresponden a usuarios vulnerables; por tal razón, es necesario y fundamental considerar a los diferentes tipos de usuarios de una vía (ocupantes de vehículos y usuarios vulnerables) no sólo en la planeación, diseño y construcción de nueva infraestructura, sino también en la revisión y mejoramiento periódico de las redes existentes (Saucedo, 2016).

Se han realizado diversos experimentos de flujo vehicular con micro-simulación para generar propuestas de mejora en varias ciudades del mundo, por ejemplo, Alcalá (2016), en el artículo “Micro- simulación del tráfico de la intersección de las avenidas Bolívar, Córdova y calle Andalucía empleando el software VISSIM 6”, presentaron la construcción de un modelo de simulación de tráfico, en el cual el software Vissim 6.0 logró replicar la situación real y se pudieron analizar los diseños previos que se realizaron vía virtual y poder saber las ventajas y desventajas que se habrían podido presentar en una construcción in situ del tráfico. Este tipo de proyectos sobre tráfico vehicular se toman como base para la construcción de ciclovías, ya que, con respecto a ellas, se puede definir en donde se pueden colocar las ciclovías y en donde son más necesarias.

La propuesta del proyecto, “Diseño de un sistema de ciclovías en la ciudad de Celaya mediante un enfoque de micro-simulación”, permitirá recorridos más eficientes para los ciclistas, se promoverá la reducción del uso de vehículos automotores al convertirse en una vía de movilidad alterna, consiguiendo con esto reducir las demoras de los usuarios que circulan por la vialidad urbana, lo que impactará favorablemente en la reducción de los niveles de contaminación por emisiones al medio ambiente, disminuirá el tráfico vehicular y habrá menos enfermedades respiratorias y de obesidad; por lo cual se activará la concientización social sobre la importancia del cuidado del medio ambiente y la salud.

1.2 Planteamiento del problema

Celaya se encuentra entre las ciudades más competitivas en la industria manufacturera de la región centro occidente y entre las más diversificadas en el sector manufacturero de autopartes, metalmecánico, químico, petroquímico, y agroindustrial. Destaca como un importante centro de distribución de mercancías. Debido a esto ha aumentado la población y, por lo tanto, el flujo de vehículos automotor, lo que conlleva a problemas de movilidad e incremento de las emisiones al medio ambiente por el uso desmedido de vehículos para desplazarse dentro de la ciudad.

Resulta necesario dotar a la ciudad de una infraestructura vial que acelere su desarrollo y con el cual se reduzcan los problemas de movilidad existentes debido al incremento poblacional y flujo de vehículos en las avenidas principales de Celaya, se propone el proyecto: diseño de un sistema de ciclovías en la ciudad de Celaya por micro-simulación, utilizando el software PTV Vissim para buscar una posible solución a los problemas de movilidad, diseñando así, una ciclovía con las medidas de seguridad necesarias para que la población opte por utilizar las ciclovías para transportarse.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de ciclovías en la ciudad de Celaya por micro- simulación para maximizar el flujo de ciclistas.

1.3.2 Objetivos específicos

Identificar los puntos más problemáticos para interconectar la ciudad de Celaya.

Recolectar datos estadísticos del flujo vehicular y flujo de ciclistas.

Construir el modelo del sistema de ciclovías.

Generar una propuesta de mejora, de manera que se incrementen las condiciones seguras de circulación para todos sus usuarios (peatones, vehículos, ciclistas) en la ciudad de Celaya.

1.4 Hipótesis

Si se diseña un sistema de ciclovías en la ciudad de Celaya de manera que se incrementen las condiciones seguras de circulación para los usuarios y a la vez logre interconectar la ciudad de Celaya, entonces, se reducirá el número de vehículos automotor que circulan en la ciudad.

1.5 Preguntas de investigación

¿Se incrementará el número de ciclistas si se diseña una ciclovía que interconecte la ciudad de Celaya?

¿En cuánto se reducirán los vehículos que circulan por la ciudad con la implementación de una ciclovía?

¿Si se reduce el número de vehículos usuarios de las vialidades, se reducirá el número de accidentes viales?

¿Las condiciones del medio ambiente de la ciudad mejorarían con el diseño adecuado de una ciclovía?

¿El diseño correcto de una ciclovía impactaría en la economía de la ciudad?

1.6 Justificación

La población de Celaya ha incrementado debido al crecimiento industrial, comercial y de servicios en los últimos años, obligando a la aceleración de su desarrollo urbano, ampliando la red de calles, avenidas y la implementación de ejes viales que interconectan a las casi 300 colonias de la ciudad, forzando a la población al uso de vehículos automotor para moverse dentro de ellas, situación que eleva el consumo de combustibles fósiles.

Con el crecimiento de las ciudades y el aumento de la contaminación ambiental debida a los vehículos automotores, es necesario implementar sistemas de transporte alternativos que utilicen medios no motorizados, ambientalmente inofensivos y sostenibles, uno de esos es la bicicleta. Para que esto se logre, las ciclovías y los carriles para los ciclistas deberán llenar todos los requisitos necesarios en su diseño y operación, de manera que su vulnerabilidad sea lo menor posible, con las condiciones adecuadas de seguridad para todos los usuarios de la vialidad.

Con esta infraestructura vial adicional se promoverá la reducción del uso de vehículos automotores, al convertirse en una vía de movilidad alterna, impactaría favorablemente en la reducción de los niveles de contaminación auditiva y de emisiones al medio ambiente, disminuiría el tráfico vehicular y habría menos enfermedades respiratorias y de obesidad, por lo cual se activaría la concientización social sobre la importancia del cuidado del medio ambiente y la salud.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema de ciclovías

2.1.1 ¿Qué es una ciclovía?

Según Acuña (2016), una ciclovía se define como aquel carril donde se le da prioridad al ciclista que comparte el espacio con el tránsito automotor y por lo general siempre se localiza en el extremo derecho, éstas se pueden implementar en las arterias y vías colectoras. El crear estos carriles es una buena primera medida dado que genera un espacio para la circulación del ciclista y atrae usuarios de este medio.

2.1.2 Tipos de vías ciclistas

Desde un punto de vista técnico las vías ciclistas se dividen, según sus características en:

- **Vías reservadas.** Son aquellas rutas y caminos en los que se permite, además del tránsito peatonal, la circulación de bicicletas, pero no la de automóviles, ni otros vehículos de motor. Un ejemplo de vías reservadas son las ciclovías a través de parques. En ciudades, las calles y espacios peatonales en los que estén permitida la circulación de bicicletas no pueden considerarse vías reservadas puesto que prevalece el derecho de los peatones (CROW, 2011).
- **Vías segregadas.** Son aquellas que transcurren a lo largo de una ruta en las que también circulan vehículos de motor (carril-bici) o peatones (acera-bici) y que pretenden delimitar una porción específica del ancho de la vía para las bicicletas (Temores, 2016).
- **Vías integradas (calles compartidas).** Son aquellas vías ciclistas que no están segregadas del tráfico, son vías en las que los usuarios de la bicicleta y los de vehículos de motor circulan por el mismo espacio, de acuerdo con las normas del tráfico comunes a todos los vehículos. Las vías integradas pueden recibir un tratamiento propio (señalización específica, zonas de tránsito calmado, etc.) para facilitar la circulación de las bicicletas. Las vías integradas ofrecen una interacción con el resto de los vehículos según la lógica del tráfico, es decir, que se comporta como otro carril más de tráfico.

La aplicación de vías integradas se pone en práctica cuando las calles no son suficientemente anchas para la continuidad de un carril asignado para bicicletas, a los ciclistas se les permite usar legalmente las calles, pero acorde a un plan regulado en el que ambos puedan compartir las vías. Bajo esa lógica, los ciclistas sólo podrían circular por algunas calles, en las que los autos tendrían que viajar a una velocidad prudente, en este caso los ciclistas deben cumplir con los mismos derechos y responsabilidades que los conductores de vehículos y motocicletas. Para que un sistema donde autos y ciclistas anden por las calles funcione, es necesario que éstos transiten a velocidades menores a los 30 km/h (CROW, 2011).

- Senderos para bicicletas. Los senderos están completamente separados de las calles. Estos caminos que siguen sus propias rutas dentro de las ciudades, o con mayor frecuencia en las zonas rurales, se crearon a partir de rutas, carriles y caminos de arrastre de canales abandonados. La mayoría tiene fines recreativos, los senderos rurales son compartidos con peatones (Temores, 2016).
- Ciclovías apartadas. Siguen su propia ruta, y por lo tanto sirven solo a los ciclistas (ciclovías) o, en algunos casos, ciclistas y usuarios de ciclomotor (pista bici-ciclomotor). Típicamente, estas involucran conexiones que pasan por parques, una vía más corta entre dos distritos, o una conexión rural. A veces se confunden a las ciclovías apartadas con ciclovías segregadas. Una diferencia importante es que este último está relacionado con una vía adyacente, mientras las ciclovías apartadas no lo son. En términos legales, una ciclovía no forma parte de una vía, si está a más de 10 metros de distancia (Temores, 2016).

2.1.3 Antecedentes de implementación

Las primeras 3 ciclovías de las que se tienen registro aparecieron en los años 60. Desde la década de los años 70, la iniciativa se ha extendido paulatinamente a lo largo del continente, especialmente en las ciudades Latinoamericanas. El mayor crecimiento ha tenido lugar a partir del nuevo milenio. Los buenos resultados y la buena aceptación de las ciclovías ya implementadas son un importante factor que facilita su difusión. La ciclovía de Bogotá inicio en 1974, es considerada pionera en el continente americano e inspiración para otras poblaciones (Temores, 2016).

Los beneficios potenciales de las ciclovías para la salud pública han sido reconocidos en varios ámbitos. Las ciclovías de Quito y la de la ciudad de México ganaron el premio del Concurso de Ciudades Activas en el 2005 y en el 2008 respectivamente, reconociéndolas como programas que promueven estilos de vida más saludables y más activos (Sarmiento, 2010).

2.1.4 Situación actual

En los últimos años, el uso de la bicicleta por parte de los ciudadanos latinoamericanos para transportarse a las aulas o centros de trabajo va en ascenso. Esto representa un gran reto debido a la necesidad de una mayor inversión en infraestructura. En América Latina hay 2,513 kilómetros (km) de ciclo rutas, Bogotá, en Colombia, y Río de Janeiro, en Brasil, son las localidades con mayor infraestructura pensada en los ciclistas. La primera tiene 392 km, mientras que la segunda cuenta con 307 km indicó el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). En su estudio Ciclo-inclusión en América y el Caribe, el BID señaló que la tercera ciudad con más kilómetros es San Pablo, Brasil con 270.7 km.

La ciudad que tiene menos kilómetros es Monterrey, en México con 0.4 kilómetros de infraestructura especial. Aun cuando reporta más de 400,000 viajes al día, la Ciudad de México cuenta con 128.2 km y está por debajo de ciudades como Santiago de Chile que cuenta con 236 km y reporta 510,569 viajes y Buenos Aires con 130 km y 32,264 viajes. “La infraestructura ciclo-inclusiva tiene el beneficio general de incentivar el uso de la bicicleta y reducir sustancialmente el riesgo de accidentes entre automóviles y usuarios de transporte no motorizado”, explicó el BID (FORBES MÉXICO, 2015).

En este mismo sentido, el organismo explicó que las ciudades no tendrían la necesidad de construir infraestructura segregada en gran parte de sus vías si todas fueran espacios seguros para la circulación de bicicletas. En la Figura 2.1 se pueden observar las ciudades de Latinoamérica en donde se hacen mayor número de viajes en bicicleta diarios, se destacan Bogotá, Santiago de Chile y México con viajes en bicicleta superiores a los 400 mil diarios, con lo cual se puede establecer que los sistemas de ciclo rutas en estas ciudades cuenta con gran acogida (Chamorro, 2015).



Figura 2. 1 Ciudades con más viajes en bicicleta al día (FORBES MÉXICO, 2015)

De acuerdo con Martínez Gaete (2015) de la empresa Plataforma Urbana en Europa se construirá una red que conectará 43 países europeos, el artículo menciona que: “Se estima que en 2020 EuroVelo (The European cycle route) tenga 70.000 kilómetros de extensión, una gran red de 14 ciclo rutas que conectará las ciudades de 43 países europeos, incluidos los pertenecientes a la Unión Europea”.

La iniciativa la creó la Federación Europea de Ciclistas (ECF) con el objetivo de que los ciclistas tengan ciclo rutas que pueden usar diariamente en sus ciudades y que también sirvan para los turistas que quieran recorrer distancias más largas, como una manera de fomentar el turismo sustentable y potenciar los lugares y actividades más típicas de cada ciudad.

Si bien aún hay varios tramos que están en construcción y otros que se están diseñando, vale la pena tener una idea de la extensión que tendrá esta red.

Por ejemplo, si tomamos en cuenta que Chile tiene 4.329 kilómetros de largo, según datos de la Universidad de Chile, la extensión de EuroVelo corresponde a 16 veces el largo, mientras que, en el caso de la ciclovía más larga de la red, Iron Curtain Trail (ruta 13 de EuroVelo) que tendrá 10.400 kilómetros, ésta será 2,4 veces más larga que Chile (véase la Figura 2.2).



Figura 2. 2 Diseño de red EuroVelo (Martínez Gaete, 2015)

2.1.5 Ventajas de una ciclovía

- Disminución de la contaminación atmosférica.
- Disminución de la congestión vehicular.
- Quien la utiliza, mantiene un buen nivel de actividad física y de salud.
- Ahorro de costos de transporte.
- Más humana y más amable con el medio ambiente.

- No se congestionan, el tiempo de desplazamiento siempre es el mismo, incluso en horas de máxima demanda de ciclistas.
- Ecológicamente sostenible.
- No requiere de la construcción de una infraestructura tan costosa.
- Mejora el estado de ánimo de quienes lo practican.

2.2 Simulación

No existe acuerdo respecto a una definición precisa de la palabra simulación.

- La propuesta por C. West Churchman (1963), es estrictamente formal:

"X simula a Y" sí y solo sí:

X e Y son sistemas formales.

Y se considera como sistema real

X se toma como una aproximación del sistema real

Las reglas de validez en x no están exentas de error (Churchman, 1963).

- La definición de Shubik (1960), es la definición típica entre las más populares: Simulación de un sistema (o un organismo) es la operación de un modelo (simulador), el cual es una representación del sistema. Este modelo puede sujetarse a manipulaciones que serían imposibles de realizar, demasiado costosas o imprácticas. La operación de un modelo puede estudiarse y con ello, inferirse las propiedades concernientes al comportamiento del sistema o subsistema real (Shubik, 1960).
- Jerry Banks (1996), Simulación es el desarrollo de un modelo lógico matemático de un sistema, de tal forma que se tiene una imitación de la operación de un proceso de la vida real o de un sistema a través del tiempo. La simulación involucra la generación de una historia artificial de un sistema, la observación de esta historia mediante la manipulación experimental nos ayuda a inferir las características operacionales de tal sistema” (Banks J., 1996).

En consecuencia, bajo estas restricciones, la definición que plantea Thomas Naylor (1982), es bastante adecuada:

- Simulación, es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital, las cuales requieren ciertos tipos de modelos lógicos y matemáticos, que describen el comportamiento de un negocio o un sistema económico (o algún componente de ellos) en períodos extensos de tiempo real (Naylor, 1996).

2.2.1 Características de la simulación

Charles Harrell (1995) establece que los sistemas de simulación tienen las siguientes características:

- Basadas en su totalidad por actividades lógicas y matemáticas
- El modelo cambia parcialmente conforme ocurren los eventos
- El sistema cambia cuando ocurre un evento, estos cambios se registran para comprender el comportamiento del modelo
- Cuando un evento se realiza el tiempo de la simulación avanza
- La lista de eventos pendientes se reduce conforme los eventos se van realizando
- La ejecución de un evento puede generar nuevos eventos
- Una simulación tiene que ser repetida múltiples ocasiones generando los mismos resultados, siempre y cuando las variables sean las mismas (Harrell, 1995).

2.2.2 Plataformas de simulación más utilizadas

Debido a que en problemas con características de complejidad y magnitud como el de control de tráfico urbano no es viable validar las estrategias de control directamente sobre la malla vial, la utilización de plataformas de simulación se encuentra fundamentalmente ligada a las estrategias de control de tráfico urbano.

Por la gran cantidad de plataformas de simulación existentes, se hace necesario llevar a cabo una categorización adecuada para sintetizar las diferentes alternativas. Las plataformas de simulación pueden, entonces, ser clasificadas de acuerdo con el modelo de tráfico que utilicen. Estos modelos pueden ser macroscópicos, microscópicos o mesoscópicos

- Modelos macroscópicos: Este tipo de modelos es, en general, apropiado para aplicaciones de gran escala donde las principales variables de interés se encuentran relacionadas con las características del flujo. Su calibración puede llevarse a cabo de manera relativamente sencilla utilizando, por ejemplo, sensores de bucle inductivo. Entre las plataformas de simulación macroscópica más relevantes se encuentran TRANSYT-7F, VISUM, FREFLO, NETVACI, TransCAD, KRONOS, AUTOS, EMME/2, METANET y METACOR.
- Modelos mesoscópicos: Los modelos mesoscópicos presentan una aproximación intermedia entre los microscópicos y los macroscópicos en la medida en que mezclan conceptos y herramientas de ambos modelos al analizar el comportamiento de grupos de conductores. Las plataformas de simulación que utilizan modelos mesoscópicos son, entre otras, METROPOLIS, DYNASMART, DYNAMIT e INTEGRATION.
- Modelos microscópicos: Estos modelos, como su nombre sugiere, presentan la escala más pequeña para el acercamiento al análisis de los sistemas de tráfico urbano. En este sentido, sus variables de interés se relacionan con el comportamiento de vehículos individuales respecto a la infraestructura y a los demás vehículos en ella. Cabe anotar que el hecho de que este tipo de modelos procuren representar comportamientos humanos aumenta en gran medida su complejidad y costos. Entre las plataformas de micro simulación más relevantes están INTRAS, FRESIM, MITSIM, NETSIM, CORSIM, VISSIM, THOREAU, FLEXSYT-II y AIMSUM (Robles, 2009).

2.2.3 Definición de modelo de simulación

El modelo de simulación ha sido definido por diversos autores. Estos convergen en que los modelos de simulación son la representación de un todo para el análisis de sus partes. Algunas de las definiciones consideradas como las más importantes en esta área de estudio se describen a continuación:

- Un modelo se define como una representación de un sistema para el propósito de estudiar el sistema (Banks J., 1996).

- “Conjunto de cosas que ordenadamente relacionadas entre sí contribuyen a determinado objeto” (Barceló, 1999).
- “Representación de un sistema con el propósito de estudiar el sistema (Shannon, 1988).
- “Réplica del sistema, física o matemática, que tiene todas las propiedades y funciones del sistema” (Singh, 2009).

2.2.3.1 Importancia del modelado

El modelado de simulación es parte fundamental para el proceso analítico de las variables. Usualmente, su propósito es ayudar explicar, entender o mejorar un sistema. La importancia de los modelados de simulación de acuerdo con Enrique Tarifa (2006) son los útiles para:

- Pensamiento: Al construir un modelo se debe ordenar y completar el conocimiento que el sistema real se posee.
- Comunicación: Un modelo elimina la ambigüedad del lenguaje para comunicarse con expertos.
- Entrenamiento e instrucción: Un modelo puede ser utilizado para entrenar con costo y riesgo casi nulos. Este tipo de entrenamiento ha sido comúnmente utilizado en prácticas militares.
- Predicción: Un modelo sirve para predecir la conducta del sistema real. Es el caso de los modelos utilizados para predecir la evolución del clima mundial.
- Experimentación: La experimentación con un modelo de simulación es barata y segura. Se emplea frecuentemente en el diseño de un sistema (Tarifa, 2001).

2.2.3.2 Infraestructura del modelado

El objetivo del proyecto es el estudio del nivel de detalle de la construcción del modelo. Existen dos situaciones:

- Análisis de fallo de las señales de tránsito. Basta con un esbozo de la infraestructura del modelo.

- Estudio de la intersección. Se necesita un trabajo de mayor precisión. En ese caso, se cuenta con el desarrollo de la simulación de la zona estudiada (PTV Group, 2017). Sus mediciones se logran a través de vistas satelitales, importaciones macroscópicas, fotografías aéreas, mediciones en CAD, mediciones manuales, entre otros.

Los elementos más importantes para el desarrollo de la infraestructura dentro del software Vissim son los link y conectores, estos elementos del software representan los carriles de la red vial y resultan esenciales para el desarrollo del modelo. El diseño vial suele representarse mediante estos comandos, usualmente con nodos ubicados en secciones interrelacionadas y links colocados a lo largo de los tramos viales (Fellendorf, 2010). También se consideran importantes elementos como señales de límite de velocidad, la prioridad entre usuarios, y finalmente, se puede señalar el signal head que representa a los semáforos dentro del modelo microscópico realizado del sistema en evaluación.

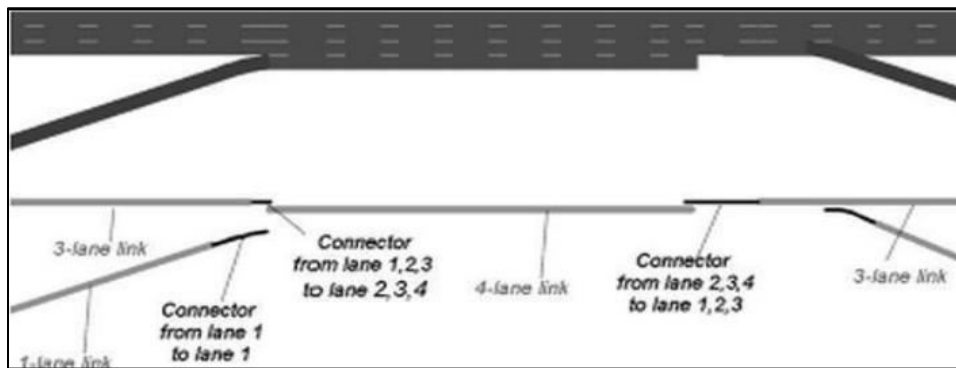


Figura 2. 3Links y conectores dentro de una modelación vial (Fellendorf, 2010)

2.3 Modelación del tráfico

Un modelo se define como, un esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja, que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento (RAE, 1980). En cuanto por sistema, se entiende a un conjunto de elementos que se interrelacionan entre sí para lograr un comportamiento global. Por lo tanto, modelar un sistema consiste en el proceso que se desarrolla para presentar con exactitud lo que se desea estudiar.

El tránsito o tráfico es la circulación de personas en el interior de un sistema. Algunas de ellas pueden estar en vehículos o en el espacio público. Por ello, la ingeniería de tráfico es la aplicación de técnicas para aminorar los impactos sociales, urbanos y ambientales derivados del tránsito. Esta modelación permite conocer la situación actual del proyecto y predecir la futura condición del flujo vehicular a través de los parámetros considerados para el estudio (Alcalá, 2016).

2.3.1 Tipos de modelación

Los modelos empleados para los estudios de los proyectos se pueden clasificar de diferentes formas dependiendo del nivel de análisis y detalles que se quiera lograr, también se pueden clasificar por el tipo de evento o aleatoriedad de sus variables, tales como los modelos determinísticos y estocásticos.

2.3.1.1 Modelación discreta

Estos modelos se caracterizan por considerar la simulación del proyecto, una variación instantánea de los parámetros de estudio para cada intervalo de tiempo (Carvalho, 2015). Por ejemplo, el número de vehículos en una determinada hora del día. Asimismo, este modelo toma en cuenta el comportamiento de los conductores que sufren cambios en intervalos de tiempo. Ellos deciden qué acción tomar frente a cada situación en que se encuentren (Arrieta, 2013).

2.3.1.2 Modelación continua

Estos se basan en la variación de los parámetros a lo largo del tiempo de estudio. Cambian constantemente con relación al tiempo. Por ejemplo, los vehículos durante su circulación dentro del tráfico cambian de velocidad, posición, etc. (Aguirre, 2015).

2.3.1.3 Modelación determinística

Están basados en un estudio analítico, el cual se rige bajo ecuaciones matemáticas que no varían con relación al tiempo; es decir, no dependen de la incertidumbre. Por ello, se obtienen los mismos resultados para los mismos datos de entrada dentro del análisis del proyecto (Starfield, 2005).

2.3.1.4 Modelación estocástica

A diferencia del modelo determinístico, el estocástico sí presenta variabilidad en las respuestas obtenidas de acuerdo con los datos de entrada y al tiempo de análisis del proyecto. Vissim es uno de los softwares que cumple con estas condiciones (Howard, 1998). Por ello, las simulaciones desarrolladas por los softwares que se basan en configuraciones matemáticas se asocian a los modelos estocásticos. Estos permiten obtener resultados más cercanos a la realidad con un cierto nivel de aleatoriedad según los datos de ingreso, mientras que los modelos determinísticos brindan resultados en base a ecuaciones matemáticas que a veces no se asemejan a la realidad pues desarrollan una única respuesta.

2.3.2 Tipos de modelo según los niveles de detalle de la simulación.

2.3.2.1 Modelación microscópica

Representar la realidad mediante una interacción vehicular, a través de asignaciones individuales a los vehículos y peatones, es una característica de este modelo (Mathew, 2007). Por tal motivo, se pueden obtener resultados con mayor exactitud mediante un correcto estudio de los datos de campo y una adecuada estimación del tiempo invertido. Por lo general se requiere de un mayor tiempo que el empleado en un modelo macroscópico (Suárez, 2007).

2.3.2.2 Modelación macroscópica

La principal característica de estos modelos es la representación del flujo vehicular en forma genérica. Entre las consideraciones a tener están la velocidad espacial al flujo y la densidad del tráfico. Si bien es cierto que en este tipo de modelo el nivel de detalle no es muy profundo, los resultados obtenidos podrían ser beneficiosos cuando se trata de proyectos de suma importancia en cuanto a eficiencia, ya que implica un menor tiempo de análisis.

2.3.2.3 Modelación mesoscópica

Este modelo abarca algunas características de los modelos macroscópicos y microscópicos. Sigue el patrón de considerar pelotones de vehículos como una unidad, mientras que los movimientos de giro, tiempo de entrada y salida son determinados de manera singular según el mecanismo

simulado (Arrieta, 2013). En la figura 2.3 se observan las consideraciones pertenecientes a cada modelo, según el nivel de detalle de la simulación.

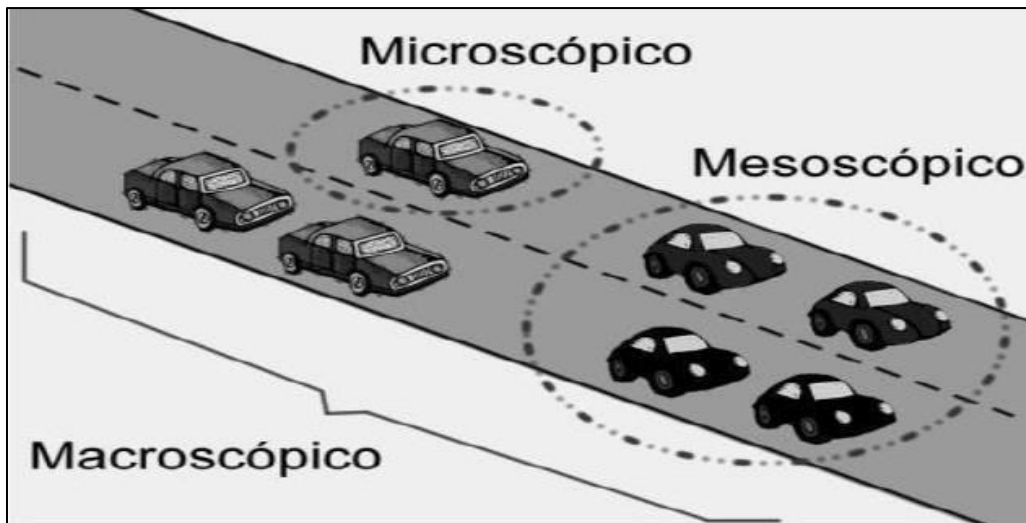


Figura 2. 4 Principales estrategias de simulación del tráfico (Alcalá, 2016)

2.4 Micro- simulación

En estos últimos años, los modelos microscópicos han sido ampliamente utilizados para el análisis del funcionamiento del tráfico. Esto se debe a la seguridad, bajo costo y menor tiempo de análisis en comparación a las pruebas in situ (Park, 2003). Uno de los softwares que está basado en el estudio de un modelo microscópico es el programa computacional Vissim. Su análisis permite predecir los potenciales problemas que presenta el proyecto estudiado. Si bien es cierto que en este tipo de modelo existen múltiples parámetros de eficiencia, se deberá trabajar con los más importantes: los adecuados para el proyecto desarrollado (Alcalá, 2016).

Cabe mencionar que cuando se habla del modelo microscópico, no se refiere a un alcance geográfico del área de estudio, sino a un profundo análisis del funcionamiento del tráfico.

2.4.1 PTV Vissim

Con PTV Vissim, puede simularse la situación del tráfico a la perfección, tanto la comparación de operar con distintos tipos de intersecciones como el análisis de implementar medidas de prioridad al transporte público o el impacto de un distinto plan de semaforización. PTV Vissim, como software líder mundial para la simulación microscópica del tráfico, en un solo modelo permite representar a todos los usuarios de la vía pública y estudiar sus interacciones: autos, transporte de carga y cualquier tipo de transporte público, ya sea ferroviario o convencional. Para ello, los modelos de comportamiento vehicular, científicamente desarrollados y validados, proporcionan una simulación realista de todos los agentes.

Las amplias posibilidades de análisis hacen de PTV Vissim una herramienta potente para evaluar y planificar la infraestructura vial tanto urbana como inter-urbana. Con este software se pueden obtener tanto resultados numéricos detallados como impresionantes animaciones en 3D representando diversos escenarios. Resulta un recurso ideal para presentar propuestas de infraestructura tanto ante los agentes responsables de la toma de decisiones, como a la opinión pública, de forma comprensible y convincente (PTV Group, 2017).

2.4.1.1 Antecedentes de Vissim

El término proviene de la frase alemana “Verkehr in Städten - Simulation”. Se traduce como simulación del tránsito en las ciudades. Sus inicios datan por la década de los ochenta en la universidad de Karlsruhe de Alemania. Su primera aparición en el mundo comercial fue en el año 1992, con la versión 2.03 dentro del entorno de Windows. Actualmente, la empresa PTV Group dispone de la versión 9.0. (PTV Group, 2017)

PTV Vissim está basado en los parámetros psicofísicos del seguimiento vehicular propuesto por el profesor Wiedemann. Entre sus aplicaciones más destacadas están el de proyectar el tránsito urbano y operaciones del transporte público, así como el análisis de la configuración de carriles, composición del tráfico, semaforización, etc. Es así que se convierte en una herramienta útil para la evaluación de las alternativas basadas en el diseño y el planeamiento del tránsito y transporte (Gao, 2008).

2.4.1.2 Funcionamiento

Su principal tarea es conseguir la adecuada representación del comportamiento de la conducción vehicular en el tránsito. Para lograrlo, se debe tomar en cuenta la dinámica seguida por los distintos tipos de vehículos en interacción.

Está internamente compuesto por dos funciones: el simulador del tráfico y el generador de estados de señales; el primero de estos permite la animación de la circulación de los vehículos, mientras que el segundo genera internamente archivos de salida con acumulación de datos estadísticos como tiempos de viaje y longitudes de cola (Bloomberg, 2000).

El modelo de seguimiento vehicular es el que tiene mayor efecto sobre PTV Vissim. No obstante, se debe considerar el modelo de cambio de carril, ya que ambos forman un conjunto integrado en el desarrollo del modelo del tráfico. Para el primer modelo, si un vehículo de mayor velocidad se acerca a uno con menor velocidad, se ajustará a su separación. Esto se debe a la reacción del conductor que depende de la diferencia de velocidad, distancia y comportamiento (Ahmed, 1999). Por otro lado, para el segundo modelo, se verifica la conducción de los vehículos por las conexiones de varios carriles.

La micro simulación del proyecto es representada por las redes viales, los peatones, los vehículos y otros elementos que se registran como datos de entrada en este software. A continuación, se presentan los componentes presentes en el proyecto: los estáticos y los dinámicos.

- Componente estático

Estos componentes se aprecian durante la trayectoria de los vehículos dentro del sistema modelado. En el caso de una intersección, se producen giros y movimientos para las circulaciones realizadas (Narváez, 2012).

Los giros se definen como la posibilidad de un vehículo de dirigirse de un tramo a otro. Por otro lado, el movimiento indica una desagregación de los giros que se incrementa de acuerdo con el grado de detalle. Asimismo, existen otros componentes estáticos, tales como las señales de tránsito. Estas tienen una gran influencia sobre los conductores pues aseguran y/o persuaden el cumplimiento de las normas.

- **Componente dinámico**

Estos varían con relación al tiempo durante la circulación del tráfico. Influyen en gran medida con la determinación de las interrelaciones existentes entre los diferentes parámetros dentro del modelo microscópico. Por ende, la elección del nivel de detalle del proyecto dependerá de la precisión de estos componentes dinámicos (Narváez, 2012). Los semáforos son un ejemplo de los distintos componentes dinámicos. Estos afectan el comportamiento de un conductor y por ello, influyen considerablemente en el sistema.

2.5 Diseño

Una infraestructura ciclo-amistosa es un prerrequisito si la bicicleta ha de retener e incluso fortalecer su posicionamiento dentro del sistema vial. La infraestructura debiera hacer posible que él o la ciclista haga viajes directos y cómodos, dentro de un ambiente atractivo y seguro. Solo así la bicicleta podrá competir con el automóvil. Varios estudios demuestran que la infraestructura ciclo-inclusiva de calidad genera un mayor porcentaje de viajes en bicicleta.

Diseñar una infraestructura para la bicicleta involucra tres niveles espaciales, cada uno con sus problemas específicos: la red, las conexiones y las facilidades mismas (infraestructura).

La tarea del diseñador es buscar permanentemente el equilibrio justo entre la función (los requisitos funcionales), la forma y el uso. El diseñador tiene que considerar cuidadosamente los requisitos funcionales y el uso que se espera del diseño final; escogerá la forma más apropiada para la función y el uso esperado. La función proviene del programa de requisitos, el cual fija las condiciones con las cuales el diseño tiene que cumplir (CROW, 2011).

2.5.1 Los y las ciclistas como un parámetro de diseño

El uso de la bicicleta pone a prueba las habilidades físicas y mentales del o la ciclista. Un esfuerzo físico es necesario para que el vehículo comience a andar y para que luego continúe en movimiento. Se requiere además un esfuerzo mental para andar de forma segura dentro del esquema vial.

Los ciclistas no son un grupo homogéneo de características similares. Al contrario, la población ciclista es muy heterogénea en cuanto a la edad, el sexo, las habilidades físicas y las razones por las cuales se usa la bicicleta como modo de transporte.

En ciertas condiciones, el o la ciclista que viaja en bicicleta con cierta rapidez al trabajo es un buen indicador para el diseño (en términos, por ejemplo, de diseños relacionados con la velocidad). En muchos casos, sin embargo, son los ciclistas de mayor edad, con más limitaciones físicas, quienes determinan los límites a los cuales el diseño debiera atenerse (en términos de pendientes o tiempos para cruzar la calle, por ejemplo). En otros casos, el diseño estará enfocado en los ciclistas más jóvenes, inexperimentados, y a veces, hasta temerarios (como, por ejemplo, en términos de una altura que facilite la visibilidad, el nivel de disciplina ante semáforos en rojo, y el nivel de complejidad en las intersecciones) (CROW, 2011).

2.5.2 El sistema bicicleta-ciclista

Los diseñadores de una infraestructura ciclo-amistosa tienen que estar informados de las posibilidades técnicas y las limitaciones del ciclista y la bicicleta, además de estar conscientes de que el uso de la bicicleta comprende una serie de características más o menos contradictorias. Un ejemplo es el uso de la fuerza muscular como motor, el cual sirve como un limitador natural de velocidad, aunque a su vez, se requiere cierta velocidad para asegurar la estabilidad. Otro ejemplo es que, por un lado, la bicicleta es un vehículo altamente vulnerable, mientras que, por el otro, es de alta maniobrabilidad y flexibilidad dentro del sistema de tráfico. Otro ejemplo es que las bicicletas son diseñadas y clasificadas como tráfico lento, a pesar de que en el medio urbano son uno de los modos de transporte más rápidos. La tabla 1 muestra algunas características típicas del ciclista, la bicicleta y su uso (CROW, 2011).

Tabla 2. 1 . Características de los ciclistas hombres y mujeres, la bicicleta y su uso.
(CROW, 2011)

| |
|---|
| <p>La bicicleta funciona con los músculos como motor. Por esto, un diseño de ruta ciclo-amistosa minimiza la pérdida de energía.</p> |
| <p>La bicicleta es inestable. Los vientos cruzados, las corrientes de vientos, las turbulencias causadas por camiones, los baches y hoyos en el camino, y las bajas velocidades que se hacen necesarias por razones ajenas a la voluntad del ciclista, determinan la estabilidad, y por ende el espacio requerido para maniobrar.</p> |
| <p>La bicicleta no tiene una zona de amortiguación de golpes. Las estadísticas de accidentes son una indicación clara de la vulnerabilidad del ciclista. Las autoridades, sin embargo, están posicionadas para influir significativamente en este tipo de situación. Pueden dar a los ciclistas una ‘zona de amortiguación’, dejándoles suficiente espacio para maniobrar evasivamente. Los ciclistas pueden andar equilibrados en una franja de 0,20 m de ancho, pero este espacio es totalmente inadecuado para hacerlo de forma cómoda. Cuando un automóvil abra una de sus puertas, un espacio adicional en la ciclo-ruta puede salvar vidas. Esta vulnerabilidad significa también que los ciclistas no pueden andar entre automóviles que avanzan a alta velocidad o por vías con una alta concentración de camiones.</p> |
| <p>La bicicleta tiene muy poca amortiguación. Una superficie pareja y sin baches es una condición mínima para cumplir los requisitos de una infraestructura ciclo-amistosa.</p> |
| <p>Los y las ciclistas andan al aire libre (sin techos, ni parabrisas). Esto tiene ventajas y desventajas. Qué la ciclorruta ofrezca cobijo contra la lluvia y el viento elimina muchas de las desventajas que los ciclistas experimentan, comparados con los automovilistas. Al mismo tiempo, el diseñador debe tomar en cuenta las ventajas propias de andar al aire libre y, por lo mismo, la importancia del paisaje alrededor de las ciclo-rutas.</p> |
| <p>El uso de la bicicleta es una actividad social. Por esta razón, la ciclo-ruta debiese permitir que dos ciclistas anden juntos, el uno al lado del otro. Esto es particularmente importante en el caso de una ruta que será ocupado por muchos ciclistas recreacionales. Esta opción también asegura que los padres y las madres podrán andar al lado de sus hijos de forma más segura.</p> |
| <p>Las personas son un factor esencial. El número de tareas que un usuario vial pueda realizar y su nivel de complejidad impone limitaciones. Los diseñadores deben respetarlas, considerando a aquellos usuarios menos experimentados y con menos capacidades físicas.</p> |

2.5.3 Los y las ciclistas como clientes del sistema de tráfico y transporte

Las propiedades y limitaciones del vehículo y su conductor son parámetros reconocidos dentro del diseño de calles para el transporte motorizado. En estos diseños, la comodidad y la seguridad se complementan. Se debe aplicar el mismo principio en el diseño de una infraestructura para el uso de la bicicleta. De hecho, se debe considerar al ciclista como un cliente más dentro de los sistemas de transporte y de tráfico.

Este cliente tiene preferencias que pueden ser expresadas en los requisitos de calidad que la infraestructura debe cumplir. Es responsabilidad del diseñador que estas preferencias, o estándares de calidad, sean expresadas en la infraestructura de la forma más completa posible. Tomando en cuenta el sistema ciclista-bicicleta y las propiedades físicas y técnicas de la bicicleta y su usuario, los siguientes requisitos son esenciales para alcanzar una infraestructura ciclo-amistosa (CROW, 2011):

- Asegurar suficiente espacio en la sección.
- Permitir que dos ciclistas puedan viajar juntos, uno al lado del otro.
- Minimizar la resistencia que experimentan los ciclistas al andar.
- Tomar en cuenta los limitantes físicos y mentales (optimizando los esfuerzos mentales).
- Tomar en cuenta la vulnerabilidad de los ciclistas.
- Tomar en cuenta la percepción de los ciclistas.
- Asegurar una infraestructura completa y comprehensiva.

2.5.4 Los principales requisitos para una infraestructura ciclo-amistosa

Existen cinco requisitos principales a cumplir para lograr una infraestructura ciclo-amistosa:

- La necesidad de asegurar la percepción y la posibilidad real de que dos bicicletas puedan andar juntas, se traducen en requisitos en cuanto a lo atractivo y lo cómodo.
- La minimización de la resistencia se convierte en requisitos en cuanto a lo cómodo y lo directo.
- La optimización del esfuerzo mental y la franja para maniobrar se convierten en requisitos en cuanto a lo cómodo y lo seguro.

- La vulnerabilidad de los ciclistas se convierte en requisitos en cuanto a lo seguro.
- La necesidad de una infraestructura completa y comprehensiva se convierte en requisitos en cuanto a la coherencia.
- En términos generales, si no se logra un nivel mínimo en uno o más de los cinco requisitos principales, se debe modificar la infraestructura (CROW, 2011).

2.6 Estado del Arte

- a) Caliendo y Guida (2012), en el artículo “*Microsimulation approach for predicting crashes at unsignalized intersections using traffic conflicts*” muestran un estudio hecho en la ciudad de Salerno, Italia, el cual presenta un enfoque de micro-simulación para evaluar la seguridad en varias intersecciones no señalizadas, se utilizaron conflictos críticos de tráfico comparados en modelos de simulación como medida de seguridad sustituta. En un periodo de 5 años se registraron varios accidentes, de los cuales el 45% ocurrió en las horas de tráfico máximo. Se encontró una relación entre el modelo de simulación y la realidad, por lo cual se desarrolló un modelo de predicción de los accidentes y así poder encontrar una solución para estas intersecciones.
- b) Torres, Sarmiento y Stauber (2013), proponen en su artículo “*The ciclovia and cicloruta programs: Promising interventions to promote physical activity and social capital in Bogotá, Colombia*” prestar mayor atención a los problemas que rodean a la cicloruta, para aumentar el uso de las bicicletas como medio de transporte. Se realizó un estudio para evaluar el uso y el tránsito en la ciclovia y la cicloruta, ya que estas tienen el potencial de promover de manera equitativa la actividad física y proporcionar una alternativa de movilidad en entornos urbanos complejos como Bogotá. El programa ciclovia proporciona entornos sociales mejorados en los que los participantes se sienten más seguros.

- c) Cely Rico (2013), presenta a la ciclovía bajo la mirada del diseño en el artículo “La transportabilidad del material de cerramiento en ciclovía: escenario de acción para diseñadores industriales” como un sistema complejo que representa una parte importante del patrimonio cultural de la ciudad donde el diseño tiene cabida desde la investigación-creación generando conocimiento y propuestas a diferentes escalas de producción de artefactos que respondan a requerimientos puntuales desde las necesidades de los actores que intervienen en el sistema.
- d) Garduño Arredondo (2013), en el artículo “Invertir para movernos, prioridad inaplazable: diagnóstico de fondos federales para transporte y accesibilidad urbana en México” Los gobiernos locales en México cuentan con algunas fuentes de financiamiento federales para llevar a cabo inversiones para mejorar la movilidad y accesibilidad de la población urbana. Si bien limitados, estos recursos son fundamentales para las ciudades del país debido a la dependencia de gran parte de los municipios de recursos provenientes de la federación y a la escasa recaudación local, lo cual limita su capacidad para financiar proyectos que reduzcan la dependencia del uso del automóvil. El Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo México (ITDP México) mostró que la mayor parte de los recursos federales invertidos en las zonas metropolitanas durante 2011 fue utilizada para ampliar y mantener la infraestructura vial, lo cual lleva consigo múltiples externalidades negativas e impide invertir en medios de transporte más sustentables como el transporte público y la infraestructura ciclista y peatonal.
- e) Min Yang, Wei Wang, Bo Wang y Jin Han (2013), en el artículo “Performance of the priority control strategies for bus rapid transit: Comparative study from scenario microsimulation using VISSIM” presentan un estudio en el cual se investigaron principalmente dos estrategias avanzadas de control (prioridad de señal mediante detección avanzada y control de velocidad de tránsito). Estas dos estrategias avanzadas fueron modeladas y evaluadas utilizando el software de simulación VISSIM. Los datos utilizados en este modelo se recolectaron en la ciudad de Yingtán.

Con el fin de buscar nuevas formas de mejorar la eficiencia de BRT, se proponen dos estrategias prioritarias e integrarlas con el carril de bus exclusivo para ver cómo impactarían la eficiencia del transporte público. El método que se utilizó fue la simulación microscópica. Se modelaron las 2 estrategias en VISSIM y se compararon para analizar cómo estas dos estrategias impactarán el tránsito público y el tráfico privado. Teniendo en cuenta la mejora de la fiabilidad del bus, se encontró que las influencias del carril de bus exclusivo y la prioridad de la señal activa son leves, mientras que las estrategias como la prioridad mediante la detección avanzada y el control de velocidad mejoran notablemente la fiabilidad de los buses.

- f) Hipp, Eyler y Kuhlberg (2013), el artículo “Target Population Involvement in Urban Ciclovías: A Preliminary Evaluation of St. Louis Open Streets” desarrolla el análisis de las personas que participan en los eventos de ciclovías recreativas. Se evaluaron 4 eventos durante el 2010 y se determinó que el número de participantes fue de 1452 en 2 eventos, se observó que la mayoría de los participantes eran personas de clase media, profesionistas, pero éstos no representan a la mayoría de la población, la cual tiene altos índices de pobreza y bajo porcentaje de graduados, por lo cual el objetivo es que estas personas participen en los eventos de ciclovías.

- g) Alcalá Ramos (2016), en el artículo “Micro- simulación del tráfico de la intersección de las avenidas Bolívar, Córdova y calle Andalucía empleando el software VISSIM 6”, se presenta la construcción de un modelo de simulación de tráfico que constó de las siguientes etapas: recolección de datos de campo, procesamiento de datos (información útil de los datos de campo que sirven como datos de entrada en el software Vissim 6.0); validación (evaluación del modelo microscópico construido). El software Vissim 6.0 logró replicar la situación real y se pudieron analizar los diseños previos que se realizaron vía virtual y poder saber las ventajas y desventajas que se habrían podido presentar en una construcción in situ.

h) Muñoz, Betancourt y Jaramillo (2016), en el artículo “Diseño de ciclovías para ciudades intermedias, una propuesta para Loja” presentan que entre los principales problemas que presenta la ciudad de Loja para el uso de la bicicleta está la falta de espacio físico adecuado y seguro, ya que únicamente se puede evidenciar la existencia de senderos que pueden ser utilizados por ciclistas en los parques lineales de la ciudad, no así en la vía pública; por lo tanto, la actividad ciclística es aceptada culturalmente con una actividad recreativa y no como una alternativa de movilidad urbana. En cuanto concierne al diseño de ciclovías, se parte de la comprensión de su definición, entendiendo que se trata de una red vial de infraestructura pública exclusiva para la circulación de bicicletas. Con esta finalidad se retoma la bicicleta como transporte sustentable no motorizado, y debe cumplir con los dispositivos de seguridad en cuanto a la circulación y operación de bicicletas en dichas ciclovías.

CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO

El método para el desarrollo del modelo de simulación se basa en la propuesta de Coss (2003), el cual aplica 8 etapas que aseguran que los proyectos de simulación se ejecuten de forma ordenada (Figura 3.1).

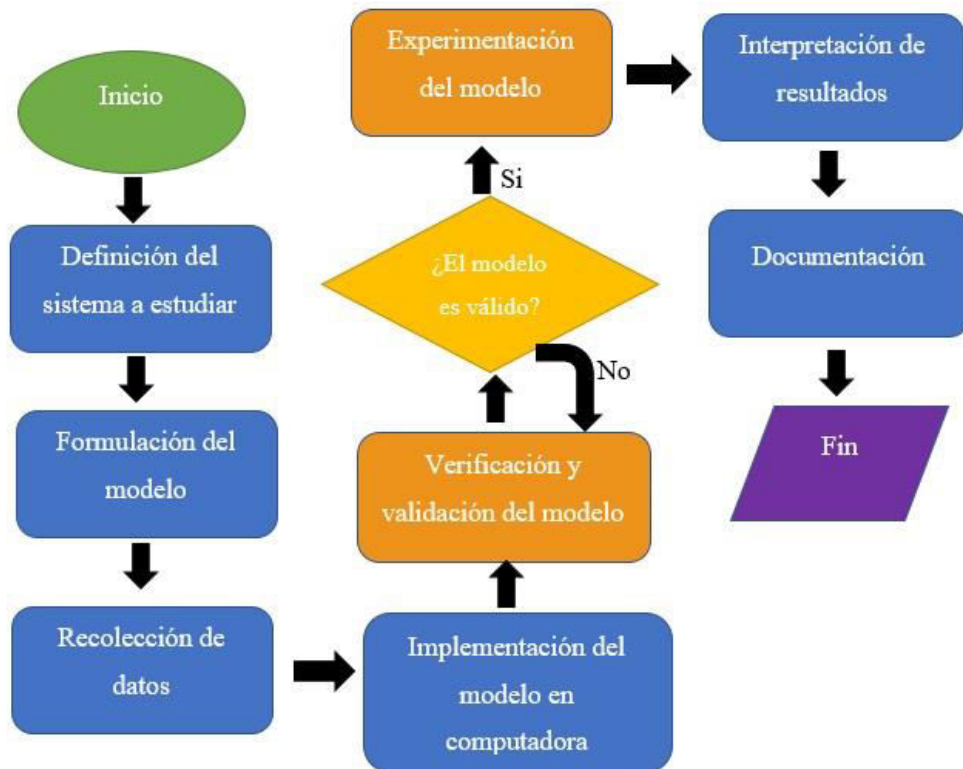


Figura 3. 1 Etapas de Investigación (Coss, 2003)

3.1 Definición del sistema

Para tener una definición exacta del sistema que se desea simular, es necesario hacer primeramente un análisis preliminar del mismo, con el fin de determinar la interacción del sistema con otros sistemas y sus interrelaciones, las medidas de efectividad que se van a utilizar para definir y estudiar el sistema y los resultados que se esperan obtener del estudio (Coss, 2003). El desarrollo de este sistema se realizó en la ciudad de Celaya Guanajuato, con el fin de conocer impactos generados en la red vehicular. Para determinar las avenidas de mayor importancia y que presentan mayor flujo vehicular, se tomaron en cuenta los siguientes factores para hacer dicha selección:

- a) Flujos vehiculares
- b) Ciclovías existentes
- c) Ubicación
- d) Zonas (residenciales, industriales, comerciales, escolar, entre otros)

Utilizando las características anteriormente mencionadas, se eligieron 6 avenidas y el Boulevard Adolfo López Mateos. Estas avenidas son sumamente importantes para la distribución vehicular de la ciudad de Celaya. Por lo que se utilizan para analizar el comportamiento, así como los efectos que se producen dentro del sistema. Las avenidas seleccionadas se mencionan a continuación:

- Av. Juan José Torres Landa
- Av. Irrigación
- Av. Constituyentes
- Av. Tecnológico
- Av. México-Japón
- Av. Francisco Juárez
- Boulevard Adolfo López Mateos

3.2 Formulación del modelo

Una vez definidos los resultados que se esperan obtener del estudio, el siguiente paso es definir y construir el modelo con el cual se obtendrán los resultados deseados. En la formulación es necesario definir todas las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describen de forma completa al modelo (Coss, 2003).

La formulación del modelo está basada en la metodología UML (Unified Modeling Language) a fin de integrarla conceptualmente con las representaciones funcionales, de despliegue y realización para sistemas orientados a objetos (Rumbaugh, 1996).

Para la construcción de los diagramas de Modelo de Lenguaje Unificado, se determinaron los factores observados en el campo real que se desean analizar posteriormente en la construcción del modelo por computadora. Estos factores son de gran importancia para lograr una representación fiel de la realidad, por lo que a continuación se definen dichos factores (Toledo, 2017):

- Flujo y composición vehicular
- Oferta y demanda vehicular
- Tiempos de ciclo y fase de semáforos
- Características de infraestructura
- Número de carriles
- Dirección y sentido del carril
- Prioridades de paso por carril
- Dimensiones del carril
- Maniobra por carril
- Definición de las variables de respuesta del modelo de simulación
- Tiempo de espera
- Emisiones de CO
- Consumo de combustible

Estas variables se introducen en el software PTV VISSIM® para generar un escenario de micro simulación que determine las estimaciones del tiempo de espera producidos por los vehículos en la intersección.


3.3 Recolección de datos

La facilidad o dificultad de obtención de datos, puede influenciar el desarrollo y formulación del modelo. La información requerida por un modelo se puede obtener de registros contables, de órdenes de trabajo, de órdenes de compra, de opiniones de expertos y si no hay otro remedio por experimentación (Coss, 2003).

La fase de recolección de datos se realizó mediante la técnica de observación del flujo vehicular, en las avenidas principales de la ciudad. Esta técnica consistió en seleccionar las intersecciones (nodos) que se deseaban analizar dentro de las avenidas propuestas, posteriormente el observador registraba en una bitácora el flujo de bicicletas y vehículos que circulaban en la intersección cada 15 minutos, como lo marca el manual de HCM (Transportation Reserch Board, 2000), en un horario de 13:00 a 15:00 horas.

Para la concentración de los datos que interesa analizar, se elaboró una plantilla que contiene la clase de vehículo, los movimientos entre carriles y la cantidad total de vehículos que transitan, como se muestra en la Tabla 3.1 (Toledo, 2017).

Tabla 3. 1 Formato de conteo de flujo vehicular

| | | |
|--|--|---|
| Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico de Celaya Conteo de usuarios de las vialidades | |  |
| Descripción: Conteo flujo vehicular Municipio: Celaya, Guanajuato Fecha: Enero/2018 | Contador: Abigail del Carmen Almanza Mendoza Contador: Alejandra de Jesús Almanza Mendoza | |

| Clase de Vehículo | Código | Movimiento | | | Total | % | |
|--------------------|--------|------------|-------------------|---------------------|-------|---|--|
| | | Recto | Giro a la derecha | Giro a la izquierda | | | |
| Bicicletas | 610 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Motocicletas | 600 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Automóviles | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Autobuses | 300 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Total | ----- | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Vehículos/ Hora | ----- | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

3.4 Implementación del modelo en computadora

Una vez obtenida la información necesaria a partir de los datos recolectados y definiendo las variables que se desean analizar (flujo de vehículos, tiempo de espera de los vehículos en la intersección, consumo de combustible y emisiones de CO, NOx y COV), se ejecuta la siguiente etapa, la cual consiste en la implementación del modelo en computadora, es decir, se recreó el escenario actual de simulación que es definido por Banks et al. (1999) como la recreación de un proceso del mundo real o de un sistema, en un periodo de tiempo. En este caso, la implementación del modelo se llevó a cabo con el software PTV Vissim de la empresa PTV Group ® (PTV Group, 2017).

La elección del software PTV Vissim se realizó considerando los siguientes puntos:

- Nivel de detalle.
- Velocidad de procesamiento de información.
- Versatilidad del software.

- Se especializa en simulación vehicular.
- Puede simular escenarios macroscópicos, microscópicos, mesoscópico e híbridos.
- Disponibilidad de PTV Group para apoyo a estudiantes con licencia de investigación.

Una vez que la recreación del mundo real ha sido modelada y validada se puede utilizar para investigar una gran variedad de que “pasaría sí...” relacionados con el sistema real (Banks J., 1996). Con esto el modelo determinará el patrón de comportamiento y los efectos producidos que se registran en la intersección.

3.5 Verificación y validación del modelo

La verificación es parte de la revisión del modelo de simulación, en la cual mediante un enfoque de análisis visual se comparará el modelo obtenido con respecto al sistema real. En esta etapa se busca revisar y detectar errores en dicha construcción. Para el caso del modelo de ciclovías, se verifica que las entidades respeten las restricciones que el diseñador ha especificado, por ejemplo, respetar señales de tránsito, ciclos de semáforos, lógica de construcción, declaración de entidades, etc. que se hayan marcado para que el modelo cumpla con la representación real de la red vehicular y la ciclovía que se analizó.

Una correcta construcción del modelo de simulación debe de ser validada mediante un método estadístico elegido por el diseñador. La validación es la comprobación que determina si la lógica del modelo representa la realidad simulada, para encontrar errores en la construcción del modelo (Toledo, 2017). En este caso, se empleará la validación por método de comparación de GEH por las siglas del estadístico Geoffrey E. Havers, que se define como una medida estándar de la bondad de ajuste entre flujos observados y modelados, con esto se establecerá si el modelo construido es idéntico al sistema real (Transport for London, 2010). El estadístico GEH, se calcula con la ecuación (3.1):

$$GEH = \sqrt{\frac{(M - C)^2}{\frac{M + C}{2}}}$$

(Ec. 3. 1)

Donde:

M=Flujo modelado

C=Flujo observado (real)

Una vez que se calcula el estadístico, se analizarán los resultados comparando el valor máximo con un valor de 5 y las salidas del modelo de simulación contra los datos observados en campo del flujo de bicicletas. Los valores más pequeños de GEH indican un mejor 'ajuste' entre los flujos observados y modelados. Design Manual for Roads and Bridges (DMRB), dice que, el 85% de los volúmenes en un modelo de simulación de tráfico debe tener un GEH inferior a 5, si los valores obtenidos se encuentran en un rango de 5 a 10 se puede justificar la investigación, lo que significa que el modelo de simulación representa la realidad (Highways England, 2011)

3.6 Experimentación

Ya que se validaron los datos obtenidos de la simulación, la siguiente etapa es la experimentación, en esta etapa se realizarán pruebas de sensibilidad generando diversos escenarios que ayuden a la toma de decisiones. La generación de escenarios consiste en proponer diferentes situaciones que ayuden a entender el sistema.

Las variables de interés en el sistema que se evalúan son:

- El flujo de vehículos
- Tiempo de espera de los vehículos
- Consumo de combustible
- Emisiones de CO, NOx y COV

3.7 Interpretación

La interpretación es una de las fases más importantes del método de simulación. En esta etapa, se deberán analizar las salidas obtenidas de acuerdo con los objetivos planteados. Se busca comparar las salidas de la representación gráfica real de las avenidas propuestas para el caso de estudio y los escenarios mejorados en el modelo simulación, es decir, comparar los valores obtenidos en tiempo real en comparación de los resultados obtenidos en cada una de las simulaciones para analizar el comportamiento de cada una de las experimentaciones. El análisis se realizó comparando las salidas del software para determinar en qué momento el sistema se comportaba de mejor manera.

Una vez teniendo mejoras en el sistema simulado, se podrá decir que se ha obtenido una ciclovía eficiente en comparación al sistema real. Debido a la naturaleza del estudio los resultados son semi-estructurados por lo que se podrán hacer propuestas de mejora para documentarlas (Toledo, 2017).

3.8 Documentación

Existen dos tipos de documentación que son requeridos para hacer un mejor uso del modelo de simulación (Toledo, 2017).

- Documentación técnica: Es la documentación que con el departamento de procesamiento de datos debe tener del modelo.
- Manual del Usuario: Es la documentación que facilita la interpretación y el uso del modelo desarrollado a través de una terminal de computadora.

Esta documentación deberá describir cada uno de los análisis realizados durante la investigación.

CAPITULO 4. RESULTADOS

4.1 Definición del problema

El desarrollo del sistema se realizó en la ciudad de Celaya Guanajuato, se seleccionaron las avenidas de mayor importancia y que presentan mayor flujo vehicular

En la Tabla 4.1 y Figura 4.1, las avenidas fueron identificadas con colores para facilitar la ubicación en el mapa de la ciudad de Celaya. Se tomó un horario de 13:00 a 15:00 horas, cuando el arroyo vehicular tiene su pico más alto.

Tabla 4. 1 Código de color de las avenidas de interés

| Avenida | Color |
|-------------------------------|-------------|
| Av. México-Japón | Morado |
| Av. Tecnológico | Rosa |
| Av. Francisco Juárez | Azul claro |
| Av. Torres Landa | Azul Marino |
| Av. Irrigación | Naranja |
| Av. Constituyentes | Amarillo |
| Boulevard Adolfo López Mateos | Verde |

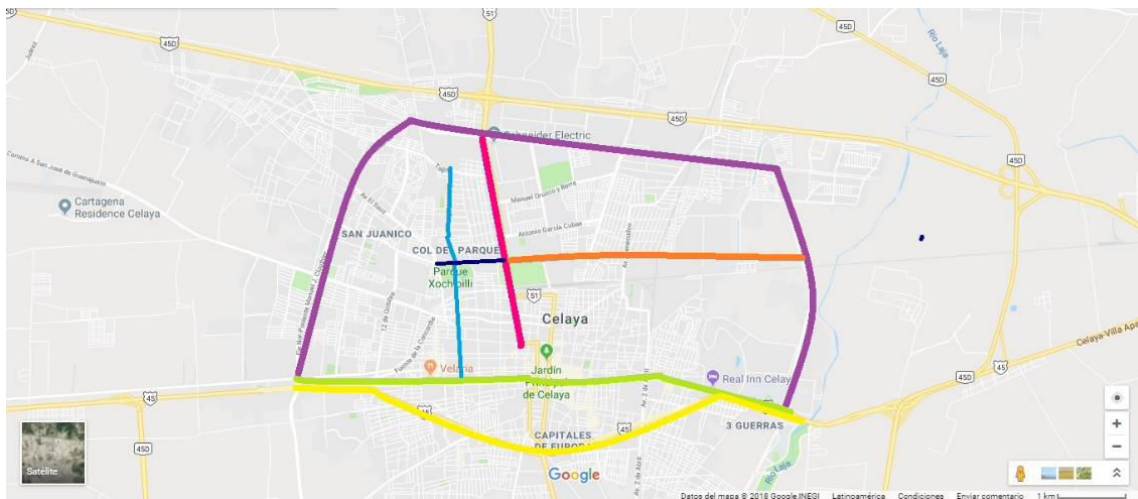


Figura 4. 1 Localización de las avenidas de interés

Estas avenidas representan uno de los circuitos con mayor flujo vehicular, ya que son las vías que conectan los corredores industriales de la ciudad, por lo tanto, son vías de comunicación primordiales y de interés para realizar el análisis de la implementación de una ciclovía con las condiciones necesarias de seguridad, para aumentar el uso de bicicletas en la ciudad, a continuación, en la Figura 4.2, se muestran las avenidas de interés, con las intersecciones identificadas con color rojo donde se realizó el estudio.

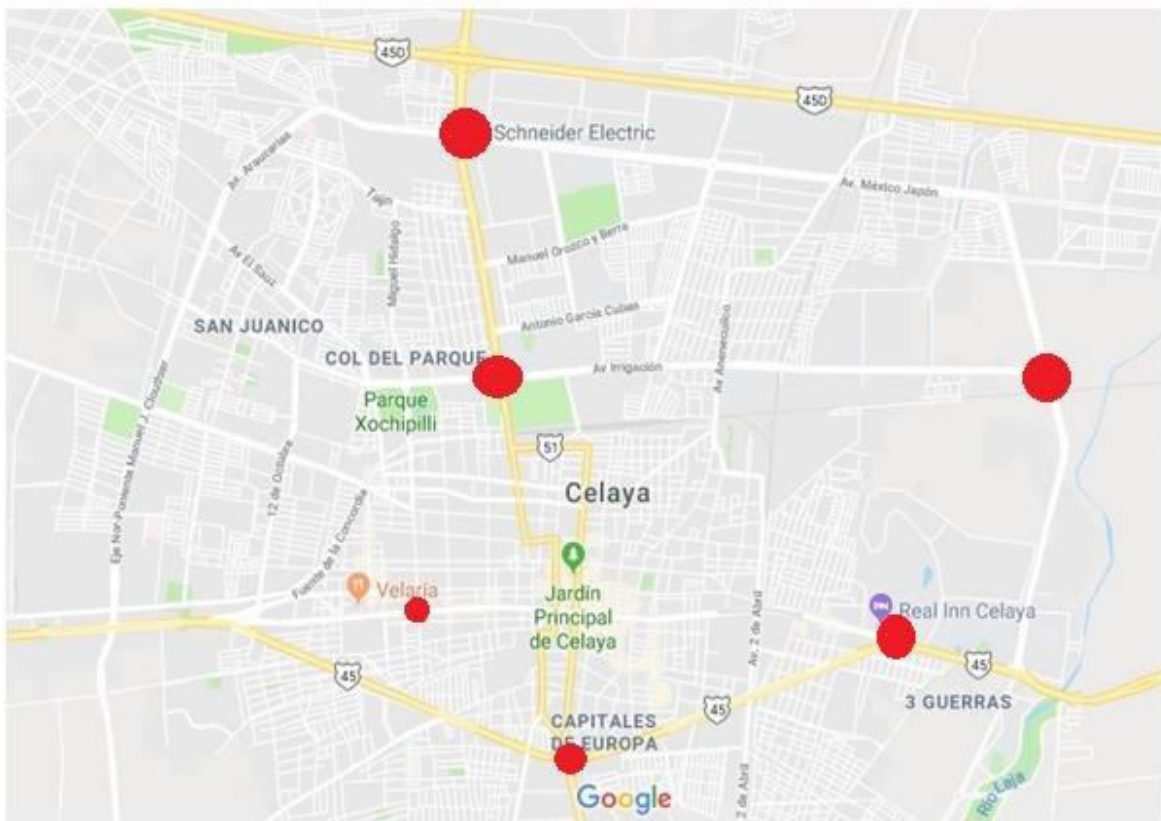


Figura 4. 2 Intersecciones de interés para el estudio

4.2 Formulación del modelo




Para la construcción del modelo de simulación de las ciclovías se utilizó el modelo de Toledo (2017), realizado con el software PTV VISSIM® y se definieron las variables de simulación que podrán ser alteradas, con lo cual se podrá obtener un mayor control de las variables de

respuesta que se desean analizar. En este caso, se utilizó el flujo vehicular en cada intersección combinado con una mejor infraestructura de ciclovías para estudiar las variaciones encontradas en cada combinación, de forma que se obtenga comparaciones entre el modelo original y el modelo modificado, comparando sus diferencias con lo que se busca lograr tener vialidades eficientes y ciclovías seguras que lleve a las personas a sustituir su vehículo automotor por la bicicleta.

4.3 Recolección de datos



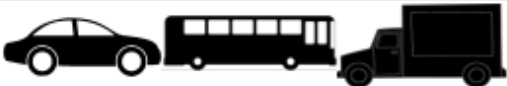
Se construyó una hoja en Excel para clasificar el tipo de vehículo como el ejemplo que se muestra en la Tabla 4.2.

Tabla 4. 2 Bitácora del flujo de vehículos

| | | REGISTRO TOTAL DE VEHÍCULOS EN LA INTERSECCIÓN | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------|---|-------------|-----------|-------|--|---|---|
| Lugar | | Av. Tecnológico/Irrigación, Torres Landa, Insurgentes | | | | Movimiento de bicicletas | | |
| Dirección | Tasa | Tipo de vehículo | | | | Giro a la derecha | Giro a la Izquierda | Recto |
| | | Automotor | Motocicleta | Bicicleta | TOTAL |  |  |  |
| Av. Tecnológico-Irrigación | Tasa de llegada | 1499 | 185 | 72 | 1756 | 14 | 21 | 37 |
| | % de llegada | 85.40% | 10.50% | 4.10% | 100% | 19.40% | 29.20% | 51.40% |
| Av. Tecnológico-Torres Landa | Tasa de llegada | 1274 | 163 | 43 | 1480 | 5 | 20 | 18 |
| | % de llegada | 86.10% | 11.00% | 2.90% | 100% | 11.60% | 46.50% | 41.90% |
| Av. Tecnológico-Insurgentes | Tasa de llegada | 1358 | 188 | 77 | 1623 | 14 | 17 | 46 |
| | % de llegada | 83.60% | 11.60% | 4.80% | 100% | 18.20% | 22.10% | 59.70% |
| Av. Tecnológico-Tec NM en Celaya | Tasa de llegada | 1227 | 140 | 86 | 1453 | 20 | 5 | 61 |
| | % de llegada | 84.40% | 9.60% | 6.00% | 100% | 23.30% | 5.80% | 70.90% |

Se consideró establecer las clases de vehículos que transitan en hora pico. Dichos vehículos se caracterizaron como: vehículos automotores, motocicletas y bicicletas, como se observa en la Tabla 4.3.

Tabla 4. 3 Tipo de vehículo

| Tipo de vehículo | Descripción gráfica |
|-----------------------|---|
| Bicicletas |  |
| Motocicletas |  |
| Vehículos automotores |  |

La información obtenida se clasificó en movimientos generados por nodo los cuales son: giro a la derecha, giro a la izquierda y recto. El registro de la composición vehicular se clasificó de la siguiente manera: vehículos automotores, motocicletas y bicicletas. Los datos obtenidos durante la observación fueron de gran utilidad para la implementación del modelo de simulación en computadora. Este modelo, se basa en la información obtenida del escenario real, el cual es la representación numérica del sistema de ciclovías en las avenidas de la ciudad. Con estos datos se pretende proponer posibles soluciones que ayuden a mejorar de las condiciones del sistema de ciclovías existente.

4.4 Implementación del modelo en computadora

En el modelo se contemplaron los ciclos semafóricos de cada carril, así como las tasas de llegadas para cada uno de estos registrados. Se definieron los agentes por tipo de vehículo y promedio de sus dimensiones, ancho del carril y distancias a escala 1:50 metros, de tal forma que el escenario se comporte bajo las mismas condiciones de forma real como se muestra en la Figura 4.3 (Toledo, 2017).



Figura 4. 3 Modelo de simulación

4.5 Verificación y validación del modelo

La validación determina si el modelo representa la realidad simulada, para encontrar errores en la construcción. Se empleará la validación por método de comparación de GEH por las siglas del estadístico Geoffrey E. Havers, con esto se establecerá si el modelo construido es idéntico al sistema real. Los resultados se observan en la Tabla 4.4.

Tabla 4. 4 Calibración del modelo con GEH

| Calibración del modelo | | | | |
|-------------------------------|---|------------------------|-----------------------|------------|
| Movimiento | Intersección de recolección | Flujo observado | Flujo modelado | GEH |
| 1 | 1 Ing.J. M. Clouthier-Av. México-Japón | 65 | 57 | 1.02429504 |
| 2 | 2 Av. México-Japón-Ing.J. M. Clouthier-Av. México-Japón | 66 | 112 | 4.87599025 |
| 3 | 3 Av. Tecnológico-Tec NM en Celaya | 78 | 126 | 4.75270821 |
| 4 | 4 Tec NM en Celaya-Av. Tecnológico | 72 | 96 | 2.61861468 |
| 5 | 5 Av. Tecnológico- Insurgentes | 87 | 36 | 6.50328247 |
| 6 | 6 Francisco Juárez- Boulevard Adolfo López Mateos | 127 | 119 | 0.72133571 |
| 7 | 7 Torres Landa- Irrigación | 37 | 52 | 2.24859507 |
| 8 | 8 Irrigación- Torres Landa | 64 | 49 | 1.99557032 |
| 9 | 9 Irrigación-Av. México-Japón | 50 | 62 | 1.60356745 |

4.6 Experimentación

La Figura 4.4, muestra el modelo de la ciclovía propuesta, identificando con color amarillo, las ciclovías existentes y con color rojo, la ciclovía propuesta a partir de las ciclovías ya construidas, logrando así, comunicar la mayor parte de la ciudad con esta ciclovía.



Figura 4. 4 Modelo de simulación de ciclovías propuesto (amarillo: ciclovía existente, rojo: ciclovía propuesta)

Tabla 4. 5 Salidas del escenario actual

| Salidas escenario actual | | | | | | |
|---|-----------|---------------|-----------------|-------------|---------------|---------------|
| Movement | Vehs(All) | VehDelay(All) | FuelConsumption | EmissionsCO | Emissions NOx | Emissions VOC |
| 1 Ing.J. M. Clouthier-Av. México-Japón | 1079 | 3.7466 | 5.7935 | 404.9664 | 78.7918 | 93.8549 |
| 2 Av. México-Japón-Ing.J. M. Clouthier-Av. México-Japón | 2597 | 138.6261 | 170.9118 | 11946.7317 | 2324.3999 | 2768.7704 |
| 3 Av. Tecnológico-Tec NM en Celaya | 2443 | 38.4037 | 45.1815 | 3158.1881 | 614.4686 | 731.9406 |
| 4 Tec NM en Celaya-Av. Tecnológico | 1591 | 47.9753 | 34.6490 | 2421.9678 | 471.2269 | 561.3144 |
| 5 Av. Tecnológico- Insurgentes | 1764 | 50.4972 | 40.6498 | 2841.4241 | 552.8379 | 658.5275 |
| 6 Francisco Juárez- Boulevard Adolfo López Mateos | 1501 | 61.2687 | 46.5828 | 3256.1366 | 633.5259 | 754.6411 |
| 7 Torres Landa- Irrigación | 1439 | 231.7480 | 175.8462 | 12291.6508 | 2391.5086 | 2848.7088 |
| 8 Irrigación- Torres Landa | 890 | 0.6038 | 4.1569 | 290.5640 | 56.5332 | 67.3410 |
| 9 Irrigación-Av. México-Japón | 1382 | 1.1330 | 10.3812 | 725.6457 | 141.1843 | 168.1754 |

Tabla 4. 6 Salidas del escenario propuesto

| Salidas escenario modelado | | | | | | |
|---|-----------|---------------|-----------------|-------------|---------------|---------------|
| Movement | Vehs(All) | VehDelay(All) | FuelConsumption | EmissionsCO | Emissions Nox | Emissions VOC |
| 1 Ing.J. M. Clouthier-Av. México-Japón | 1304 | 3.4859 | 7.0026 | 489.4802 | 95.2351 | 113.4418 |
| 2 Av. México-Japón-Ing.J. M. Clouthier-Av. México-Japón | 3483 | 154.8956 | 294.1232 | 20559.2141 | 4000.0760 | 4764.7964 |
| 3 Av. Tecnológico-Tec NM en Celaya | 3322 | 68.2018 | 128.3792 | 8973.7091 | 1745.9577 | 2079.7437 |
| 4 Tec NM en Celaya-Av. Tecnológico | 1988 | 46.7960 | 44.8790 | 3137.0416 | 610.3543 | 727.0397 |
| 5 Av. Tecnológico- Insurgentes | 1977 | 48.0253 | 44.3193 | 3097.9189 | 602.7425 | 717.9726 |
| 6 Francisco Juárez- Boulevard Adolfo López Mateos | 2306 | 60.3100 | 82.9083 | 5795.2922 | 1127.5533 | 1343.1149 |
| 7 Torres Landa- Irrigación | 1653 | 249.3040 | 343.3732 | 24001.7838 | 4669.8750 | 5562.6452 |
| 8 Irrigación- Torres Landa | 1693 | 16.1941 | 50.3197 | 3517.3473 | 684.3480 | 815.1792 |
| 9 Irrigación-Av. México-Japón | 1705 | 1.0410 | 12.0631 | 843.2138 | 164.0588 | 195.4229 |

La simulación se corrió durante un tiempo de 7200 segundos para analizar el comportamiento actual en comparación de los resultados en los diferentes escenarios de simulación, se determinó un tiempo de calentamiento de la simulación de 3600 segundos, para analizar las condiciones adecuadas del modelo. Dichos escenarios se crearon a partir de la configuración del flujo vehicular, variando la cantidad de vehículos en las intersecciones de interés, aumentando el uso de bicicletas en 5%, 10% y 15% y el flujo vehicular disminuyendo en esos mismos porcentajes. Se evaluarán los efectos producidos, analizando factores de interés a diversos niveles que permitan entender el comportamiento de las intersecciones definidas.

Tabla 4.7 Escenarios de experimentación con variaciones de aumento de flujo ciclista en 15% y disminución de vehículos automotores en 15%.

| Experimentación 15% de aumento en el flujo ciclista | | | | | | |
|---|-----------|----------------|-----------------|-------------|--------------|--------------|
| Movement | Vehs(All) | VehDelay (All) | FuelConsumption | EmissionsCO | EmissionsNOx | EmissionsVOC |
| 1 Ing.J. M. Clouthier-Av. México-Japón | 1308 | 3.60179 | 7.061513 | 493.599739 | 96.036573 | 114.396506 |
| 2 Av. México-Japón-Ing.J. M. Clouthier-Av. México-Japón | 3485 | 139.231694 | 266.263436 | 18611.81415 | 3621.182725 | 4313.467658 |
| 3 Av. Tecnológico-Tec NM en Celaya | 3257 | 54.626322 | 99.79537 | 6975.696366 | 1357.217033 | 1616.684995 |
| 4 Tec NM en Celaya-Av. Tecnológico | 1880 | 46.055858 | 41.446342 | 2897.099281 | 563.670246 | 671.430735 |
| 5 Av. Tecnológico- Insurgentes | 1931 | 48.334268 | 42.855355 | 2995.589325 | 582.83283 | 694.256753 |
| 6 Francisco Juárez- Boulevard Adolfo López Mateos | 2265 | 59.399725 | 81.526012 | 5698.668267 | 1108.753769 | 1320.721401 |
| 7 Torres Landa- Irrigación | 1649 | 246.343003 | 335.684323 | 23464.3342 | 4565.306797 | 5438.086038 |
| 8 Irrigación- Torres Landa | 1437 | 5.39658 | 19.463382 | 1360.49042 | 264.701999 | 315.306793 |
| 9 Irrigación-Av. México-Japón | 1657 | 0.932516 | 11.809041 | 825.451937 | 160.602952 | 191.306457 |

4.7 Interpretación

Comparando los valores de las Tablas 4.7, con la Tabla 4.6, se observa que el modelo con el aumento de 15% de uso de bicicletas y reducción de vehículos automotores en el mismo porcentaje, es el modelo óptimo de mejora de la ciclo vía, los valores obtenidos de la comparación son los que se muestran en la Tabla 4.10.

Tabla 4. 7 Resultados de la comparación de salidas entre el modelo y el aumento de 15% de ciclistas

| Comparación de salidas entre el modelo y el aumento de 15% de ciclistas | | | | | | |
|---|------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Movement | Vehs(All) | VehDelay (All) | FuelConsum | EmissionsCO | EmissionsNOx | EmissionsVOC |
| 1 Ing.J. M. Clouthier-Av. México-Japón | -4 | -0.1159 | -0.0589 | -4.1196 | -0.8015 | -0.9548 |
| 2 Av. México-Japón-Ing.J. M. Clouthier-Av. México-Japón | -2 | 15.6639 | 27.8598 | 1947.3999 | 378.8933 | 451.3287 |
| 3 Av. Tecnológico-Tec NM en Celaya | 65 | 13.5754 | 28.5839 | 1998.0127 | 388.7407 | 463.0587 |
| 4 Tec NM en Celaya-Av. Tecnológico | 108 | 0.7402 | 3.4327 | 239.9423 | 46.6841 | 55.6089 |
| 5 Av. Tecnológico- Insurgentes | 46 | -0.3090 | 1.4639 | 102.3296 | 19.9096 | 23.7159 |
| 6 Francisco Juárez- Boulevard Adolfo López Mateos | 41 | 0.9103 | 1.3823 | 96.6239 | 18.7995 | 22.3935 |
| 7 Torres Landa- Irrigación | 4 | 2.9610 | 7.6888 | 537.4496 | 104.5682 | 124.5591 |
| 8 Irrigación- Torres Landa | 256 | 10.7976 | 30.8563 | 2156.8569 | 419.6460 | 499.8724 |
| 9 Irrigación-Av. México-Japón | 48 | 0.1085 | 0.2541 | 17.7618 | 3.4558 | 4.1165 |
| Total | 562 | 44.331924 | 101.462906 | 7092.257212 | 1379.895538 | 1643.699095 |

Se observa que existen diferencias significativas en la comparación de los 2 modelos, los resultados más importantes, de acuerdo con su valor, son las emisiones de contaminantes al ambiente. El Programa de Gestión Para Mejorar la Calidad del Aire de Salamanca, Celaya e Irapuato 2013-2022 (2013), menciona que Celaya tiene emisiones de 225310 ton/año de CO, 13876 ton/año de NOx y 23059 ton/año de COV.

4.8 Documentación

Con los datos obtenidos se realizará la propuesta que será presentada para analizar la factibilidad de implementación de la ciclo vía simulada a las autoridades municipales de la Ciudad de Celaya, como son el director de vialidad y de movilidad.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

Si el 15% de las personas que utilizan vehículos automotores para moverse en la ciudad lo sustituyeran por la bicicleta, habría reducciones representativas de emisiones al ambiente, de tiempo de espera y consumo de combustible como se muestra en la Figura 5.1 y Figura 5.2.

La reducción de emisiones al ambiente es muy importante, ya que como se mencionó anteriormente, Celaya se encuentra dentro de las ciudades más contaminadas en el estado de Guanajuato, con este modelo existe una reducción de los niveles de monóxido de carbono (CO) de 7092.2572 ton/año que representa el 3.14%, de óxidos de nitrógeno (NOx) de 1379.89 ton/año que es igual al 9.94% y de compuestos orgánicos volátiles (COV) de 1643.6991ton/año igual al 7.12%, según los datos obtenidos del Programa de Gestión Para Mejorar la Calidad del Aire de Salamanca, Celaya e Irapuato 2013-2022 (2013). El tiempo de espera en las intersecciones se reduciría en 3.54%, y los niveles de consumo de combustible disminuiría en 5.3%.

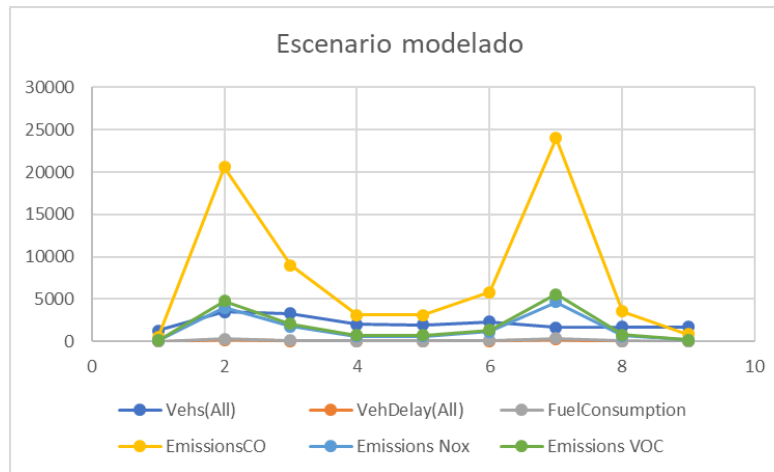


Figura 5. 1 Gráfica de resultados del escenario con una infraestructura de ciclovías mejorada, suponiendo que no hay aumento en el flujo de ciclistas, ni disminución de vehículos automotores circulando en las avenidas de interés.

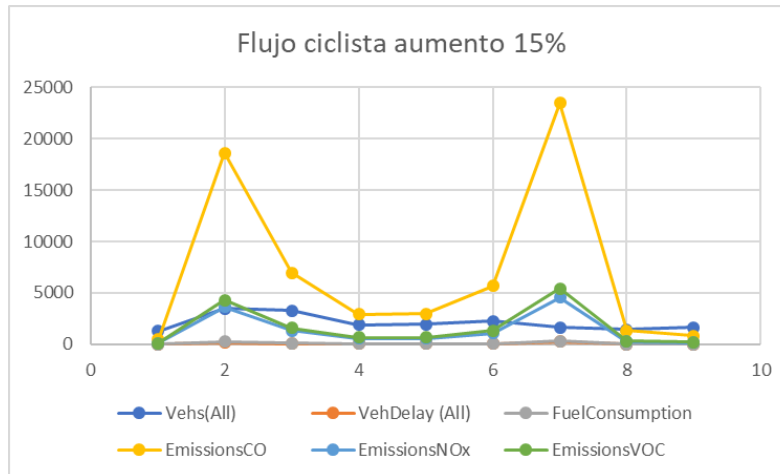


Figura 5. 2 Gráfica de resultados del escenario con una infraestructura de ciclovías mejorada y con aumento del flujo de ciclistas en 15% y de vehículos automotor en el mismo porcentaje.

Con este estudio de micro-simulación aplicada se logró demostrar que con una adecuada construcción de la ciclovía con las medidas de seguridad necesarias y que abarquen las principales avenidas de la ciudad de Celaya, se pueden reducir significativamente problemas derivados del uso de vehículos automotores en exceso.

Uno de estos problemas son las emisiones de CO, NOx y COV que son los responsables de la contaminación ambiental del aire y, por lo tanto, generan enfermedades respiratorias en los habitantes de la ciudad. El consumo de combustibles es otro factor en el cual la ciclovía tendría un gran impacto, ya que la disminución de su consumo representa un efecto económico significativo, porque el precio de los combustibles ha aumentado considerablemente en los últimos años. Los tiempos de espera en las intersecciones se reducirán al disminuir el flujo de vehículos automotores en las vialidades, por lo cual la circulación sería más rápida y eficiente, generando así una concientización sobre el uso de las ciclovías al empezar a dar prioridades a los ciclistas, en vez de a los automovilistas.

La micro-simulación permite analizar a detalle los agentes que interactúan en toda la red vehicular, por lo que este tipo de estudios se puede aplicar en distintos nodos a lo largo de la ciudad de Celaya, se podrían realizar estudios en todo el país, lo que provocaría la eficiencia y mejora de las redes vehiculares actuales, por este motivo, la micro-simulación aplicada en

el tráfico vehicular es de gran interés para realizar análisis a detalle que ayuden a generar mejoras en la red vehicular, por lo cual contribuirían a la planificación de proyectos y generarían mejoras dentro de la red vehicular en el lugar donde se presenten indicadores de conflicto.

Se planeaba realizar un estudio con el 18% de disminución de los usuarios de vehículos automotor, ya que se obtuvo ese resultado de las encuestas aplicadas, pero este no se pudo realizar debido a fallas en el software, las cuales nos fueron resueltas por el proveedor.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, L. R. (2016). *Guía de diseño y evaluación de ciclovías para Costa Rica*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Henry_Hernandez-Vega/publication/298453008_Guia_diseno_y_evaluacion_ciclovias_para_Costa_Rica/links/584899a808ae61f75de35632/Guia-diseno-y-evaluacion-ciclovias-para-Costa-Rica.pdf
- Aguirre, M. (2015). *Sistemas, modelos y simulación*. Obtenido de <http://arantxa.ii.uam.es/~aguirre/OS/sms.pdf>
- Ahmed, K. (1999). *Modeling Drivers Acceleration and Lane Changing Behaviour*. Massachusetts: Institute of Technology.
- Alcalá, R. M. (2016). *Microsimulación del tráfico de la intersección de las avenidas Bolívar, Córdoba y calle Andalucía empleando el software VISSIM 6*. Lima, Perú: Tesis de licenciatura. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Arrieta, K. (2013). *Modelación del tráfico vehicular con el software PTV Vissim- Tramo Bomba El gallo-Bomba El amparo*. Cartagena de Indias, Colombia: Tesis de licenciatura. Universidad de Cartagena. Facultad de Ingeniería.
- Banks J., C. J. (1996). *Discrete-Event System Simulation* (2 ed.). New Jersey: Prentice-Hall.
- Barceló, J. (1999). *Simulación de sistemas discretos*. Madrid: Isdefe. Obtenido de <https://compartirescombatir.blogspot.mx/2016/05/simulacion-de-sistemas-discretos.html>
- Bloomberg, L. &. (2000). A comparison of the Vissim and Corsin traffic simulation models. *Institute of Transportation Engineers. Annual Meeting*.
- Board, T. R. (2000). *Highway Capacity Manual*.

- Caliendo, G. (Diciembre de 2012). Microsimulation approach for predicting crashes at unsignalized intersections using traffic conflicts. *Journal of Transportation Engineering*, 138.
- Carvalho, M. (2015). Discrete and continuous simulation. Obtenido de <http://es.slideshare.net/chienq1/discrete-and-continuoussimulation-presentation>
- Cely, R. S. (20 de Noviembre de 2013). La transportabilidad del material de cerramiento en ciclovia: escenario de acción para diseñadores industriales. + mas D. *Revista digital de diseño*, 13. Obtenido de <http://masd.unbosque.edu.co/13/la-transportabilidad-del-material-de-cerramiento-en-ciclovía>
- Chamorro, R. J. (2015). *Análisis de la operación del sistema de ciclorutas en la ciudad de Bogotá, comparado con los modelos aplicados en Medellín, Chile, Guadalajara, Canadá y Holanda*. Bogotá, Colombia: Tesis de licenciatura. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería.
- Churchman, C. W. (1963). An analysis of the concept of simulation. Symposium on Simulation Models. En T. H. Naylor, *Técnicas de simulación en computadoras* (pág. 16). Wiley.
- Coss, B. R. (2003). *Simulación un enfoque práctico*. México: Limusa Noriega Editores.
- CROW. (2011). *Manual de diseño para el tráfico de bicicletas* (Vol. record 27). Holanda: CROW, Ede.
- Fellendorf, P. (2010). Microscopic traffic flow simulation vissim. *International Series in Operation Research and Management Science*.
- FORBES MÉXICO. (2015). Las mejores ciudades para los ciclistas en América Latina . *FORBES*. Obtenido de <http://www.forbes.com.mx/las-mejores-ciudades-para-los-ciclistas-en-america-latina/>>
- Gao, Y. (2008). *Calibration and comparison of the Vissim and integration microscopic traffic simulation model*. Blacksburg, United States of America: Tesis de Mestría en Ciencias. Virginia Polytechnic Institute and State University.

- Garduño, A. (2013). *Invertir para movernos, prioridad inaplazable: diagnóstico de fondos federales para transporte y accesibilidad urbana en México*. México: ITDP, Embajada Británica en México.
- Gobierno de Jalisco. (2011). Manual de lineamientos y estándares para vías peatonales y ciclovías. En *Plan maestro de movilidad urbana no motorizada del área metropolitana de Guadalajara*. Guadalajara, México. Obtenido de <https://semov.jalisco.gob.mx/sites/semov.jalisco.gob.mx/files/lineamientosviaspeatonales.pdf>
- Gross, D. S. (2008). *FUNDAMENTALS OF QUEUEING THEORY*. WILEY.
- Harrell, C. R. (1995). *Simulation Made Easy: A Manager's Guide*. (I. o. Engineers, Ed.)
- Highways England. (2011). Design manual for roads and bridges. *Norwich: The stationery office*.
- Hipp, E. K. (Diciembre de 2013). Target of population involvement in urban ciclovias: A preliminary evaluation of St. Louis Open Streets. *Journal Of Urban Health*, 90(6).
- Howard, M. &. (1998). *An introduction to stochastic modeling* (3rd ed.). United States of America: Academic Press.
- INEGI, I. N. (2015). *Cuentame INEGI. División municipal*. Obtenido de http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/gto/territorio/div_municipal.aspx?tema=me&e=11
- Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato. (2013). Programa de gestión para mejorar la calidad del aire de Salamanca, Celaya e Irapuato 2013-2022. *SEMARNAT*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/69286/7_ProAire_Salamanca-Celaya-_Irapuato.pdf
- Martínez Gaete, C. (2015). EuroVelo: La enorme red de 14 ciclovías que en 2020 conectará 43 países europeos. Obtenido de <http://www.plataformaurbana.cl/archive/2014/08/01/>

- Mathew, T. K. (2007). Microscopic traffic flow modeling. En *Introduction to transportation engineering*. (págs. 34.1-34.9). NPTEL. Obtenido de <http://nptel.ac.in/courses/105101087/downloads/Lec-34.pdf>
- Min Yang, W. W. (5 de Noviembre de 2013). Performance of the Priority Control Strategies for Bus Rapid Transit: Comparative Study from Scenario Microsimulation Using VISSIM. (H. Niu, Ed.) *Discrete Dynamics in Nature and Society, 2013*(Article ID 398938).
- Muñoz., B. J. (2016). Diseño de ciclovías para ciudades intermedias, una propuesta para la ciudad de Loja. *INNOVA Research Journal, 1*(12).
- Narváez, R. y. (2012). *Modelación del tránsito vehicular en el sector bomba El Amparo-Sao la Plazuela, Cartagena por medio del software PTV Vissim*. Cartagena: Tesis de ingeniería. Universidad de Cartagena. Facultad de ingeniería.
- Naylor, T. N. (1996). *Computer Simulation Techniques*. NY: Wiley.
- ONU-Hábitat. (2015). *Reporte Nacional de Movilidad Urbana en México 2014-2015*. México D.F. Obtenido de <http://www.culturadelalegalidad.org.mx/recursos/Contenidos/Estudiosacademicosyestadisticos/documentos/ONUHABITAT.pdf>
- Park, B. &. (2003). Microscopic simulation model calibration and validation: case study of VISSIM simulation model for a coordinated actuated signal system. . *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1856)*, 185-192.
- PTV Group. (2017). *PTV Vissim*. Obtenido de <http://vision-traffic.ptvgroup.com/es/productos/ptv-vissim/>
- RAE. (1980). *Gran diccionario enciclopedico ilustrado* (Vol. 8). (S. d. México, Ed.) México: Editora Mexicana.
- Ramos, A. (s.f.). Micro-simulación del tráfico de la intersección de las avenidas Bolívar, Córdoba y calle Andalucía empleando el software VISSIM 6 .

- Robles, D. (2009). Control y simulación de tráfico urbano en Colombia: estado del arte. *Revista de Ingeniería*, 29, 59-69.
- Rumbaugh, J. (1996). *OMT Insights: Perspective on Modeling from the Journal of Object-Oriented Programming* (Vol. 6). Cambridge University Press.
- Sarmiento, e. a. (2010). La ciclovía-recreativa: un programa masivo de recreación con potencial en salud pública. *Journal of Physical Activity and Health*, págs. S163- S180.
- Saucedo, M. G. (2016). Infraestructura vial para usuarios vulnerables en México y algunas recomendaciones para su mejoramiento. Instituto Mexicano del Transporte. *V Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial*. Santiago de Chile. Obtenido de http://87.98.229.209/~aec/comunicaciones-v-cisev/Ricardo%20Fritz%20Lopez-Infraestructura%20vial%20para%20Usuarios%20Vulnerables%20en%20Mexico%20y%20algunas%20recomendaciones%20para%20su%20mejoramiento_.pdf
- Shannon, R. (1988). *Simulación de Sistemas. Diseño, desarrollo e implementación*. Trillas.
- Shubik, M. (Diciembre de 1960). Simulation of the Industry and the Firm. *American Economic Review*, 909.
- Singh, V. P. (2009). *System modeling and Simulation*. New Age International.
- Starfield, T. (2005). Discussion: Deterministic or stochastic. (T. U. Vermont, Ed.) Vermont, United States of America. Obtenido de http://www.uvm.edu/~tdonovan/modeling/module5/05_Deterministicstochastic_transcript.pdf
- Suárez, A. (2007). *Análisis y evaluación operacional de intersecciones urbanas mediante la microsimulación*. Medellín, Colombia: Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.
- Tarifa, E. E. (2001). Teoría de modelos y simulación. *Facultad de Ingeniería, Universidad de Jujuy*. Obtenido de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38230205/MODELO_DE_SIMULACION.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1

526887064&Signature=8bofd4iAzuWuVGIEIokXOw7rSjM%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DTeoria_de_Modelos_y_Simul

- Temores, C. G. (2016). *Estratégica para la planeación e implementación de ciclovías*. Tecamachalco, Estado de México, México: Tesis de licenciatura. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.
- Toledo, A. L. (2017). *Análisis del impacto de la movilidad vehicular en las avenidas importantes de la ciudad de Celaya, Guanajuato con enfoque de micro-simulación*. Celaya: Tesis de maestría. Tecnológico Nacional de México en Celaya.
- Torres, S. S. (2013). The ciclovía and cicloruta programs: Promising interventions to promote physical activity and social capital in Bogotá, Colombia. *American Journal of Public Health, 103*(2), págs. e23-e30.
- Transport for London. (2010). *Traffic Modelling Guidelines*. London: Transport for London.
- Transportation Reserch Board. (Washington de 2000). Highway Capacity Manual.



XIII Conference on Transport Engineering, CIT2018

Bikeway system design in the city of Celaya through a micro-simulation approach

Abigail del Carmen Almanza Mendoza^a, Luis Ángel Toledo Aguilar^b, José Alfredo Jiménez García^a, Salvador Hernández González^a, Moisés Tapia Esquivas^a, Vicente Figueroa Fernández^a, Diego Fernández Soto^b

^a Instituto Nacional de México en Celaya, Depto. Ingeniería Industrial, Av. García Cubas 1200, Esquina Ignacio Borunda, Celaya, 38020, México

^b Universidad Politécnica de Guanajuato, Depto. Ingeniería en Logística y Transporte, Av. Universidad Sur 1001, Cortazar, 38483, México

Abstract

Celaya is among the most diversified cities in the manufacturing sector of auto parts, metalworking, chemical, petrochemical, and agroindustry. It stands out as an important center of merchandise distribution, which is why the population of the city has increased in recent years, this has generated an accelerated urban development, expanding the network of streets, avenues and the implementation of road axes that interconnect a large part of the city, forcing the population to use motor vehicles to move within them. It is necessary to create initiatives to reduce the current mobility problems due to the excessive use of motor vehicles. For this reason, "Bikeway system designs in the city of Celaya through a micro-simulation approach" is proposed, which will allow an increase in mobility and displacement of cyclists in a safe and efficient way, and will motivate those who use motor vehicles to replace their vehicles for the bicycle. This micro simulated design was made with the help of PTV Vissim® software, generating simulation scenarios on main avenues, Mexico-Japón, Tecnológico, Irrigación, Francisco Juárez, Torres Landa, Constituyentes and Boulevard Adolfo López Mateos, for their level of vehicular flow, the environmental impact was measured and as a result the proposal was obtained for a bikeway that consider the intersection and union with the most important roads in the city. The main objective of the research was achieved, which is the reduction of emissions, waiting time and fuel consumption by increasing the number of users of the bikeway. If 15% of people who use motor vehicles to move in the city replaced it by bicycle, there would be reductions in the levels of carbon monoxide (CO) in 3.14%, of nitrogen oxides (NOx) in 9.94% and volatile organic compounds (VOCs) in 7.12%, timeout at the intersections would be reduced by 3.54%, and fuel consumption levels would lower by 5.3%.

© 2018 The Authors. Published by Elsevier Ltd.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Selection and peer-review under responsibility of the scientific committee of the XIII Conference on Transport Engineering, CIT2018.

2352-1465 © 2018 The Authors. Published by Elsevier Ltd.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Selection and peer-review under responsibility of the scientific committee of the XIII Conference on Transport Engineering, CIT2018.
10.1016/j.trpro.2018.11.003

ANEXO B. Encuesta aplicada

Instituto Nacional de México en Celaya



Encuesta Ciclovía

En recientes años la población de la Ciudad de Celaya se ha incrementado, por lo cual es necesario crear iniciativas para resolver los problemas de movilidad debido al exceso del uso de vehículos automotor, por esta razón, se propone el proyecto "Diseño de un sistema de ciclovías en la ciudad de Celaya mediante un enfoque de micro simulación". Por tal motivo, esta encuesta tiene como objetivo reunir la opinión de los potenciales usuarios acerca de la construcción de una ciclovía. Por favor conteste honestamente cada una de las preguntas.

1. ¿Cuál es la actividad que realiza por la cual necesita trasladarse dentro de la ciudad?

2. ¿Cuál es el medio de transporte que utiliza para trasladarse en la ciudad?

Transporte público () Automóvil () Motocicleta () Otro:

3. Si existiera una infraestructura de ciclovías bien diseñada y con los elementos de seguridad adecuados, ¿estaría dispuesto a sustituir su medio de transporte por la bicicleta?

Si

No

En caso de que su respuesta sea negativa, seleccione una de las siguientes opciones o menciónela en caso de que sea otra causa.

Clima () Seguridad () Tiempo de traslado () Falta de señalética ()

Otra:

4. ¿Consideraría importante la construcción de una red de ciclovías en la ciudad para solucionar los problemas de movilidad y contaminación?

Si

No

¿Por qué?