



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
Cuna de héroes, crisol de pensadores



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**“PROPUESTA DE ORDENAMIENTO VIAL PARA
INTERSECCIONES URBANAS NO SEÑALIZADAS A NIVEL,
MEDIANTE LA ORGANIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE
CIRCULACIÓN”**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MAESTRO EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN LA
RAMA DE LAS VÍAS TERRESTRES**

Presenta:

Ing. Luis Rodrigo Zazueta Medina

Asesor:

Dr. Rafael Soto Espitia

Co-asesor:

Dr. Jaime Saavedra Rosales

Morelia, Michoacán, Noviembre de 2017



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
Cuna de héroes, crisol de pensadores



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

“PROPUESTA DE ORDENAMIENTO VIAL PARA INTERSECCIONES
URBANAS NO SEÑALIZADAS A NIVEL, MEDIANTE LA
ORGANIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE CIRCULACIÓN”

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN LA RAMA
DE LAS VÍAS TERRESTRES

Presenta:

Ing. Luis Rodrigo Zazueta Medina

Mesa sinodal:

Asesor:

Dr. Rafael Soto Espitia

Co-asesor:

Dr. Jaime Saavedra Rosales

Sinodales:

Dr. Jorge Alarcón Ibarra

Dr. José Roberto Pérez Cruz

M.I. Marco Luis Dorado Pineda

Morelia, Michoacán, Noviembre de 2017

Resumen

En el presente trabajo se analiza una intersección urbana a nivel no señalizada, ubicada en la ciudad de Morelia, Michoacán, México. Como resultado del análisis realizado a la intersección, se elaboró una propuesta de solución mediante la aplicación de una metodología que integra técnicas y criterios aplicados por la Federal Highway Administration (FHWA), la Association of Road Transport and Traffic Agencies in Australia and New Zealand (AUSTROADS), así como también, un criterio de velocidades (% de similitud) que complementa el proceso de calibración y validación del modelo de simulación, mismo que fue elaborado a partir de los análisis de sensibilidad llevados a cabo en la presente investigación. Además, para analizar la intersección se utilizan algunos parámetros de eficiencia empleados por ambos organismos (cola media, flujo, densidad, distancia media de viaje, tiempo medio de demora, tiempo medio de viaje y velocidad media).

Como herramienta de análisis, modelación y microsimulación, así como también para determinar el impacto y selección de la propuesta de solución, se utilizó el software Aimsun 8.1. La propuesta de solución se desarrolla a través de modificaciones en las condiciones de circulación, restricciones de giros y cambios de sentido de circulación. Asimismo, esta propuesta considera reducir los puntos de conflicto, y el mejoramiento del señalamiento existente, conservando la geometría de la intersección. De esta manera, se obtuvo una propuesta capaz de mejorar el desempeño de la intersección con base en parámetros de eficiencia, tales como, cola media, demora media, tiempo medio de viaje, velocidad media, entre otros.

Palabras clave: Intersección urbana, intersección no señalizada, condiciones de circulación, ordenamiento vial, simulación microscópica

Abstract

In this document, an unsignalized intersection located in Morelia, Michoacán, México, is analyzed. A proposal solution was developed through the application of a methodology, which is composed of techniques and criteria applied by the Federal Highway Administration (FHWA), The Association of Road Transport and Traffic Agencies in Australia and New Zealand (Austroads), and also a speed criteria used in the calibration and validation of the simulation model, as well as a few efficiency parameters used by the FHWA and Austroads (average queue, traffic flow, density, average travel distance, average travel time, average delay time and average speed). The speed criteria (% of similarity) was developed through the sensitivity analysis made in this investigation.

For the analysis, modeling, microsimulation and selection of the proposal solution, the software Aimsun 8.1 was used. The proposal solution consists of changes in the circulation conditions, and turns restrictions. It also discusses the reduction of conflict points and modifications in the road signs, without modifications in the intersection geometry. The simulation of this proposal, shows an improvement in the efficiency parameters (average queue, average delay, average travel time, average speed, and others) compared to the current scenario.

Keywords: Urban intersection, unsignalized intersection, circulation conditions, road ordering, Microsimulation.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo brindado durante todo el proceso en estos estudios de posgrado.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por abrirme las puertas y por la confianza otorgada para cursar la Maestría en Ingeniería en Infraestructura del Transporte en la rama de las Vías Terrestres.

Al Dr. Rafael Soto Espitia y al Dr. Jaime Saavedra Rosales, por la ética y dedicación demostrada en este periodo, siempre en la mejor disposición de contribuir en el desarrollo y formación de mejores profesionistas y trabajos de calidad.

A la compañía Transport Simulation Systems por todas las facilidades brindadas al otorgarme el acceso sin costo al software Aimsun 8.1, así como a distintas consultas técnicas.

Al Instituto Mexicano del Transporte, en especial al M. en I. Emilio Abarca Pérez, jefe de la Unidad de Operación del Transporte, y al M. en I. Marco Luis Dorado Pineda, Investigador Especialista en Vías Terrestres en la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte, por la transmisión de conocimiento y el ejemplo de dedicación en la materia.

A mis padres José Luis Zazueta y Aida Medina, y hermanos José Luis y Luis Fernando, por inculcarme el buen camino, predicar con el ejemplo de la honestidad y el esfuerzo, y el resultado de estos.

A mi esposa Catalina por ser esa motivación constante, aquella que cada día me impulso a continuar y a no darme por vencido.

Dedicatoria

Este trabajo de lo dedico a mis padres José Luis y Aida, mis hermanos José Luis y Luis Fernando, mi esposa Catalina, y a la memoria de Oscar Andrés Urías Medina.

Índice

Resumen	v
Abstract	vi
Agradecimientos	viii
Dedicatoria	ix
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Propuesta de solución	1
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.2 Objetivos particulares	3
1.3 Metodología	4
1.4 Contenido del documento.....	5
Capítulo 2. Marco Teórico	6
2.1 Teoría del flujo vehicular	6
2.1.1 Modelo microscópico	6
2.1.2 Modelo macroscópico	8
2.1.3 Unidad de vehículos de pasajeros	9
2.1.4 Conceptos fundamentales del flujo vehicular.....	10
2.1.4.1 Densidad	10
2.1.4.2 Flujo.....	11
2.1.4.3 Velocidad.....	11
2.1.4.3.1 Velocidad media de recorrido.....	12
2.1.4.3.2 Velocidad media temporal	12
2.1.5 Demora media por detención	12
2.1.6 Rapidez o celeridad media	12
2.2 Indicadores del rendimiento	13
2.2.1 Factor de hora pico	13
2.2.2 Niveles de servicio.	13
2.2.3 Condiciones viales o de la plataforma.....	14
2.2.4 Condiciones de circulación	14
2.2.5 Condiciones de control	14

2.3 Intersecciones.....	14
2.4 Congestionamiento.....	14
Capítulo 3. Estado del arte	16
3.1 La simulación en el control del tránsito vehicular	16
3.1.1 Optimized simulation on the intersection traffic control and organization based on combined application of simulation software.....	16
3.1.2 Aplicación de simulación en el control de tráfico, una propuesta para ciudad del Este.....	17
3.1.3 Plataforma de simulación y visualización para el apoyo al análisis y toma de decisiones en proyectos de movilidad urbana.	19
3.1.4 Modeling and Simulation of Intersection Signal Control for Transit Priority.	20
3.2 Análisis de Intersecciones.....	22
3.2.1 Study on coordination control with bandwidth optimization for signalized intersections in arterial systems.....	22
3.2.2 Optimization Method of the Cycle and Critical Phase on Signal Control Intersection.....	24
3.2.3 Signal Control Optimization for Urban Traffic against Incident-Induced Congestion.	26
3.2.4 Traffic Congestion Analysis Visualisation Tool.	28
Capítulo 4. Metodología de análisis para intersecciones urbanas a nivel no señalizadas.....	30
4.1 Adquisición de datos.....	30
4.1.1 Ubicación de la unidad de análisis	30
4.1.2 Reconocimiento de eventos en la unidad de análisis	31
4.1.3 Visitas y trabajo de campo.....	31
4.1.3.1 Visita de reconocimiento.....	32
4.1.3.2 Características geométricas	32
4.1.3.3 Levantamiento de señalamiento y dispositivos de control del tránsito en la intersección	33
4.1.4 Aforos vehiculares.....	33
4.1.5 Movimientos direccionales.....	35
4.1.6 Identificación de la distribución vehicular	36
4.1.7 Velocidades.....	37
4.2 Análisis del modelo actual	37
4.2.1 Análisis de datos	37

4.2.2 Modelo estático (ME)	38
4.2.3 Modelo dinámico del estado actual (MDEA)	39
4.2.3.1 Trazo de la intersección.....	40
4.2.3.2 Nodos	41
4.2.3.3 Demanda de tránsito.....	41
4.2.3.3.1 Estado de tránsito	41
4.2.3.3.2 Vehículos	43
4.3 Calibración y validación del MDEA	43
4.3.1 Análisis de sensibilidad.....	43
4.3.2 Calibración del MDEA.....	44
4.3.3 Validación del MDEA	45
4.4 Alternativas de solución.....	46
4.4.1 Zonas y puntos de conflicto	46
4.4.2 Propuestas de alternativas de solución.....	46
4.4.3 Modelo dinámico con propuesta (MDCP)	47
4.5 Selección de propuestas de solución.....	47
4.5.1 Análisis de propuestas de solución	48
4.5.2 Selección de la Propuesta	48
Capítulo 5. Resultados	49
5.1 Adquisición de datos.....	49
5.1.1 Ubicación de la unidad de análisis	49
5.1.2 Reconocimiento de eventos en la unidad de análisis	51
5.1.3 Visitas y trabajo de campo.....	53
5.1.3.1 Características geométricas	53
5.1.3.2 Levantamiento de señalamiento e infraestructura existente	55
5.1.3.3 Señalamiento horizontal	56
5.1.3.4 Identificación de obras de drenaje y postes de servicio	57
5.1.3.5 Infraestructura para peatones y otro tipo de usuarios	58
5.1.4 Aforos vehiculares.....	59
5.1.4.1 Aforo ferroviario.....	59
5.1.5 Movimientos direccionales.....	60
5.1.6 Identificación de la distribución vehicular	60
5.1.7 Velocidades.....	61
5.2 Análisis del modelo actual	61

5.2.1	Análisis de datos	61
5.2.1.1	Análisis de datos de aforo y cálculo de HMD	61
5.2.1.2	Cálculo de movimientos direccionales	64
5.2.1.3	Cálculo de distribución vehicular	66
5.2.1.4	Estudio de velocidades	67
5.2.1.5	Cálculo de características vehiculares	68
5.2.2	Modelo estático	69
5.2.3	Modelo dinámico del estado actual	71
5.3	Calibración y validación del MDEA	71
5.3.1	Calibración del MDEA	71
5.3.2	Validación del MDEA	74
5.3.3	MDEA con cruce ferroviario	76
5.4	Alternativas de solución	76
5.4.1	Zonas y puntos de conflicto	76
5.4.2	Propuestas de alternativas de solución	78
5.5	Selección de propuesta de solución	81
5.5.1	Análisis de propuestas de solución	81
5.5.2	Selección de la propuesta	83
5.5.2.1	Propuesta 2 en HMD AM	84
5.5.2.2	Propuesta 2 en HMD PM	88
Capítulo 6.	Conclusiones	92
6.1	Trabajo futuro	93
Bibliografía		95
Anexo 1		98
Anexo 2		104
Anexo 3		122
Anexo 4		129
Anexo 5		136

Capítulo 1. Introducción

El aumento desmesurado de la población y de los vehículos privados, se convierten en problemas cada vez más urgentes que atender en las ciudades. Tan solo en México en el año 2012 se registró una tasa de motorización del 6.32% anual, mayor al crecimiento de la tasa demográfica del 2.41% (Medina, 2012). Condiciones como la anterior y las limitaciones de la infraestructura vial, traen consigo la generación de congestionamientos viales (Rodríguez, Osiris, & Rodríguez, 2015). Siendo el congestionamiento vial el principal causante de contaminación, aumento en los costos de operación, y la pérdida de calidad de vida. Asimismo, si a esto se le agrega la ausencia de un sistema de control, falta de demarcación de los carriles, condiciones de circulación que no logran un ordenamiento vial funcional, y la integración de distintos modos de transporte, el problema se agrava (Thompson & Bull, 2002).

1.1 Propuesta de solución

En este trabajo se presenta una propuesta de ordenamiento vial para una intersección urbana a nivel no señalizada, ubicada en la ciudad de Morelia, Michoacán. La propuesta de ordenamiento vial se obtuvo a través de la aplicación de la metodología propuesta que lleva por nombre “Metodología de análisis para intersecciones urbanas a nivel no señalizadas”. La metodología propuesta está basada en la utilización de parámetros de eficiencia (cola media, flujo vehicular, densidad, distancia media de viaje, tiempo medio de viaje, número total de paradas, tiempo medio de parada, tiempo medio de demora y velocidad media), criterios de calibración y validación utilizados por la Federal Highway Administration (FHWA) y la Association of Road Transport and Traffic Agencies in Australia and New Zealand (AUSTROADS), y en el empleo del software Aimsun 8.1 como herramienta de análisis, modelación y microsimulación.

Para llevar a cabo los procesos de análisis, modelación y simulación de la intersección, se realizaron los trabajos de adquisición de datos, análisis del modelo

actual, calibración y validación del modelo dinámico del estado actual, alternativas de solución y selección de propuesta de solución, mismos que representan el contenido de la metodología propuesta.

La adquisición de datos de la intersección se realizó a través de visitas de campo y aforos vehiculares. El análisis de estos datos permitió identificar las horas de máxima demanda (HMD), los flujos vehiculares, la distribución vehicular, las características vehiculares, los porcentajes de movimientos direccionales, las velocidades medias, la geometría de la intersección y la presencia de un cruce ferroviario. Una vez identificada esta información se realizó un modelo estático (ME), el cual muestra de manera gráfica las condiciones viales y de circulación de la intersección. Utilizando el ME y la información obtenida a través del análisis de los datos adquiridos en campo (HMD, flujos vehiculares, distribución vehicular, características vehiculares, velocidades medias y geometría), se creó el modelo dinámico del estado actual de la intersección (MDEA).

El propósito del MDEA es representar por medio de la microsimulación las condiciones viales, de circulación y de control que describen a la intersección, sin embargo, esto solo será representativo si el modelo está calibrado y validado.

Para la etapa de calibración y validación del MDEA, se aplicaron criterios de calibración y validación utilizados por la FHW y la AUSTROADS, asimismo, se aplicó el criterio de porcentaje de similitud (% de similitud), el cual establece un rango mínimo de similitud entre las velocidades obtenidas en campo con respecto a las simuladas.

Una vez calibrado y validado el MDEA, se procedió a incorporar la presencia del paso del tren, obteniendo así dos modelos de simulación adicionales (escenario 2 y escenario 3) al modelo del estado actual de la intersección (escenario 1). En el escenario 2 circula un tren con una duración de 2 minutos y 20 segundos. Por otra parte, en el escenario 3 se mantiene la presencia del tren del escenario 2, y se agrega la circulación de otro tren con una duración de 1 minuto y 8 segundos.

Después de definir los 3 escenarios se llevó a cabo la etapa de alternativas de solución en donde se identificaron los puntos y zonas de conflicto, así como sus causantes. De esta forma se generaron tres propuestas de ordenamiento vial que

consistieron en cambios de sentido, restricción de vueltas izquierdas (en algunas vialidades), y disminución de los puntos de conflicto. Después de la elaboración de cada propuesta, estas se plasmaron en el MDEA de cada escenario para su posterior simulación y análisis.

Finalmente en la etapa de selección de la propuesta de solución, las propuestas fueron analizadas para cada escenario y comparadas con los resultados del modelo del estado actual correspondiente. De esta manera fue posible seleccionar la propuesta de ordenamiento vial que mejorara cada uno de los escenarios con respecto a los parámetros de eficiencia, puntos de conflicto y circulación en la intersección.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Elaborar una propuesta de ordenamiento vial mediante cambios en las condiciones de circulación, incluyendo la organización racional del espacio; a nivel anteproyecto.

1.2.2 Objetivos particulares

1. Identificar y definir las características actuales de la zona de estudio.
2. Determinar las características de circulación a través del análisis de los flujos vehiculares y las observaciones en campo.
3. Desarrollar un modelo de simulación de la zona de estudio, con base en las características identificadas.
4. Validar el modelo considerando criterios de calibración y validación internacionales.
5. Desarrollar propuestas de solución basadas en las condiciones de circulación de acuerdo a las características de la zona de estudio.

1.3 Metodología

A continuación se presentan el esquema (figura 1.1) y etapas que conforman la metodología propuesta para alcanzar los objetivos anteriormente descritos:

- Realizar mediciones a través de visitas y trabajos de campo para identificar y definir las características actuales de la zona de estudio.
- Análisis de los flujos vehiculares, movimientos direccionales y reconocimiento de los eventos en la intersección para determinar las características de circulación.
- Ingresar en el software Aimsun 8.1 las características de la intersección (HMD, flujos vehiculares, distribución vehicular, características vehiculares, velocidades medias y geometría) de manera cuantitativa por medio de estados de tránsito, para crear el modelo de simulación (modelo dinámico)
- Calibrar y validar el modelo dinámico a partir de criterios utilizados por la Administración Federal de Caminos (FHWA) y los Servicios Marítimos y de Carreteras de Nueva Gales del Sur (AUSTROADS).
- Identificar las zonas y puntos de conflicto, y sus causantes analizando los modelos estáticos y dinámicos. Para el desarrollo de las propuestas de solución.
- Análisis comparativo entre las propuestas y el estado actual de la intersección. Con el objetivo de seleccionar la propuesta definitiva.

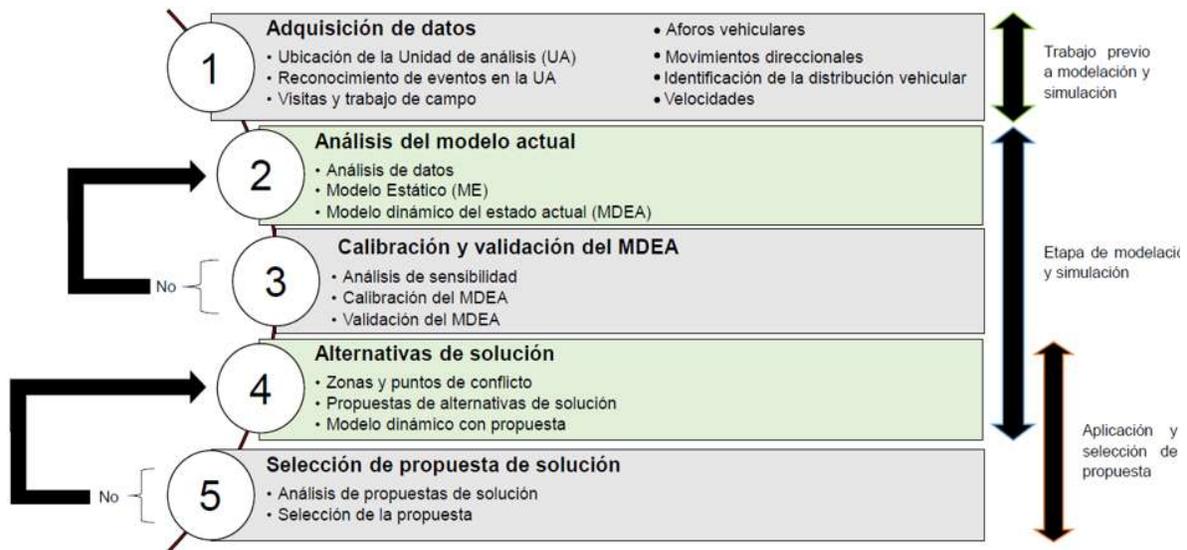


Figura 1.1 Metodología propuesta

1.4 Contenido del documento

El documento está organizado de la siguiente manera. En el capítulo 2 se exponen los conceptos básicos de la teoría del flujo vehicular, y de la ingeniería de tránsito.

En el capítulo 3 se muestra un antecedente de la bibliografía relacionada con la simulación en el control del tránsito vehicular y el análisis de intersecciones.

En el capítulo 4 se expone a detalle el desarrollo de la metodología.

En el capítulo 5 se presentan los resultados obtenidos mediante la aplicación de la metodología en un caso de estudio. Asimismo, se muestra la selección de la propuesta de ordenamiento vial.

En el capítulo 6 se presentan las conclusiones referentes al desarrollo del presente trabajo de investigación, y los trabajos a futuro del mismo.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1 Teoría del flujo vehicular

El tránsito es la circulación de personas, algunas de ellas en vehículos (tránsito vehicular), por el espacio público. Cualquier análisis de los problemas del tránsito urbano, está relacionado con las bases conceptuales del fenómeno. A estas bases conceptuales Fernández (Fernández, 2008) las define como teoría del flujo vehicular. Fernández menciona que, una vez entendidos los elementos de la teoría del tránsito vehicular los podemos aplicar a lo que se denomina ingeniería de tránsito, que es la aplicación de técnicas de la ingeniería para aminorar los impactos sociales, urbanos y ambientales derivados del tránsito (Fernández, 2008). Aunado a esto, el análisis del flujo vehicular se puede realizar mediante dos enfoques: el microscópico y macroscópico.

2.1.1 Modelo microscópico

El flujo del tránsito (FT) a nivel microscópico, asume que el comportamiento individual de un vehículo está en función de las condiciones del tránsito del entorno. El FT microscópico consta de ciertos aspectos dinámicos y están determinados por la interacción entre los conductores y la conducta individual de los conductores. El desarrollo de un modelo de FT microscópico resulta muy elaborado y su nivel de complejidad es muy alta. Esto se debe a que cada vehículo es modelado con características y comportamientos individuales, tal como ocurre en la vida real. El estudio del flujo del tránsito vehicular a este nivel se realiza considerando lo que sucede a cada paso de tiempo con cada uno de los vehículos dentro del sistema (como se citó en Silos, 2012)

Las variables que se consideran en un FT microscópico para un vehículo son:

- longitud, denotada por l_i ;
- posición longitudinal, denotada por x_i
- velocidad, denotada por $v_i = \frac{dx_i}{dt}$ (2.1)

- aceleración, denotada por $a_i = \frac{dv_i}{dt} = \frac{d^2x_i}{dt^2}$ (2.2)

En la figura 2.1 se muestran las características individuales del vehículo: la posición (x_i) que estará definida a partir de la defensa trasera del vehículo y la longitud (l_i) que será la distancia entre x_i y la defensa frontal del vehículo.

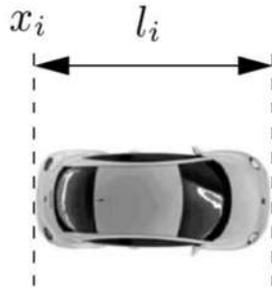


Figura 2.1 Características individuales del vehículo

Para el análisis del FT, mediante el modelo microscópico, el caso base se representa por dos vehículos que circulan de manera consecutiva sobre la misma vía. Se dice que el vehículo denotado con la letra (i) es el seguidor y que el vehículo denotado con ($i+1$) es el líder (figura 2.2).

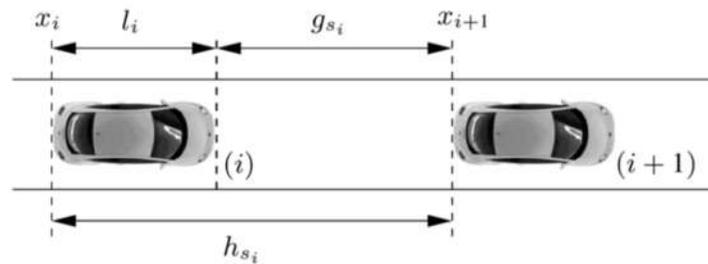


Figura 2.2 Caso base del análisis macroscópico del FT.

La figura 2.2 representa el dominio espacial en donde el vehículo i conserva cierta distancia, desde su defensa delantera a la posición del vehículo líder, llamada space gap (g_{si}) también conocida como brecha. A la distancia existente entre la posición x_i y la posición x_{i+1} se le denomina space headway (h_{si}).

En un diagrama de tiempo-espacio puede tenerse una mejor visualización de la posición de los vehículos con respecto al tiempo, en la figura 2.3 se puede ver de manera gráfica.

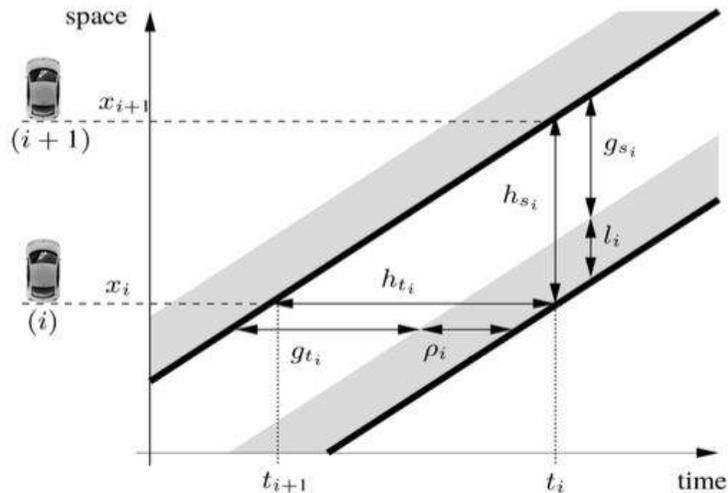


Figura 2.3. Diagrama de Tiempo-espacio

La representación de este modelo microscópico se aplica para vialidades de un solo carril por sentido de circulación, manteniendo a los vehículos dentro de una cola manteniendo un orden FIFO (first in, first out). Cumpliendo lo anterior el modelo puede representarse fácilmente a múltiples carriles.

2.1.2 Modelo macroscópico

En estos modelos se analizan conjuntos de vehículos o una porción del tránsito, a diferencia del modelo microscópico en donde se analiza vehículo a vehículo. En los modelos macroscópicos generalmente no se toman en cuenta las características específicas de los vehículos, y por su comportamiento estadístico, las variables principales que intervienen, como el tamaño de los vehículos y la distancia de separación entre ellos, se promedian. (Pérez, Bautista, Salazar, & Macias, 2014)

Para analizar el FT en un modelo macroscópico se consideran tres regiones de estudio:

- Región temporal (R_t), correspondiente a las mediciones en una sola localidad espacial (dx), durante cierto periodo de tiempo, ejemplo: muestreo mediante

un aforador.

- Región espacial (R_s), correspondiente a las mediciones en un instante de tiempo (dt), sobre una sección de la vialidad con una longitud K , ejemplo una fotografía aérea.
- Región general (R_t, s), correspondiente a la medición general tiempo-espacio, la cual puede tener cualquier forma geométrica en el plano (x, t) .

Las regiones antes mencionadas, se representan de manera más visual en la figura 2.4.

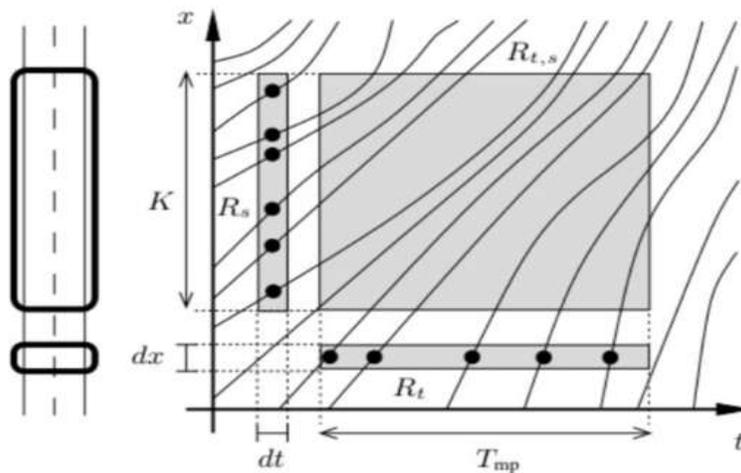


Figura 2.4. Diagrama de regiones.

Estas mediciones se deben de realizar cuidadosamente ya que si se analizan regiones muy grandes pueden perderse detalles e ignorar algunas propiedades del flujo. Por otro lado una región demasiado pequeña podría discretizar el análisis, de tal manera que puede asemejarse a un modelo microscópico.

2.1.3 Unidad de vehículos de pasajeros

Algunos vehículos generan mayor impacto en el congestionamiento vial que otros, por lo cual en la ingeniería de tránsito se le asignó a cada vehículo un valor de equivalencia en una unidad de vehículos de pasajeros denominada PCU, una equivalencia que corresponde a su influencia perturbadora sobre el FT. (Bull, 2003)

Los vehículos estarán referenciados a la unidad base que es el automóvil¹, por lo que vehículos como el camión y autobús adoptan los siguientes valores:

- Un automóvil tiene una equivalencia de 1
- Un camión mediano tiene una equivalencia de 2
- Un autobús tiene una equivalencia de 3

2.1.4 Conceptos fundamentales del flujo vehicular

A continuación se presenta una descripción algunas de las características fundamentales del flujo vehicular, representadas en sus tres variables principales (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007):

- Densidad
- Flujo
- Velocidad

2.1.4.1 Densidad.

La densidad representa la cantidad de vehículos que transitan en una sección de una vialidad, normalmente se expresa como vehículos por kilómetro. La densidad permite conocer la cantidad de vehículos que transitan en una sección, sin importar su composición y características individuales.

Para calcular la densidad vehicular (k), en una vialidad de un solo sentido, se usa la siguiente fórmula:

$$k = \frac{N}{K}; \quad (2.3)$$

Donde N denota al número de vehículos y K es la longitud de la sección de la vialidad.

En el caso de considerar más de un carril se deberán sumar las densidades parciales de cada uno de los carriles L , con N_l como el número de vehículos en un carril l de la siguiente manera:

¹ Un automóvil particular se considera como un vehículo compacto tipo sedán.

$$k = \sum_{l=1}^L kl = \frac{1}{K} \sum_{l=1}^L Nl \quad (2.4)$$

De manera general se puede decir que la densidad es el tiempo total que se emplea para que los vehículos recorran la sección de estudio, dividido por el área de la sección. Esto permite calcular la densidad en un punto en específico usando la región temporal (R_t) con la siguiente fórmula:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{T_{mp} dx} = \frac{1}{T_{mp} dx} \sum_{i=1}^N \frac{dx}{V_i} = \frac{1}{T_{mp}} \sum_{i=1}^N \frac{1}{V_i}; \quad (2.5)$$

Donde T_i denota el tiempo de recorrido, V_i la velocidad del vehículo en cierto periodo de tiempo T_{mp} .

2.1.4.2 Flujo

Se define flujo vehicular o volumen de tránsito, como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un periodo determinado (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 1994). Se expresa como:

$$Q = \frac{N}{T} \quad (2.6)$$

Donde:

Q = Vehículos que pasan por unidad de tiempo (vehículos/periodo)

N = Número total de vehículos que pasan (vehículos)

T = Periodo determinado (unidad de tiempo)

2.1.4.3 Velocidad

La velocidad la definimos como la relación entre la distancia recorrida por un objeto, y el tiempo que este demora en completarlo (Cal et al., 1994), denotada en kilómetros/ hora para los temas en cuestión.

2.1.4.3.1 Velocidad media de recorrido

Se define como la longitud del segmento de carretera que se considera, dividida por el tiempo medio de recorrido de todos los vehículos que recorre el segmento durante un periodo determinado. (Box & Oppenlander, 1985)

2.1.4.3.2 Velocidad media temporal

Es la media aritmética de las velocidades de punto de todos los vehículos, o parte de ellos, que pasan por un punto específico de una carretera o calle durante un intervalo de tiempo seleccionado. (Cal et al., 1994)

2.1.5 Demora media por detención

Es la demora por detención total de todos los vehículos de un acceso o grupo de carriles durante un tiempo dado dividida entre el volumen total que entra en la intersección por el acceso o grupo de carriles durante el mismo tiempo, expresada en segundos por vehículos. (Box & Oppenlander, 1985)

2.1.6 Rapidez o celeridad media

La rapidez o celeridad media no se debe confundir con el término de velocidad, ya que la rapidez es la magnitud escalar o la norma del vector que expresa una velocidad. La rapidez media de un flujo es la relación entre la distancia que recorre, en una sección de medición, y el tiempo que tarda en recorrerla por completo, expresada regularmente por kilómetros por hora.

Considerando la región espacial R_s y temporal R_t , la rapidez media se puede calcular mediante las siguientes expresiones:

$$\bar{V}_S = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{\sum_{i=1}^N T_i} \begin{cases} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i & (\text{para la region espacial } R_s) \\ \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{V_i}} & (\text{para la region temporal } R_t) \end{cases} \quad (2.7)$$

Con X_i denotando a la distancia y T_i denotando el tiempo, transitado por el vehículo i y N el número de vehículos presentes durante la medición.

2.2 Indicadores del rendimiento

Los indicadores del rendimiento son aquellos parámetros que permiten determinar la calidad de las operaciones del tránsito. Tales indicadores son los siguientes:

- Factor de hora pico
- La fiabilidad de los tiempos de viaje
- Los niveles de servicio
- Las medidas de la eficiencia de la vialidad

2.2.1 Factor de hora pico

El factor de la hora pico (FHP) es usado para convertir el volumen del tránsito horario en la tasa de flujo que represente los 15 minutos más concurridos de la hora pico (Tarko & Pérez, 2005), esta se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$FHP = \frac{V}{4 \times V_{15}} \quad (2.8)$$

Siendo V el flujo horario y V_{15} el flujo mayor de los cuatro periodos de 15 minutos de la hora pico, de acuerdo al HCM (Transportation Research Board, 2000), este factor para áreas urbanas generalmente se encuentra entre rangos de 0.80 y 0.98. Valores bajos representan grandes variaciones del flujo dentro de esa hora, mientras que valores altos implican variaciones bajas. FHP por encima de 0.95 comúnmente indican altos flujos vehiculares.

2.2.2 Niveles de servicio.

Los niveles de servicio son una clasificación con base en la funcionalidad de las vías, estando como variable principal la velocidad del flujo en cuestión, partiendo de tener un flujo libre y pasando por el rango de flujo estable, estable a alta velocidad, inestable, funcionamiento cerca o en el límite de su capacidad, hasta el rango de flujo forzado. Estos se clasifican en A, B, C, D, E, y F, respectivamente (Transportation Research Board, 2000), los cuales, cabe mencionar, están un poco en desuso ya que su aproximación a la realidad es poca, esto por el arribo variable que presenta una vía.

2.2.3 Condiciones viales o de la plataforma

Estas hacen referencia a las características geométricas de la calle o carretera, lo cual incluye: tipo de infraestructura y las características urbanísticas de su entorno, número de carriles (en cada sentido), las anchuras del carril y banquetas, el trazado en planta, etc. De acuerdo a (Box & Oppenlander, 1985)

2.2.4 Condiciones de circulación

Las condiciones de circulación hacen referencia a las características de la circulación que utiliza la instalación. (Box & Oppenlander, 1985)

2.2.5 Condiciones de control

Estas son aquellas que hacen referencia a los tipos y diseño específico de los sistemas de control y de la normativa existente en una vía. (Box & Oppenlander, 1985)

2.3 Intersecciones.

Una Intersección se define como el punto donde dos o más vías convergen, siendo estas las mismas vías que conforman la intersección. Las intersecciones además de representar un punto en la mancha urbana para mitigar el tránsito y dar la opción de incorporarse a nuevas direcciones, representan un punto crítico en el sistema de tránsito, siendo unos de los principales generadores de colas y congestionamiento en estas zonas. Además de esto, representan los puntos donde se originan la mayoría de los accidentes de tránsito.

Al analizar una intersección, esta puede ser señalizada (con semáforos), o no señalizada (prioridad de paso, señalamiento horizontal y vertical).

2.4 Congestionamiento

El congestionamiento es definido por Kerner (Kerner, 2009) como una de las fases en las que se puede clasificar el tránsito vehicular, en la que la densidad es muy alta y la velocidad tiende a ser cero. Por otra parte el congestionamiento está ligado

directamente a la velocidad, e influye en el las demoras y el entorno en sí, afectando directamente lo social y privado, tal como se muestra en la figura 2.5.

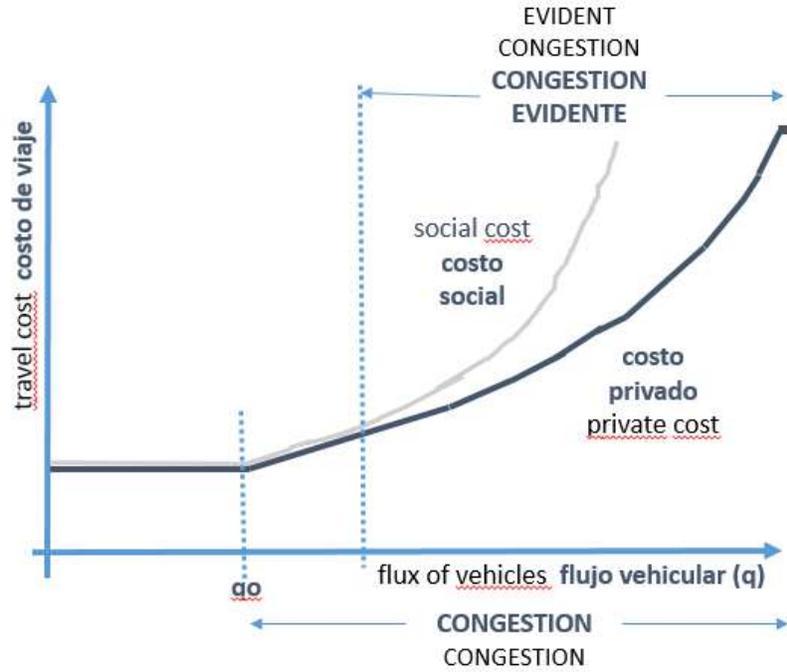


Figura 2.5 Costos privados y sociales con y sin congestionamiento. Fuente: Oetúzar, Juan de Dios. (2002). Is it posible to reduce vehicular congestion? ARQ (Santiago), 7-9.

Capítulo 3. Estado del arte

Para realizar una propuesta de solución para la gestión del tránsito vehicular es necesario conocer herramientas de análisis y simulación. En este capítulo se presentan algunas propuestas que han atendido a este problema, basados en herramientas de simulación y análisis de cuerpos de datos estadísticos.

3.1 La simulación en el control del tránsito vehicular

En el estudio de la ingeniería de tránsito, específicamente en el tema de problemas de tránsito vehicular, se han realizado diversas investigaciones en las cuales se ha recurrido al uso de softwares de simulación. Estos han facilitado el análisis y el planteamiento de soluciones para estos problemas.

La simulación del tránsito describe las propiedades que impactan directamente en el flujo vehicular. Actualmente de acuerdo al nivel de detalle que se requiera en el modelo del tránsito, se puede analizar mediante; micro-modelación, meso-modelación, y macro-simulación. De ellas, la microsimulación es la que otorga un nivel de detalle superior para describir el sistema y su relación interna.

(Yang, Lu, Jia, Qin, & Dong, 2012)

3.1.1 Optimized simulation on the intersection traffic control and organization based on combined application of simulation software.

En el trabajo de Yang et al. (2012), se analizó un problema de intersección en el cual se vio mejorada la problemática del tránsito, a través de modificaciones en la geometría y optimización de la sincronización de los señalamientos.

Para este trabajo se implementó la combinación de dos herramientas computacionales (VISSIM y Synchro) para mayor practicidad y simplicidad en el análisis del problema. Esta combinación fue conveniente ya que evadió los problemas de los cálculos manuales. Esta solución permitió mejorar aspectos tales como: Longitud promedio de cola, ocupación en la intersección, demora promedio

por vehículo. En cuanto a la ocupación, esta se redujo del 65% al 51% y el tiempo de demora promedio por vehículo se disminuyó de 54.2 seg. a 38.9 seg.

La manera en que realizaron este trabajo fue con base en los siguientes cuatro pasos:

1. Recolección de información
2. Análisis del problema
3. Mejoramiento del programa
4. Evaluación del programa

Después de los pasos 1 y 2, comenzaron a utilizar los programas de simulación VISSIM y SINCHRO, para la optimización de la geometría y gestión del orden del tránsito, y para la sincronización de los señalamientos respectivamente. Finalmente en el cuarto paso combinaron las herramientas para la evaluación de la estrategia y comparación de las mejoras en cada uno de los puntos mejorados.

3.1.2 Aplicación de simulación en el control de tráfico, una propuesta para ciudad del Este.

En el caso de este trabajo (Franco, 2008) , se presenta un control semafórico a manera de propuesta de solución para una intersección. Para esta investigación se utilizó la herramienta AIMSUN NG, para el modelado, y simulación del tránsito urbano.

En la investigación se realizaron tres simulaciones de las que se presentan sus procedimientos y resultados, cada una de estas simulaciones se diferencia de la otra por la cantidad de vehículos utilizados en ellas, la simulación 1 presenta el mayor número de vehículos. La simulación 2 con un 40% menos que la simulación 1, y la simulación 3 con el 20% de los vehículos utilizados en la simulación 1.

En el trabajo en cuestión se obtuvieron resultados favorables en cuanto a tiempos de espera, densidad, velocidad, y flujo vehicular. Además Franco muestra los beneficios que aporta el contar con un sistema de control centralizado del tránsito, el cual es capaz de adaptarse a las condiciones del tránsito variante.

Algunas estrategias expuestas por Franco para la mejora del tránsito vehicular, incluyen fomentar el mínimo uso del automóvil en lugares y horarios que presentan congestionamientos, acompañado de una reestructuración del sistema del transporte público. Otras medidas que se deben tomar en cuenta y de manera prioritaria según Franco, son las siguientes:

- Rectificación de intersecciones
- Mejoramiento de la señalización
- Racionalización del estacionamiento en la vía pública
- Escalonamiento de horarios
- Coordinación de semáforos
- Reversibilidad de sentido del tránsito en horas pico de algunas avenidas

La parte de la modelación y simulación, menciona algunos aspectos a considerar para modelar y simular un escenario, además de cómo seleccionar los periodos recomendados para la simulación.

Franco modeló y simuló, las características geométricas, los flujos y las tasas de ocupación en cada hora pico, formas de uso (movimientos autorizados y que vías se usan), accidentes con lesionados y sin ellos, y el porcentaje de autobuses que se detienen y por cuánto tiempo. Logrando mejorar la densidad, velocidad, y tiempos de espera mediante la utilización de semáforos inteligentes. Con respecto a los tiempos de espera, la simulación 1 mejoró en un 11.78%, la simulación 2 12.35%, y la simulación 3 24.55%. En el caso de la densidad, se disminuyó en un 8.89% la simulación 1, 8.16% la simulación 2, y 16.54% la simulación 3. Para el flujo, las cantidades se mantienen prácticamente igual, salvo a la simulación 3 donde se aprecia un ligero aumento de este. Con respecto a las velocidades, la simulación 1 presenta un aumento del 16%, la simulación 2 aumenta 7.65%, sin embargo en la simulación 3 la velocidad disminuye en un 10%.

Para concluir Franco menciona que al implementar un sistema centralizado de control en donde los semáforos y sensores están conectados entre sí, es posible la mitigación del congestionamiento en ciertos escenarios urbanos.

3.1.3 Plataforma de simulación y visualización para el apoyo al análisis y toma de decisiones en proyectos de movilidad urbana.

En el trabajo de Romero (Romero, Hernández, Ibarra, & Ordóñez, 2009), en donde crean una plataforma de simulación y visualización para el apoyo al análisis y toma de decisiones en proyectos de movilidad urbana. Esta herramienta puede ser capaz de indicar anomalías en la infraestructura vial y en la conducta de los actores (vehículos privados, vehículos de servicio público, peatones, etc.), siendo esta una aplicación ideal para las ciudades de Latinoamérica. Esta herramienta, debido a sus características, puede llegar a resolver problemas de movilidad multimodal de carácter urbano mediante una simulación microscópica.

Esta propuesta se caracteriza por la capacidad de representación del estado de la infraestructura vial y el comportamiento propio de los diferentes actores, dado que en general las aplicaciones de simulación se desarrollan bajo ciertas conductas y reglas, tales como: normatividad de tránsito, conducta ideal de los vehículos, estado óptimo de la infraestructura vial, entre otros.

Permitiendo así al analista plasmar las características y aspectos propios de una ciudad, por ejemplo anomalías en la infraestructura (baches, carriles irregulares, etc.), y de comportamiento (vehículos que no cumplen la normatividad de tránsito y peatones que no acatan las recomendaciones de seguridad), con el fin de tener mejores datos de entrada para los procesos de toma de decisiones.

Para la implementación de la plataforma, el modelo representa un sistema dinámico discreto, lo cual nos dice que el objetivo es reproducir comportamientos macroscópicos basados en interacciones microscópicas. El modelo se basa en el Sistema de Visualización de Grafos Anatómicos y Temáticos (SVGAT), en la cual se define una estructura de datos con la capacidad de mostrar información de diferente naturaleza a diferente escala y en un mismo ambiente visual. Basado en una jerarquía de componentes, permitiendo observar una misma información a diferentes niveles de detalles, logrando interactuar desde distintos puntos de vistas, como movilidad, seguridad, calidad del aire, en el mismo modelo.

La plataforma se integra de 2 aplicaciones:

- Aplicación de simulación
- Aplicación de visualización

El funcionamiento de la plataforma se probó simulando una intersección, considerando los siguientes puntos: anomalías en la infraestructura (baches), comportamientos para vehículos (afán-no respetuoso, afán-respetuosos, y muy prudente), y comportamiento en peatones (no cruzar por la cebra y cruzar solo por la cebra).

Cabe mencionar que los datos usados no son datos reales, sin embargo el escenario simulado fue considerado creíble por los especialistas. Los cuales consideran en esta primera instancia a la plataforma como una buena herramienta para la representación y simulación microscópica de movilidad multimodal en espacios urbanos. Esto se debe a que permite representar las anomalías en la infraestructura y los comportamientos tanto de vehículos privados, servicios públicos, peatones, etc. Pudiendo así simular características y conductas reales de ciudades que se caracterizan por no cumplir con las supuestas reglas y condiciones que suponen y dan por hechas otras herramientas.

3.1.4 Modeling and Simulation of Intersection Signal Control for Transit Priority.

En el trabajo de Zhiyuan et. al. (Zhiyuan, Huapu, & Jing, 2013), se presentan 3 algoritmos para el control de los semáforos en intersecciones, los cuales están diseñados con base en el método de prioridad del tránsito. Siendo el Modelo de prioridad de tránsito, la base para la gestión y desarrollo del transporte público urbano en distintos países. Siendo el sistema de prioridad del tránsito parte principal del sistema del control para semáforos en intersecciones, especialmente en el *Bus Rapid Transit* (BRT), en Beijing, China. Locación que es estudiada en este trabajo, especialmente la intersección a nivel en donde convergen el BRT y el tránsito social urbano, y a su vez el método con el cual se diseñó el control prioritario del tránsito.

Los 3 algoritmos diseñados por Sun Zhiyuan et. al. Son los siguientes:

1. *Induction Control*
2. *Induction Control for Transit*
3. *Semi Induction Control*

Los cuales están diseñados en función del control prioritario y características de la intersección, tales como:

- El carril del BRT y el carril del tránsito social está separado solamente por una especie de valla metálica, además de estar muy cerca del carril de vuelta izquierda del tránsito social.
- El flujo con más volumen de vehículos es el de sur a norte, siendo las entradas norte y sur de la intersección por donde el carril del BRT está ubicado.
- Y que la intersección es controlada por un esquema de tres fases.

El algoritmo *Induction Control*, se rige por los siguientes pasos;

1. Cálculo de parámetros básicos (*Minimum Green Interval, Unit Extension Time, Maximum Green Time, GAP Time*).
2. Detección de la duración de la luz verde en tiempo real (T_{green}).
3. Uso de los parámetros T_{green} , T_{min} y T_{max} . Donde si $T_{green} < T_{min}$, el semáforo continuara en verde, mientras que si $T_{min} \leq T_{green} < T_{max}$, se analizara según los valores de Occupancy_car (OC), el cual dice que si OC =1 continua en luz verde, y la fase del semáforo cambiara según sea el valor de OC. O bien si, $T_{green} = T_{max}$, se cambiara la fase basado en el valor de OC de las otras fases.
4. Regresa al paso 2.

La metodología de los otros dos algoritmos se presentan y explican en la sección 3 del documento mencionado (Zhiyuan et al., 2013). Donde el primer algoritmo considera la situación de las sub-vías (sentido este a oeste de la intersección), pero ignora la prioridad del tránsito. El segundo algoritmo considera la prioridad del

tránsito pero no la situación de las sub-vías, la cual se supone en congestión, y el tercer algoritmo considera tanto la prioridad del tránsito como la de las sub-vías.

La simulación se realizó con la herramienta Vissim, simulando el caso original (sin añadir algún algoritmo) de la intersección, y la intersección con cada algoritmo. Una vez obtenido los resultados de las 4 simulaciones, se compararon entre sí, arrojando lo siguiente resultados: El caso original es el peor en todas las mediciones con respecto a los tres algoritmos, y el algoritmo *Semi Induction Control* es el mejor para la optimización del control de las señales de tránsito, con base en los resultados e investigaciones realizadas. En donde considera la prioridad del tránsito y los demás tránsitos simultáneamente. Presentando tiempos menores en las demoras en la intersección para el tránsito social y del BRT.

3.2 Análisis de Intersecciones.

Las intersecciones en áreas urbanas son uno de los principales generadores de congestionamiento vehicular y accidentes, debido al incremento desmesurado del parque vehicular (Muñoz, 2014). Sin embargo, también pueden representar la solución a los distintos problemas que presenta el tránsito vehicular.

A continuación se exponen una serie de trabajos relacionados al análisis de intersecciones.

3.2.1 Study on coordination control with bandwidth optimization for signalized intersections in arterial systems.

Un aspecto fundamental para las intersecciones reguladas por semáforos, es la optimización del tiempo de estos, ya que de presentarse problemas de congestionamiento, formación de colas, o bien la afectación de su operatividad. Estas pueden ser mejoradas mediante la optimización de sus tiempos, tal como se habla en el trabajo realizado por Ma Nan (Nan, Chun-fu, & Zhao, 2010). Ma Nan et. al. proponen un modelo de optimización de las secuencias de las fases para el control de la coordinación (coordination control), el cual está basado en fase NEMA, diseñada por el National Electrical Manufacturers Association. Además del

desarrollo de un software para maximizar el bandwidth, como también la reformulación de un modelo su optimización.

Ma Nan et. al. mencionan que el método de control de la coordinación es de los métodos más efectivos, ya que sus objetivos son que los vehículos circulen sin problemas, que encuentren menos luces rojas para reducir los tiempos de recorrido, y también que disminuyan el número de paradas y demoras. Debido a que comúnmente en las intersecciones señalizadas, el esquema de secuencia para las fases de los semáforos está basada en una estructura, single ring (figura 3.1). La cual puede incluir dos fases, tres fases, y cuatro fases. Esto obliga que al menos dos de los sentidos de circulación compartan una misma fase del semáforo, lo cual disminuye el uso eficiente de la luz verde en las fases. Como consecuencia Ma Nan et. al. proponen el modelo basado en NEMA, con una estructura dual-ring phase (figura 3.1). La estructura dual-ring phase, está constituida por ocho fases en dos anillos, y a su vez en dos estaciones. Mostrando que no hay efectos negativos en las demás fases del sistema, cuando cualquiera de las dos fases en el mismo anillo y estación se intercambian o alteran.

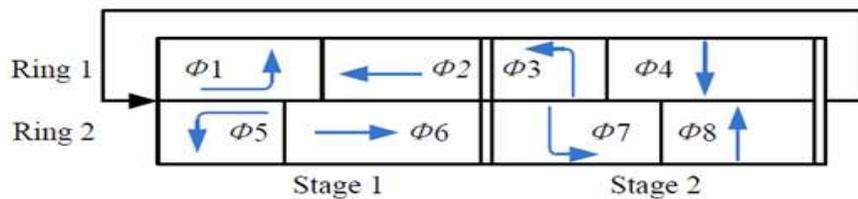


Illustration of dual-ring NEMA phase

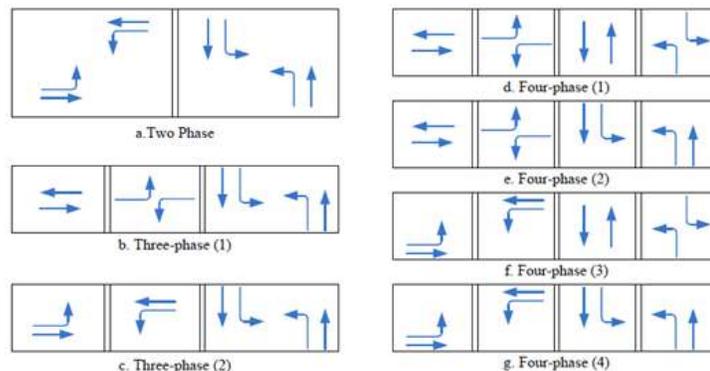


Illustration of Single-ring phase sequence schema

Figura 3.1 Esquema de la secuencia de la fase Single-ring y Esquema del NEMA fase dual-ring .

Fuente: Nan et al. (2010) Study on coordination control with bandwidth optimization for signalized intersections in arterial systems

Por lo cual al comparar ambos métodos, el modelo NEMA ofrece mayores ventajas en el manejo de las secuencias de las fases. Pudiendo mejorar el bandwidth a través del ajuste de las secuencias de las fases con respecto a intersecciones adyacentes. Ma Nan et. al. analizaron un caso en específico en la ciudad de Beijing. Logrando notorias mejoras al usar NEMA, sin embargo, para verificar la valides del esquema de optimización, los autores en cuestión, lo simularon con el software VISSIM. Llevando a cabo análisis comparativos para distintos factores, tales como: demoras, paradas y tiempos de recorrido antes y después del esquema de optimización, bajo condiciones de 15 grupos de flujo vehicular entre intervalos de 100 a 1500 Veh/h.

Los resultados mostraron que el rendimiento en la red había mejorado notoriamente con la implementación del control de coordinación (NEMA phase y bandwidth optimization model). Disminuyendo las demoras en 2%~29%, las paradas en 14%~28%, y los tiempos de recorrido en 1%~9%, bajo los 15 escenarios de grupos de flujos vehiculares.

3.2.2 Optimization Method of the Cycle and Critical Phase on Signal Control Intersection.

En el artículo elaborado por Jun-bo et. al. (Jun-bo, Jie, & Hui-ling, 2010), se desarrolla un método para la optimización de los semáforos. Brindando un mejor nivel de servicio para las intersecciones y haciendo los tiempos de los semáforos más efectivos.

El método usado en este trabajo es el método bi-level optimization, aplicado para la solución en los semáforos que presentan fases superpuestas. De acuerdo a (Jun-bo et. al., 2010), cuando se presenta el fenómeno de la fase superpuesta, se deberá recurrir a algún método tal como el Webster Method. Esto para elegir la fase crítica, el cual es un método cíclico que considera diferentes periodos de tiempo perdido de las fases, como se muestra en la figura 3.2.

En el método de esta investigación (Jun-bo et. al., 2010) el método Webster es usado para calcular el tiempo de la ruta del ciclo, siendo la fase correspondiente la fase crítica.

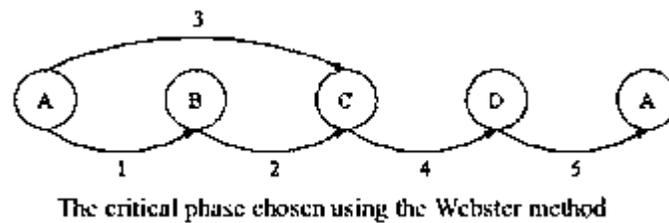


Figura 3.2 Ilustración de la fase crítica usada en el método Webster.
Fuente: Jun-Bo et al. (2010) Optimization Method of the Cycle and Critical Phase on Signal Control Intersection

Siendo la fase crítica la más importante para la capacidad de una intersección, y el diseño del control de semáforos entre fases. Al cumplir las capacidades de la fase crítica, entonces las demás tendrán los tiempos apropiados.

Para optimizar la fase crítica, Jun-bo et. al. calcularon el tiempo efectivo de la luz verde, la cual podrá ser calculada por distintas fórmulas las cuales se explican en la sección IV del artículo mencionado (Jun-bo et al., 2010). Según sea el escenario que se presente, ya que se puede presentar el caso de ninguna o múltiples fases superpuestas.

Por otro lado, los métodos usados para la optimización los tiempos de los ciclos en semáforos fueron los siguientes;

- TRRL;
- ARRB.

El método TRRL supone que el vehículo llega a la intersección con un patrón de comportamiento regulado, deduciendo su modelo de demora, obteniendo así el tiempo del ciclo, como se muestra en la fórmula siguiente.

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - Y} \quad (3.1)$$

Donde C_0 es el tiempo del ciclo, L el tiempo total perdido (estos anteriores en segundos), y Y la suma de la relación del flujo.

El método ARRB estudia el tiempo del ciclo, considerando el coeficiente de compensación de parada del vehículo para la evaluación del control de una intersección. Además considera la demora y las condiciones de parada del vehículo, y obtiene el tiempo del ciclo con la siguiente fórmula.

$$C_0 = \frac{(1.4 + K)L + 6}{1 - Y} \quad (3.2)$$

Una vez seleccionado el caso de estudio, Jun-bo et. al. simularon las mejoras propuestas según los cálculos obtenidos con la metodología anteriormente mencionada y la herramienta de simulación VICs. Para obtener el esquema de la evaluación del control de los semáforos, incluyendo longitudes promedio de colas (pcu), demoras(s), capacidad (pcu/hr), etc. Reduciendo los valores de los siguientes puntos: 21.37% en la demora promedio de la intersección, 10 pcu/c en la longitud promedio de colas, incremento del 0.93% en la capacidad de la intersección, y la disminución de la saturación de 1.38 a 0.93. Comprobando que el método propuesto puede mejorar los niveles de servicio de la intersección, y su desempeño.

3.2.3 Signal Control Optimization for Urban Traffic against Incident-Induced Congestion.

La presencia de un accidente en la red urbana representa problemas críticos de grandes demoras de tiempo, congestionamiento, formación de colas, etc. Además de afectar considerablemente el flujo del tránsito en las zonas adyacentes, o incluso en la toda la red si este no es atendido y despejado de manera oportuna.

Tal como se explica en el artículo que lleva por nombre *Signal Control Optimization for Urban Traffic against Incident-Induced Congestion* (Lu, Xu, Hou, & Zhang, 2011), donde pretenden darle solución a las demoras ocasionadas por estos eventos extraordinarios que afectan la red.

Es importante mencionar que la mayoría de los estudios que se realizan para el manejo de emergencias y sus consecuencias, se enfocan en autopistas. Para la formulación del problema, Lu et. al. definieron el alcance del sistema, el cual analiza dos intersecciones y todos sus ramales. Permitiendo así localizar el lugar del incidente y su impacto dentro de estas intersecciones. Como consecuencia Lu et. al. desarrollaron un plan para la señalización controlada, a través de un esquema de control de 4 fases, utilizando la herramienta de simulación VISSIM. Con respecto a los datos de entrada y salida, incluía lo siguiente:

- Topología de la red de tránsito, la cual nos provee de información respecto a la capacidad del tránsito;
- Información relacionada con el incidente (tiempo de principio y fin del incidente, carriles obstruidos, y el lugar del incidente);
- Plan original de control;
- Datos de los sensores, incluyendo los datos históricos y de tiempo real de volumen y ocupación.

Con los puntos anteriores los administradores de tránsito deberán ser capaces de obtener un nuevo plan de control para la señalización de la intersección, el cual contendrá los tiempos de duración del esquema de cuatro fases.

Para la simplificación del modelo se asumieron las siguientes características:

- El tiempo de comienzo a fin del incidente es más largo que el tiempo que dura el ciclo de la señalización controlada;
- Los incidentes son detectados de manera inmediata de inicio a fin.
- La señalización controlada funciona de manera óptima para las condiciones libres de incidentes.

En lo que respecta a la optimización del modelo, el principio utilizado para optimizar los planes de control de la señalización en casos de incidentes, es expresado como la disminución al mínimo de las demoras totales que se extienden al rededor del incidente. Para resolver el tema de la optimización, se utilizó un software capas de

modelar y resolver problemas de optimización lineales y no lineales, llamado General Algebraic Modeling System.

Como conclusión, después de simular diferentes escenarios específicos para el modelo, se verifica que el método propuesto, disminuye la demora total de los vehículos sobretodo bajo condiciones de volúmenes altos de tránsito en un 39.5%.

3.2.4 Traffic Congestion Analysis Visualisation Tool.

Existen distintas maneras para monitorear y analizar el congestionamiento vehicular, por ejemplo mediante sistemas de vigilancia y monitoreo con cámaras de video, lo cual nos permitiría realizar una gestión del tránsito en tiempo real. Otra manera es en tiempo no real, donde la congestión vehicular se extrae de datos históricos de los patrones de los congestionamientos vehiculares. (Petrovska & Stevanovic, 2015)

En este trabajo (Petrovska & Stevanovic, 2015) se presenta una herramienta (Traffic Congestion Analysis Visualization Tool) enfocada al análisis del congestionamiento en áreas urbanas, específicamente a las intersecciones. Basándose en una aplicación de Google Maps (Google Maps traffic layer), que utiliza datos del congestionamiento vehicular en tiempo real, para su calculación. Ayudando a lograr una herramienta automatizada, y capaz de proporcionar una visualización interactiva para el análisis del congestionamiento en tiempo real.

El objetivo principal es la disminución del congestionamiento en vías para reducir sus números de accidentes. Esta herramienta puede ser muy útil además para la proporción de datos en la ayuda de la gestión del tránsito, por lo que se enfoca a los gestores, operadores y analistas del tránsito, y usuarios. Una gran ventaja que tiene esta herramienta sobre las demás, es que puede cuantificar datos de congestionamiento vehicular en regiones con información limitada, ya que las demás están basadas en la recopilación de información mediante sensores, o estaciones fijas y dinámicas de monitoreo.

La aplicación está construida a través de una estructura llamada two-tier, la cual se conforma del motor de visualización, y el servidor de Google. Creando un sistema de visualización mediante la web, donde los datos de congestiónamiento vehicular se obtuvieron de GMTL.

La aplicación fue desarrollada con Java y operada con Java SE Runtime Environment (JRE). Probándolo en computadoras con sistema operativo Windows (versión 7 y 8, de 64 bits). Al ejecutar la aplicación, se muestra una interface compuesta de tres ventanas; la primera donde se localiza la zona de interés, la segunda donde se muestra el mapa de la zona, y por último donde se observa el tránsito vehicular. Misma en la que se dibuja la vía de interés de manera resaltada al resto en forma de poli-línea, donde con la ayuda de un algoritmo proporciona una tabla que muestra la información procesada en tiempo real.

La técnica para calcular el nivel de congestiónamiento es mediante procesamiento de imágenes, se usa un histograma de colores, siendo los colores niveles de congestiónamiento. Brindando una visualización del congestiónamiento de manera cuantitativa, capaz de permitir al usuario, detectar, medir, y evadir el congestiónamiento vehicular. Dejando la duda de cómo solucionar el caso de las regiones donde no hay suficientes usuarios con GPS de los cuales Google obtiene la información del tránsito para su análisis.

Capítulo 4. Metodología de análisis para intersecciones urbanas a nivel no señalizadas

Esta metodología se propuso con base en las metodologías expuestas en los documentos Traffic analysis tollbox volumen III (FHWA, 2004) y The use and application of microsimulation traffic models (Austroads, 2006), asimismo, en la metodología propuesta se presenta el criterio de porcentaje de similitud (% de similitud), este criterio complementa la etapa de calibración y validación del modelo de simulación.

La metodología se compone de las siguientes etapas: Adquisición de datos, análisis del modelo actual, calibración y validación del modelo dinámico del estado actual, alternativas de solución, y selección de propuestas de solución.

4.1 Adquisición de datos

Este punto involucra la recolección de los datos geométrico, viales, de circulación y de control para realizar el modelo, simulación y análisis de la intersección. Los procedimientos necesarios se describen a continuación.

4.1.1 Ubicación de la unidad de análisis

Se recomienda realizar la ubicación y reconocimiento de la unidad de análisis (UA) como paso inicial para la recolección de datos. Con la finalidad de generar información representativa de la intersección.

La localización de la UA se podrá obtener a través de herramientas digitales (OpenstreetMap, Google earth, etc.) o mapas físicos de la zona (ver figura 4.1). Mientras que el reconocimiento, se realizará por medio de visitas de campo. Dicho reconocimiento servirá para identificar los elementos y eventos que conforman la UA y a su vez para plasmar las estrategias de trabajo a realizar.



Figura 4.1 Ejemplo de ubicación de la UA utilizando Google Earth.

4.1.2 Reconocimiento de eventos en la unidad de análisis

Una vez ubicada la UA, se deberá realizar una caracterización de los eventos ordinarios y extraordinarios que suceden en ella. Estos eventos son de suma importancia ya que forman parte de las condiciones únicas y específicas de la infraestructura (Robles, Ñañez, & Quijano, 2009).

4.1.3 Visitas y trabajo de campo

Previo a realizar los trabajos de campo, se recomienda haber efectuado los puntos descritos en los apartados 4.1.1 y 4.1.2, esto para realizar los trabajos de campo con una mayor seguridad y precisión.

Las vistas y trabajo de campo, servirán para recabar datos actuales y precisos de la intersección. Puede presentarse el caso en que la intersección ya cuente con información disponible. No obstante se recomienda realizar las visitas de campo necesarias para validar dicha información.

De no contar con información de la intersección se recomienda realizar las siguientes actividades para conformar los trabajos en campo.

4.1.3.1 Visita de reconocimiento

Con respecto a las visitas de reconocimiento se recomienda realizar las siguientes actividades:

- Identificación de las posiciones para realizar los aforos vehiculares.
- Identificar para el caso de aforadores automatizados, la posición de esta.
- Identificación de la presencia de transporte público.
- Identificación de la composición vehicular.
- Identificación de condiciones viales, circulación y control de la intersección.

Una vez identificado lo anterior se recomienda realizar los planes de acción necesarios para llevar a cabo los trabajos de campo de una manera más organizada. Estos se pueden plasmar en planos físicos o digitales en donde esté representado el trazo de la intersección.

4.1.3.2 Características geométricas

En cuanto a las características geométricas, se realizaran los siguientes trabajos:

- Definición de la geometría de la intersección
- Anchos de calzada
- Número de carriles
- Pendientes
- Ancho de carriles
- Dimensiones de banquetas
- Dimensiones de camellones

Para estos trabajos se recomienda apoyarse de planos de la intersección tamaño carta, en donde se cuente con el trazo de la misma. Planos en los que se irán plasmando las características geometría.

4.1.3.3 Levantamiento de señalamiento y dispositivos de control del tránsito en la intersección

El objetivo de realizar esta actividad, es detectar si el señalamiento y dispositivos de control existentes influyen en el comportamiento de la intersección. Para esta actividad se deberá recolectar la siguiente información:

- Levantamiento de señalamiento vertical y horizontal, hasta la influencia de la misma
- Levantamiento de dispositivos de control de tránsito
- Identificación de obras de drenaje
- Identificación de postes de servicio (luz, telefonía, etc.)
- Identificación de infraestructura para peatones y otro tipo de usuarios.

De igual manera que en el apartado 4.1.3.2, se recomienda contar con un plano tamaño carta en el cual se puedan ir plasmando cada uno de los puntos mencionados, así como observaciones para mejorar la infraestructura existente.

4.1.4 Aforos vehiculares

Los aforos vehiculares podrán ser obtenidos de fuentes privadas, públicas, o propias, esto dependerá de la disposición de la información, recursos humanos y técnicos. El aforo vehicular podrá ser Manual o automatizado, o bien, una combinación de ambos.

Se recomienda realizar los aforos en periodos semanales, preferentemente en la HMD (hora de máxima demanda), de no contar con ellas, se deberá aforar por periodos de tiempo más extensos. Estos dentro de los periodos teóricos de la HMD. Cal y Mayor, y Cárdenas, definen para ciudades, rangos de 07:30 a 09:30, 14:00 a 15:00, y 18:00 a 20:00 (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007).

Los aforos manuales se podrán realizar con formatos existentes, un buen ejemplo son los que se presentan en el manual de estudios de ingeniería de tránsito (Box & Oppenlander, 1985). Otra opción es con la ayuda de dispositivos electrónicos como: contadores digitales y aplicaciones para teléfonos inteligentes.

Por otro lado, los aforos automatizados podrán realizarse con equipos tales como (figura 4.1.1): aforadores con mangueras neumáticas, radares, video cámaras, analizadores compactos del tránsito, sensores laser, lasos inductivos, entre otros. Los cuales necesitaran de un menor número de recurso humano, y mostraran una mayor cantidad de datos de aforo.

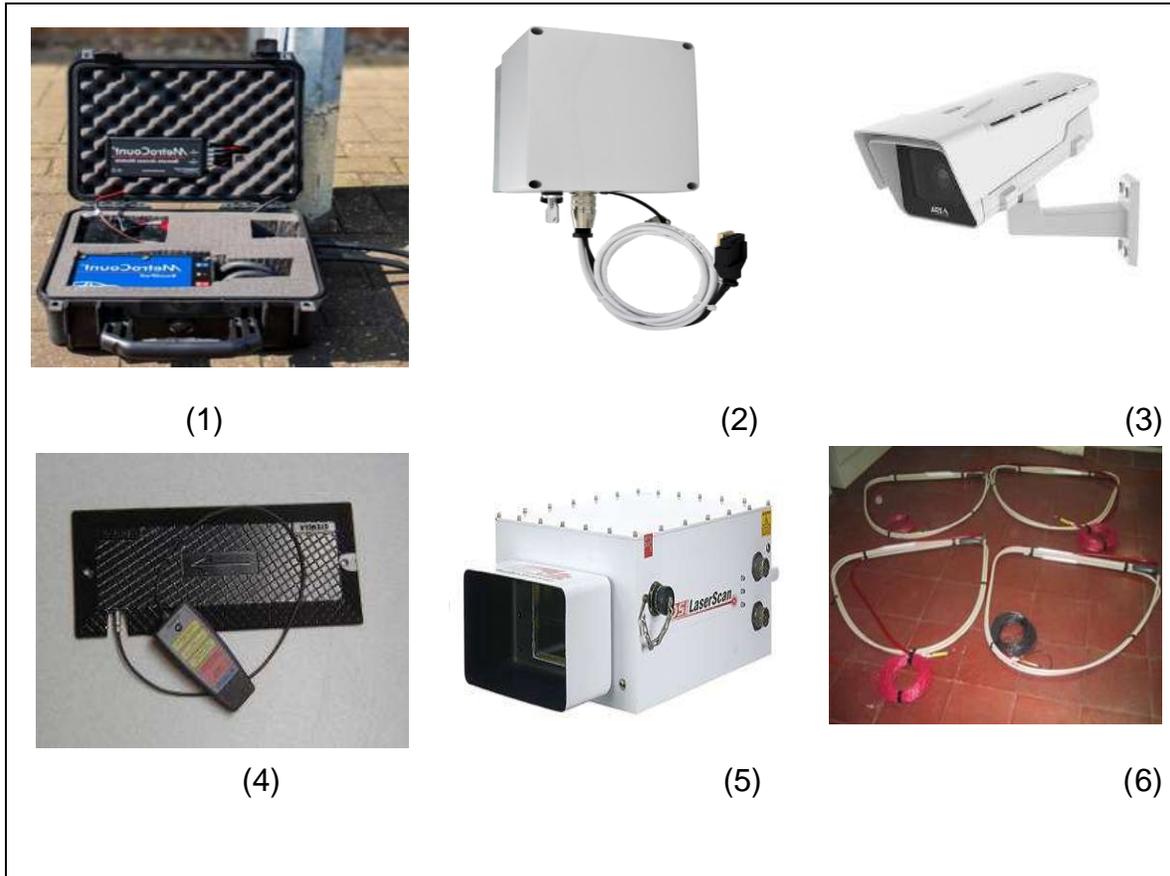


Figura 4.1.1 Equipo para aforos automatizados; Aforadores con mangueras neumáticas(1), Radar(2), Video cámaras(3), Analizadores compactos del tránsito(4), Sensores laser(5), Lazos inductivos(6)

El personal encargado de realizar los aforos vehiculares deberá realizar las siguientes actividades:

- Conteo de vehículos de acuerdo a su clasificación vehicular vigente.
- Conteo del transporte público, de estos se deberá tomar el tiempo que tarda en pasar uno con respecto al otro, tiempo que tarda aproximadamente en realizar las maniobras de ascenso, descenso, y su trayectoria por la intersección.
- Ubicar los lugares próximos a la intersección donde el transporte público realiza las maniobras de ascenso y descenso.
- Identificación de la distribución vehicular en cuanto a marca y modelo de los vehículos que circulan con mayor frecuencia por la intersección, esto con fines de obtener información para la simulación microscópica.
- Obtención de velocidades de punto de los 4 periodos de 15 minutos de la HMD, para cada uno de los flujos que entran a la intersección.

Los aforos se realizarán en la HMD, y estos se ejecutarán para cada una de las vialidades que conforman la intersección. Los conteos se llevarán a cabo en cuatro periodos de 15 minutos, de acuerdo a su uso y clasificación vehicular.

Los conteos se realizarán en las vialidades antes de ingresar y después de pasar la intersección, de ser posible, también se registrarán los movimientos direccionales. Esto para cubrir el flujo vehicular total que ingresa, circula y sale de la intersección.

La manera de realizar el aforo vehicular estará en función del número de recursos humanos y técnicos con el que se cuente. Así como del método que se emplee.

4.1.5 Movimientos direccionales

Además de los aforos, será necesario conocer el comportamiento de circulación de los vehículos en la intersección. Esto se podrá obtener mediante dos métodos principales:

- Aforo manual de movimientos direccionales

- Videograbación.

Para el caso del aforo manual de movimientos direccionales, este puede realizarse simultáneamente al aforo vehicular. Registrando los conteos en formatos especiales para este propósito.

Con respecto a la obtención de los movimientos direccionales a través de videograbación. La utilización de video cámaras y drones, son altamente recomendados.

En ambos casos los movimientos direccionales deberán realizarse conforme a las siguientes actividades:

- Conteo de los movimientos direccionales de acuerdo a la clasificación vehicular.
- Conteo de los movimientos direccionales del transporte público
- Registrar los conteos en cada uno de los flujos que entran a la intersección. Separándolos en movimientos a la izquierda, derecha, de frente y vuelta en “U”.

Dichas actividades se recomiendan realizar en la HMD, ya que esto nos permitiría generar solo los datos de interés de la intersección

4.1.6 Identificación de la distribución vehicular

La distribución vehicular toma un papel fundamental en la realización del estudio, dado que nos permite obtener las características microscópicas de los vehículos que transitan por la intersección.

Cuando definimos distribución vehicular, esto va más allá de la clasificación del vehículo. Para realizar esta actividad, es necesario registrar dentro del periodo de HMD, los vehículos que circulan con mayor frecuencia por la intersección. Obteniendo de cada vehículo: nombre del modelo, fabricante, y año (de ser posible). Con esos será posible obtener las características particulares de cada vehículo a través de la consulta

de sus fichas técnicas. Estos datos servirán para definir en el software de simulación, cada uno de los vehículos tipo, que integran el flujo vehicular.

4.1.7 Velocidades

Las velocidades de los vehículos que circulan por la intersección, deberán ser registradas de acuerdo a los flujos vehiculares que ingresan a la misma. El registro de estas velocidades deberá ser tomado en un punto de la vialidad antes de ingresar a la intersección. Para medir la velocidad de los vehículos, se podrá utilizar una pistola de velocidades, o los equipos aforadores automatizados que cuenten con esta característica.

Las velocidades de punto se registraran de acuerdo a la clasificación vehicular en la HMD, cabe mencionar que es importante contar con el registro de los periodos de 15 minutos que conforman la HMD. De manera que se pueda obtener una velocidad media temporal para cada una de las vialidades que ingresan a la intersección, y de la intersección en general.

4.2 Análisis del modelo actual

Para llevar a cabo el análisis del modelo actual (estado actual de la intersección) será necesario apoyarse de la simulación a través de un software especializado. Así como de la creación del modelo estático y dinámico de la intersección.

Para conseguir un análisis de las características fundamentales del tránsito, es necesario llevar a cabo un análisis profundo de los datos obtenidos en campo, los cuales a su vez serán insumos para el software.

4.2.1 Análisis de datos

Una vez recopilada la información mencionada en el apartado 4.1, se procederá a identificar las HMD (de no contar con ella), esto para proceder con la representación de los demás características de la UA.

La HMD deberá ser obtenida para la intersección. Dado que cada vialidad puede contar con su propia HMD. Con la finalidad de obtener el flujo máximo circulante en

la intersección, visto como un sistema integral de las vialidades que la conforman. Es importante mencionar que los datos que se describen a continuación se pueden calcular en los pasos anteriores, si se conoce la HMD, de no ser así se deberán de calcular en este apartado.

Una vez conocida la HMD se extraerán los siguientes datos para cada una de las vialidades que la conforman:

- Estudio de velocidades
- Flujo de entrada
- Flujos de salida
- Movimientos direccionales
- Distribución vehicular
- Características de los vehículos

Con el objeto de tener la información necesaria para crear el modelo de simulación (modelo dinámico del estado actual).

4.2.2 Modelo estático (ME)

El modelo estático es la representación gráfica de las características viales, circulación, y control más relevantes de la UA. El ME estará conformado de los siguientes componentes:

- Centroides generadores
- Centroides atractores
- Nodos
- Flujos generados
- Flujos atraídos
- Trazado de la intersección

Siendo los centroides generadores aquellos que están representados por un rombo acompañado de una letra en la parte interior y se localizan en la inicio la calle donde ingresa el flujo vehicular. Los centroides atractores son aquellos puntos a los cuales se dirige el flujo vehicular. Estos se

representan con un rombo de distinto color al de los generadores, ubicándolos en la parte final de la respectiva vialidad.

Los nodos representan las intersecciones que se presentan en la unidad de análisis, esto mediante un círculo acompañado de una letra en la parte interior.

Los flujos atraídos, se esquematizan por medio de flechas continuas, ubicadas en las vialidades de acceso a la intersección. Estas flechas representaran los carriles de la vialidad, el sentido de circulación y movimiento direccional del carril. Asimismo para los flujos generados, solo que estas flechas serán con línea discontinua y estarán ubicadas en las calles de salida de la intersección. En la figura 4.2.1, se representa un ME incluyendo los elementos antes mencionados.

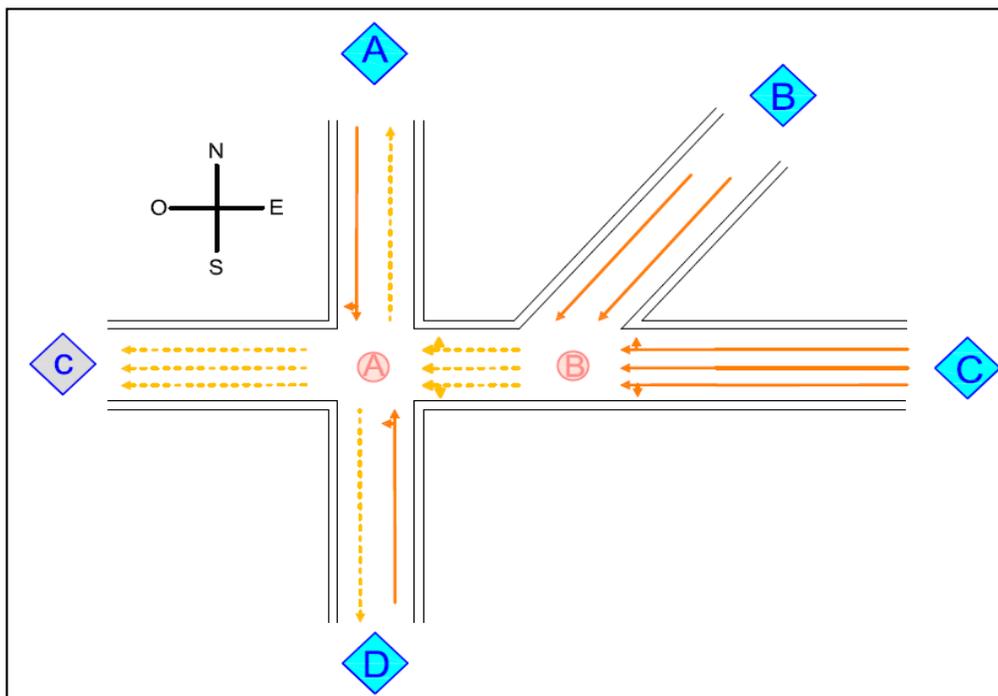


Figura 4.2.1 Ejemplo de un Modelo Estático

4.2.3 Modelo dinámico del estado actual (MDEA)

Para la realización del Modelo Dinámico del Estado Actual (MDEA) se utilizara un software especializado en los temas de simulación de sistemas de transporte, en esta metodología se emplea el Software Aimsun 8.1. Dado que, además de ofrecer múltiples opciones para la

modelación y simulación de las unidades de análisis, también funge como herramienta de análisis.

Este modelo incluirá las características de circulación, viales, y control obtenidas en campo de la unidad de análisis, con el objetivo de crear un modelo representativo de la UA. A continuación se presentan los pasos para su realización.

4.2.3.1 Trazo de la intersección

Para realizar el trazo de la intersección, nos apoyaremos en las herramientas que nos ofrece el software. Para importar el trazo de la UA, se utilizarán los mapas de OpenStreetMaps (OSM). En la figura 4.2.2, se observa en las imágenes superiores, la ubicación de la intersección, y en las dos inferiores la importación del mapa.

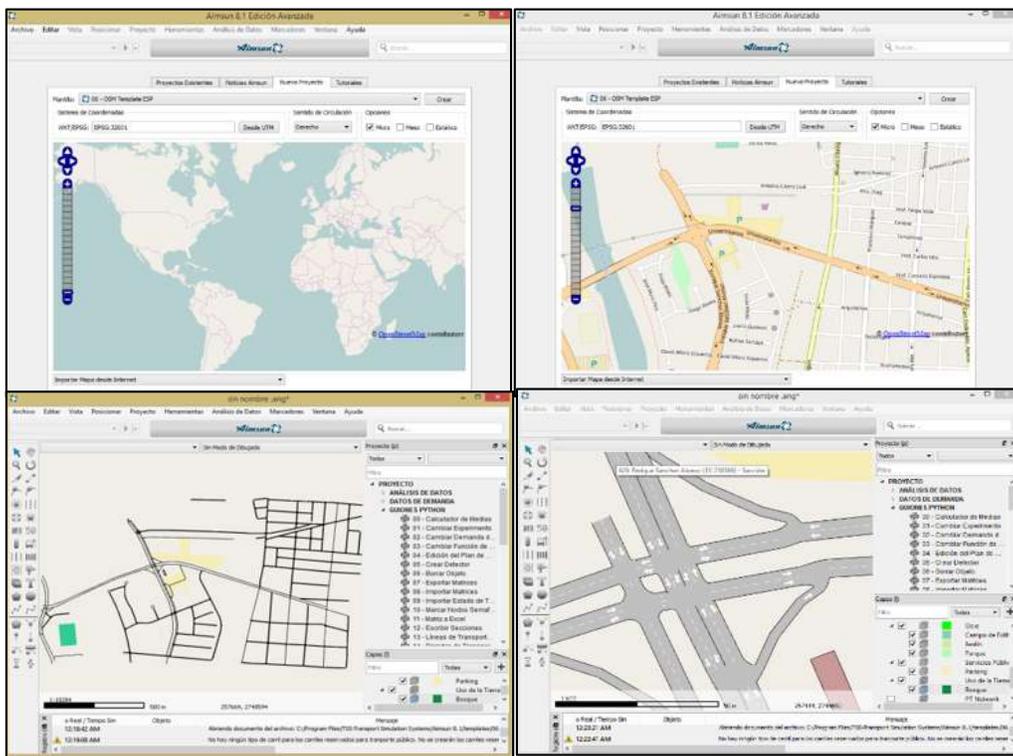


Figura 4.2.2 Capturas de pantalla del proceso de trazo geométrico de la unidad de análisis en Aimsun 8.1

Al importar el trazo, este será modificado con las características obtenidas en los trabajos de campo. Con el propósito de lograr un trazo representativo de la intersección.

4.2.3.2 Nodos

Una vez completado el trazo de la intersección, se desarrollarán los nodos que representarán a las intersecciones. Por lo que cada nodo deberá ser dotado de las características direccionales de la zona. Definiendo los movimientos direccionales de cada vialidad que conforma la intersección, tal como se muestra en la figura 4.2.3.

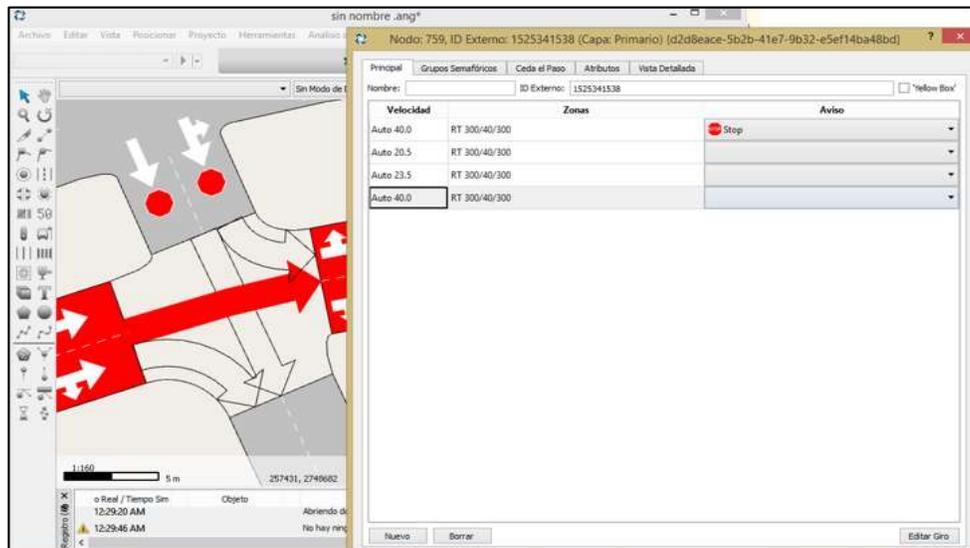


Figura 4.2.3. Definición de nodo en intersección, utilizando Aimsun 8.1

4.2.3.3 Demanda de tránsito

La demanda de tránsito será aquella que represente la demanda vehicular de la intersección. Esta estará compuesta de estados de tránsito o bien de matrices origen destino.

4.2.3.3.1 Estado de tránsito

Los estados de tránsito definirán para cada vialidad de la intersección: el tiempo de inicio de la simulación, su duración, flujo vehicular, tipo de vehículo, y porcentajes de movimientos direccionales. De contar con diferentes tipos de vehículos, se podrán crear y asignar tantos estados de

tránsito como sean necesarios para una misma vialidad (Figura 4.2.4 y 4.2.5).

En caso de contar con transporte público, este se puede ingresar de la misma manera, definiendo un Plan de Transporte público.

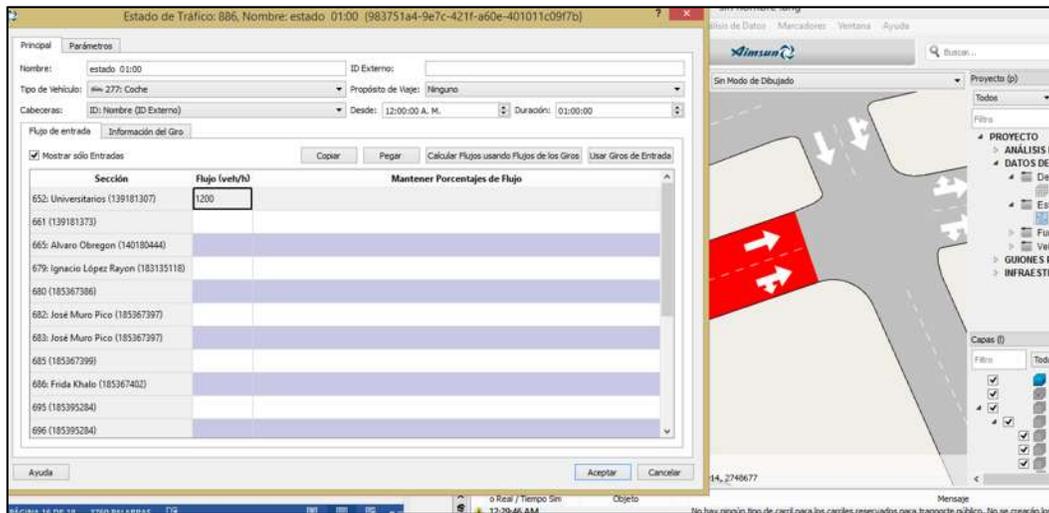


Figura 4.2.4 Asignación de flujo vehicular a una vialidad por medio de un estado de tránsito en Aimsun 8.1

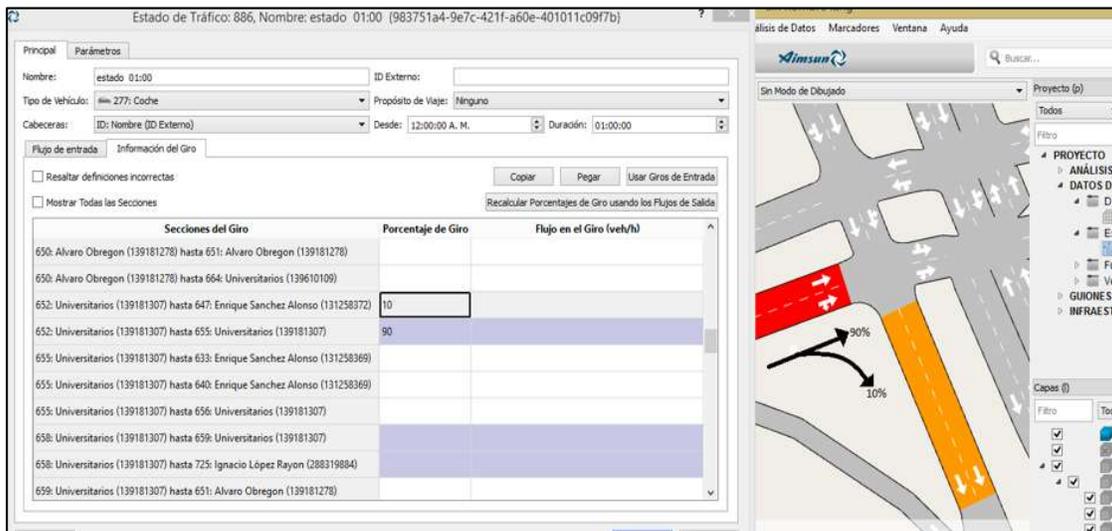


Figura 4.2.5 Asignación de movimientos direccionales para una vialidad por medio de un estado de tránsito en Aimsun 8.1

Los valores de los flujos vehiculares, y porcentajes de movimientos direccionales, deberán ser los obtenidos en campo en la HMD de la intersección.

4.2.3.3.2 Vehículos

Para lograr una microsimulación representativa de la UA, se deberá asignar a cada estado de tránsito el vehículo correspondiente (tipo) de la clase de vehículo que se esté representando. Esto se lograra haciendo uso de la información obtenida en campo, para la distribución vehicular. Ingresando mínimamente la siguiente información de la longitud, ancho, brecha y velocidad de los vehículos, medición: promedio, mínima, máxima, y desviación estándar.

Una vez realizados los pasos anteriores, así como algunos otros que demande el tipo de intersección en cuestión, se continuara con la etapa de calibración y validación del modelo. Dado que aún no se cuenta con la certeza de que el modelo obtenido hasta este punto, se comporta de acuerdo a los valores que se le ingresaron.

4.3 Calibración y validación del MDEA

Este paso representa la parte más importante con respecto al análisis del MDEA. Para lograr esto, es necesario realizar un análisis de sensibilidad del modelo, lo cual nos permitirá detectar las variables que más impacten en el comportamiento de este. De esta manera se podrá acercar el modelo a las condiciones actuales para obtener un MDEA calibrado y validado.

4.3.1 Análisis de sensibilidad

En el análisis de sensibilidad, se pretenderá ajustar algunas de las características del modelo para que este sea un MDEA representativo de la UA. Para lograr este propósito es importante activar la propiedad de 'Yellow box' al nodo de la intersección. Propiedad que mejora la funcionalidad de los nodos, cumpliendo que se respeten los ajustes, sin permitir que el nodo se obstaculice.

Estos ajustes se podrán ir revisando al final y durante la simulación. No obstante se recomienda revisarlas con la ayuda de la colocación de detectores. Los detectores son herramientas de Aimsun que se colocan en las vialidades que se desean analizar. Alimentándolos con información de flujos vehiculares, velocidades promedio, etc. Para evaluarlos al final de la simulación a través de una comparación de los datos de campo. Estos detectores se deberán ubicar lo más próximo al punto donde se realizó el aforo.

4.3.2 Calibración del MDEA

La calibración del MDEA se logrará una vez que el modelo haya cumplido con los parámetros de GEH (valor estadístico que relaciona el flujo vehicular observado con el simulado), velocidades, presencia y ubicación de la problemática, y comportamiento de la intersección. Parámetros utilizados y publicados por la Administración Federal de Carreteras (FHWA, 2004) y Servicios Marítimos y de Carreteras, de Nueva Gales del Sur (Austroads, 2006).

Para cumplir con el valor de los GEH, los detectores colocados en las entradas y salidas de la intersección, deberán arrojar un GEH menor a 5 para cada una de las vialidades y menor a 4 para el flujo total. Teniendo así como mínimo una similitud del 85% del flujo real en la intersección. De lo contrario se continuará con el análisis de sensibilidad.

Para los parámetros de presencia y ubicación de la problemática, estos se dejarán a satisfacción del analista. En cuanto al parámetro de velocidad, ambos documentos también lo evalúan a satisfacción del analista. Sin embargo este criterio no se adopta en esta investigación. Dado que en los análisis de sensibilidad se observó que los resultados pueden variar significativamente si las velocidades simuladas no están dentro de un rango de aceptación con respecto a las obtenidas en campo. Debido a esto se creó el criterio llamado, porcentaje de similitud (% de similitud), para una intersección con 4 flujos de entrada:

- Si la intersección es alimentada por cuatro flujos vehiculares, como máximo solo uno de los flujos vehiculares podrá estar por debajo del 85% de su velocidad respectiva de campo, siendo esta mayor o igual al 80% a su velocidad respectiva de campo. De manera que el porcentaje de igualdad entre los promedios de las velocidades de campo y simuladas pueda ser menor que el 85% pero mayor a 80%.

Una vez que se hayan cumplido todos estos puntos, el modelo estará calibrado y listo para realizar el paso de validación.

4.3.3 Validación del MDEA

El proceso de validación consiste en realizar una verificación independiente del modelo calibrado. Por lo tanto, se requieren dos conjuntos de datos a observar durante el proceso de desarrollo del modelo. Uno se utiliza para calibrar el modelo ajustando los parámetros, para asegurar que los datos de salida coincidan con los datos de campo. El segundo se utiliza para verificar que los aspectos de conducta del modelo calibrado, concuerden con el conjunto de datos observados en campo.

La validación del modelo calibrado se llevara a cabo con replicaciones distintas a la de calibración. Asegurando así que el modelo calibrado funciona, y por lo tanto puede utilizarse para diferentes casos presentes en la intersección. De esta manera se recomienda realizar mínimamente 5 replicaciones de la simulación, variando la semilla aleatoria. Esto según (Austroads, 2006). Estas 5 replicaciones, se utilizaran para calcular la media de estas, esperando que los flujos vehiculares arrojados se encuentren dentro de un intervalo de confianza del 95% de acuerdo a los obtenidos en campo, según la (FHWA, 2004). De igual manera las velocidades arrojadas del cálculo de la media deberán cumplir con los porcentajes de la etapa de calibración.

Una vez validado, se generaran los parámetros de eficiencia para su posterior comparación con los obtenidos de las propuestas de solución.

4.4 Alternativas de solución

Para proponer alternativas de solución, es necesario analizar e identificado los aspectos que rigen el funcionamiento y operación de la intersección. Las vialidades y condiciones de circulación que generan problemática, y la generación o disminución de los puntos de conflicto. Esto se lograra mediante el análisis del MDEA así como con las observaciones realizadas en las visitas de campo.

4.4.1 Zonas y puntos de conflicto

Parte del análisis será necesario identificar los puntos de conflicto existentes en la zona de estudio. En una intersección se presentan los siguientes:

- Punto de cruce
- Punto de incorporación
- Punto de desincorporación

Una de las finalidades de identificar los puntos de conflicto es que al proponer las alternativas de solución, estas deberán de tener un número menor o igual al número de puntos de conflictos existentes. De no ser posible, la propuesta deberá separar dichos puntos de conflicto en espacio o tiempo.

Además de los puntos de conflicto, se localizaran las zonas de la intersección donde se generen las mayores distancias de colas, así como mayores demoras. Tomando en cuenta las vialidades con mayores densidades, flujo vehicular.

4.4.2 Propuestas de alternativas de solución

Las propuestas de alternativas de solución, se representaran primeramente en un ME. Con el propósito de facilitar su análisis, antes de

llevarlo a la simulación. Creando así un Modelo Estático con Propuestas (MECP), una vez creado el MECP se hará un conteo y análisis de los puntos de conflicto, así como un análisis en el trazo de la intersección y su nueva configuración de circulación. Asegurándose de que tenga congruencia y no se pierda ningún aspecto relevante en cuanto a la circulación y flujo de esta.

Las propuestas estarán enfocadas en soluciones de bajo costo, y sin realizar modificaciones en la geometría e infraestructura de la intersección. Como paso siguiente el MECP se plasmara en un software de simulación, creado así un modelo dinámico con propuesta (MDCP)

4.4.3 Modelo dinámico con propuesta (MDCP)

Una vez revisado el MECP, este será convertido a un Modelo dinámico (MDCP), contando con todas las características del MDEA además de las modificaciones realizadas en las propuestas.

El modelo se creara en un software de simulación, realizando las modificaciones expuestas en las propuestas. Sin modificar información pueda alterar la validación del MDEA. Una vez que se hayan creado los MDCP estos serán analizados en el siguiente paso.

4.5 Selección de propuestas de solución

Para realizar el análisis de las propuestas de solución, se llevara a cabo un análisis mediante la observación del comportamiento de la intersección. Además de un análisis de los resultados de los parámetros de eficiencia. Con la finalidad de comparar las propuestas entre sí, y contra los resultados del estado actual. Es importante mencionar que los resultados a comparar serán los obtenidos de la media calculada de las 5 replicaciones creadas. Siendo estas las mismas del MDEA. De contar con mejoras en los parámetros con respecto al estado actual se procederá a seleccionar la propuesta de solución.

4.5.1 Análisis de propuestas de solución

Los parámetros a evaluar en el análisis de las propuestas son una combinación de medidas internacionales de eficiencia utilizadas por la FHWA, Austroads y por trabajos relacionados al tema. Estos parámetros son:

- Cola media
- Flujo vehicular
- Densidad
- Distancia media de viaje
- Número total de paradas
- Tiempo medio de parada
- Tiempo medio de demora
- Tiempo medio de viaje
- Velocidad media.

4.5.2 Selección de la Propuesta

La selección de la propuesta se basará en la suma de mejoras obtenidas los siguientes puntos:

- Mejoras en los parámetros de eficiencia
- Mejora en las zonas y puntos de conflicto
- Comportamiento de la intersección
- Satisfacción del analista

Una vez seleccionada la propuesta de solución, se realizará un resumen comparativo de los resultados de la propuesta y el estado actual de la intersección.

Capítulo 5. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos al aplicar la metodología en una unidad de análisis. Esta unidad de análisis es una intersección urbana no señalizada a nivel, ubicada en la ciudad de Morelia, Michoacán. La cual presenta problemas de movilidad.

5.1 Adquisición de datos

5.1.1 Ubicación de la unidad de análisis

Morelia, capital del estado de Michoacán se encuentra situada en la zona centro-oeste de la república mexicana. Esta ciudad es la decimosexta del país en cuanto a extensión territorial se refiere, cubriendo el 3% de del territorio nacional. El estado de Michoacán colinda al Norte con los estados de Jalisco, Querétaro y Guanajuato, al Sur con Océano Pacífico y el estado de Guerrero, al Este con Querétaro, México y Guerrero; y al Oeste con Jalisco, Colima y el Océano Pacífico. Morelia es considerada zona metropolitana (ZM) y está conformada por los municipios de Morelia, Tarímbaro y Charo. Donde el municipio de Charo se integró por medio del criterio de integración funcional, mientras que Morelia y Tarímbaro, se integran por del criterio de conurbación física. Esto de acuerdo a la publicación “Delimitación de zonas metropolitanas de México 2010” (SEDESOL, CONAPO, & INEGI, 2012).

En el año 2010 la ZM de Morelia contaba con 829mil 225 habitantes, una tasa de crecimiento anual promedio del 2%, y una extensión territorial de 1771.2 kilómetros cuadrados (ONU-Hábitat, 2015). Así como con un total de 441 mil 381 vehículos de motor registrados en circulación (excluyendo motocicletas), vehículos de los cuales 310 mil 376 eran automóviles.

La unidad de análisis (UA) se encuentra localizada en la zona centro-norte de la ciudad de Morelia, con las coordenadas; latitud 19°42'47.81"N, longitud 101°11'50.55"O. La UA está formada por tres intersecciones, las cuales funcionan de manera conjunta, siendo esto parte de su particularidad. Además, se encuentra localizada sobre el Río Grande de Morelia, y a un costado del cruce ferroviario de la

línea Kansas City Southern. En la Figura 5.1.1 se muestra una imagen aérea de la intersección.



Figura 5.1.1 Unidad de análisis, Calle Guadalupe Victoria con Avenida División del Norte, ciudad Morelia, Michoacán, 2017

Esta intersección está conformada por la Av. Guadalupe Victoria que a su vez se convierte en un Boulevard de dos cuerpos separada por un camellón, y la Av. División del Norte, la cual es de dos cuerpos y está separada por el Rio Grande de Morelia. A continuación en la Figura 5.1.2 se ilustra la intersección y sus vialidades.

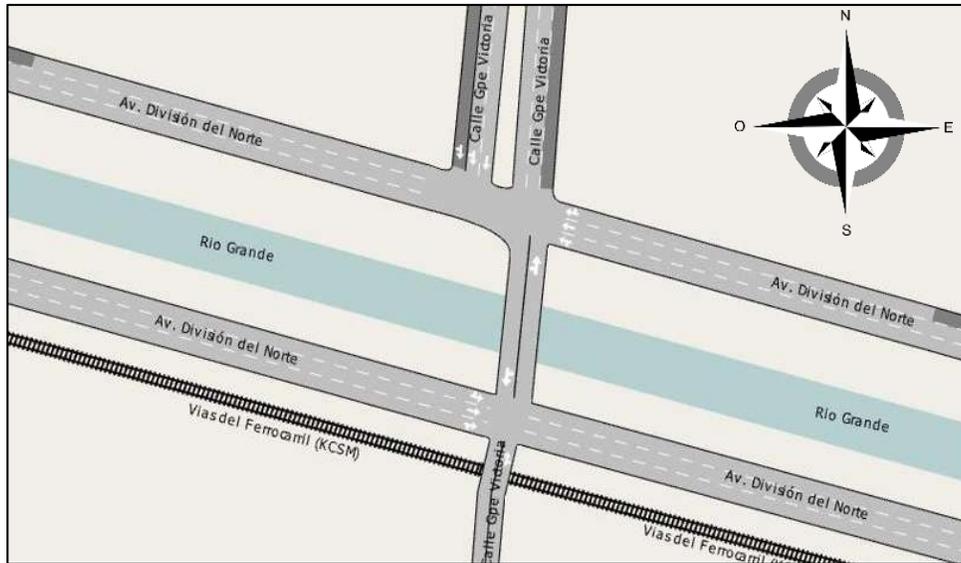


Figura 5.1.2 Configuración actual de la intersección, con sus respectivos nombres y zona de obstrucción.

5.1.2 Reconocimiento de eventos en la unidad de análisis

Estos eventos se registraron a través de visitas de campo, y videograbaciones. Enseguida se exponen los eventos ordinarios y extraordinarios de la intersección.

Eventos ordinarios:

- No se cuenta con un sistema de control que rijas la prioridad de paso de los flujos vehiculares. Existen tres semáforos en la intersección, los cuales se encuentran en desuso a causa del vandalismo. En consecuencia, el control de prioridades lo determinan los mismos usuarios.
- Los usuarios adoptaron una conducta de ceder el paso del tipo “uno y uno”, en todas las vialidades que conforman la intersección.
- No se cuenta con señalamiento que indique o informe la jerarquización de las vialidades. Las vialidades que conforman la intersección, parecen tener la misma jerarquización. No obstante, estas cuentan con distintos límites de velocidad.
- Se observa el fenómeno de congestionamiento vehicular en la intersección y formación de colas significativas en la vialidad Guadalupe Victoria. Estas colas aumentan ante la presencia del tren en la intersección.

- Se observa una circulación en contra flujo por parte de los vehículos que circula de Norte - Sur por la vialidad Guadalupe victoria, con respecto a los que circulan en sentido Oeste.
- Se presenta una reducción de 2 a 1, en los carriles en la vialidad Guadalupe victoria, por efecto de la circulación a contra flujo presente en la intersección.
- Los usuarios se estacionan en espacios no permitidos, sobre las vialidades Guadalupe Victoria y División del Norte sentido Este – Oeste.
- La composición vehicular en su mayoría se conforma de vehículos ligeros, además de contar con rutas de transporte publico tipo combis, autobús y microbús.
- El transporte público no cuenta con paradas establecidas para el ascenso y descenso de pasajeros.
- El señalamiento vertical existente, no corresponde a las necesidades de la intersección debido a que la intersección se encontraba controlada por semáforos.
- El señalamiento horizontal en la intersección es casi imperceptible.
- La calle Guadalupe Victoria (Sur-Norte) cuenta con un cruce ferroviario.
- El cruce ferroviario carece de señalamiento vertical y horizontal, y dispositivos de seguridad.
- Los vehículos pasan el cruce ferroviario con un alto nivel de riesgo e imprudencia.
- El tren no cuenta con un itinerario fijo, por los que los usuarios de la zona no pueden tomar rutas alternas con anticipación para evitar el paso del tren.
- El tren demora de 1 a5 minutos en pasar el cruce ferroviario.

Eventos extraordinarios:

- Los lunes de cada semana se establece un tianguis en la avenida División del Norte, en el sentido Este – Oeste. Los vendedores se establecen alrededor de las 07:00 horas y se retira aproximadamente a las 16:00 Horas. Impidiendo la circulación por la avenida. En consecuencia, se evitó la recolección de datos de los días lunes.

5.1.3 Visitas y trabajo de campo

Una vez identificados los eventos ordinarios y extraordinarios de la UA, se determinaron las estrategias para realizar los aforos vehiculares y las mediciones de las características geométricas. Se utilizaron dos aforadores automáticos de manguera neumática, cinta métrica, un odómetro, cámara fotográfica, y un dron equipado con videocámara.

5.1.3.1 Características geométricas

Las medidas fueron producto de simultáneas mediciones y el promedio de las mismas, ya que estas variaban en a lo largo de la vialidad en cantidades pequeñas. Dichas medidas se muestran a continuación en la tabla 5.1.3.1 y en la figura 5.1.3.1.

Tabla 5.1.3.1 Dimensiones promedio de ancho de calzada y carril

Calle	Sentido	Dimensión Calzada (Metros)	Dimensión Carril (Metros)
Calle Guadalupe Victoria	Norte - Sur	8	2.75
Calle Guadalupe Victoria	Sur - Norte	8	4
Puente	Ambos	8	4
División del Norte	Este - Oeste	8.8	2.93
División del Norte	Oeste - Este	8.91	2.97

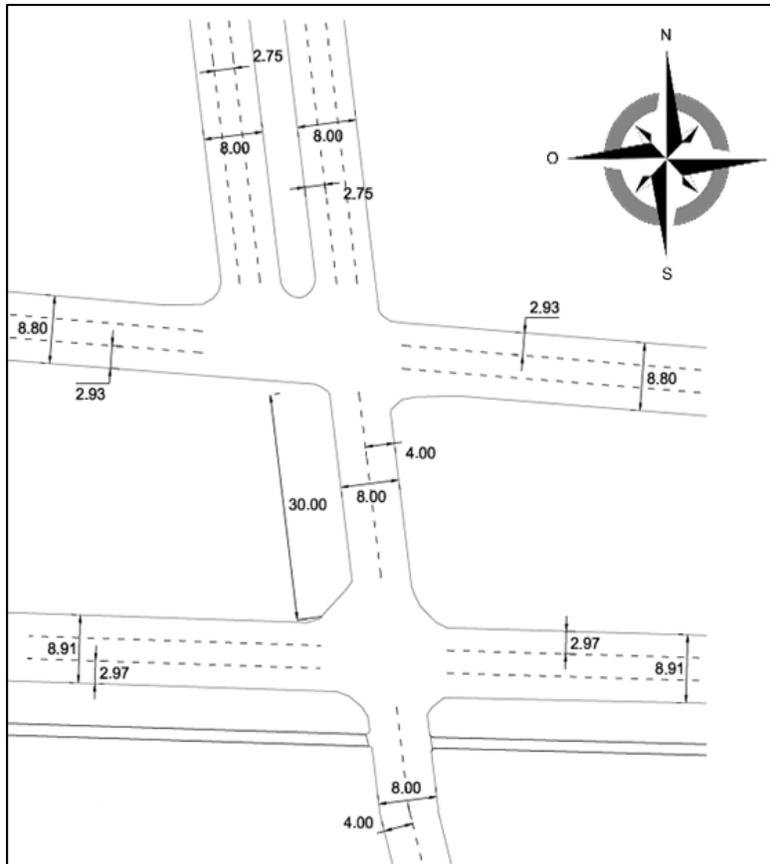


Figura 5.1.3.1 Dimensiones promedio de la intersección y sus vialidades

Para llevar a cabo el levantamiento de las características geométricas se realizaron fichas para la recolección de datos. En las fichas se especifica la vialidad y sus características geométricas tal como se muestra en la Figura 5.1.3.2. Para consultar las fichas realizadas ver Anexo 1.



Ficha para datos físicos de entrada

Maestría en Infraestructura del Transporte
en la Rama de las Vías Terrestres



Fecha: 16 de Febrero de 2017 Hora: 13:27 horas

Nombre: Av. División del Norte

Sentido: Este – Oeste

Número de carriles: 3

Ancho prom de calzada: 8.80 mts Ancho prom de carril: 2.93 mts

Existencia de banqueta: Si Ancho prom de banqueta derecha: 2.80 mts

Ancho prom de banqueta izquierda: 0.60 mts

Observaciones:

El señalamiento horizontal es casi imperceptible, por lo que la delimitación de los carriles no se define de la mejor manera, la banqueta de 2.80 mts se amplía al aproximarse a las casas.

No se cuenta con una parada establecida para el transporte público.

No se cuenta con señalamiento vertical que determine la jerarquización del cruce.

Las condiciones del pavimento sobre todo en el carril izquierdo pegado al río, presentan numerosos baches, por lo que la circulación de los vehículos se ve afectada por estos, además de que existe la presencia de automóviles estacionados en distintos puntos a lo largo del carril derecho.

Figura 5.1.3.2 Ficha para datos físico de entrada

5.1.3.2 Levantamiento de señalamiento e infraestructura existente

En la intersección no se cuenta con un sistema de control de tránsito, puesto que los semáforos existentes no funcionan. A continuación hace un recuento del señalamiento vertical existente (tabla 5.1.3.2).

Tabla 5.1.3.2 Señalamiento vertical existente

Tipo de Señalamiento	Cantidad	Clave
Informativo	2	SIR – Cruce de ferrocarril
	1	SIR – Cuidado con el tren
	1	SIR – No obstruya el cruce
	1	SIR – Disminuya su velocidad
	1	SIS - 19
Preventivo	3	SID - 13
	1	SP - 37
Restrictivo	1	SR - 6
	3	SR - 22
	2	SR – 9 50 km/hr
	1	SR – 9 40 km/hr

En la tabla se muestra un total de 17 señalamientos verticales, de las cuales 14 son señales bajas, y 3 son señales elevadas de tipo bandera.

Para la recolección de estos datos se utilizó una ficha que describe el tipo de señalamiento, si está o no dentro de norma, su estado actual, una fotografía del señalamiento y observaciones, tal como se muestra en la figura 5.1.3.3 y Anexo 2.



Maestría en Infraestructura
del Transporte
en la Rama de las Vías Terrestres

FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE SEÑALAMIENTO VERTICAL EXISTENTE

CALLE: DIVISION DEL NORTE

SENTIDO: OESTE

TRAMO: CALLE GUILLERMO PRIETO Y CALLE GUADALUPE VICTORIA

ORIGEN: KM 0+000

Dirección: ESTE -OESTE



UBICACIÓN: 0+050 KM

DESCRIPCIÓN: SEÑAL INFORMATIVA DE DESTINO CLAVE SID - 13

TIPO DE SEÑAL: BAJA

ESTADO DE CONSERVACIÓN: BUENO REGULAR MALO

RECOMENDACION: NO MOVER REUBICAR REEMPLAZAR RETIRAR

OBSERVACIONES:

DESTINO AV. MADERO PTE., PRADOS VERDES, ZONA CENTRO, AV. GUADALUPE VICTORIA

SEÑALAMIENTO EN BANDERA, POSTE MUY DAÑADO, RETIRAR SEMÁFORO

Figura 5.1.3.3 Ficha para levantamiento de señalamiento vertical existente

5.1.3.3 Señalamiento horizontal

En cuanto al señalamiento horizontal de la zona, este es casi imperceptible en gran parte de la intersección. Las marcas sobre el pavimento que corresponden a delimitación de carriles, líneas de parada, cruces peatonales, y flechas para la descripción de los movimientos, no se aprecian a simple vista (figura 5.1.3.4 y 5.1.3.5).



Figura 5.1.3.4 Avenida Guadalupe Victoria (sentido Sur – Norte), ausencia de señalamiento horizontal



Figura 5.1.3.5 Avenida División del Norte (Oeste – Este), señalamiento horizontal poco visible

5.1.3.4 Identificación de obras de drenaje y postes de servicio

Con respecto a obras de drenaje, la intersección no cuenta con obras sobre su trazo. En cuanto a los postes de servicio, estos se encuentran situados sobre las banquetas de la intersección, sin representar algún impedimento de circulación. En la Figura 5.1.3.6 se observan los tipos de postes que se encuentran en la intersección, incluyendo la estructura del semáforo en desuso.



Figura 5.1.3.6 Postes de servicio en intersección

5.1.3.5 Infraestructura para peatones y otro tipo de usuarios

La intersección no cuenta con puentes peatonales, solo se observó la presencia de un cruce ferroviario sobre la Avenida Guadalupe Victoria, el cual carece de elementos de seguridad y señalamiento en buen estado. El cruce consta de una sola vía férrea, siendo el Tren Kansas City Southern de México el que circula por esta intersección. De acuerdo a información brindada en la oficina de Kansas City Southern de México, El tren cruza en promedio 14 veces al día, y sus tiempo de cruce van de 1 a 5 minutos. En la figura 5.1.3.7 se observa el cruce ferroviario, así como la ausencia en el funcionamiento de los dispositivos de seguridad.



Figura 5.1.3.7 Cruce ferroviario a nivel, con la Avenida Guadalupe Victoria

5.1.4 Aforos vehiculares

Una vez conocidas las particularidades de la intersección, así como la infraestructura existente, se procedió a ejecutar la estrategia de aforo vehicular. La estrategia constó en contabilizar una vialidad por semana, antes de entrar a la intersección y después de esta. Si bien esta no es la manera recomendada para realizar los conteos vehiculares, fue la opción más apropiada para cerciorarse de elegir la HMD de una manera precisa.

El aforo vehicular se realizó con dos equipos MetroCount 5600, los cuales son aforadores con mangueras neumáticas, capaces de contabilizar, clasificar, registrar velocidades y dirección de la trayectoria de los vehículos. Los equipos se colocaron en las vialidades de interés para realizar conteos de 24 horas los 7 días de la semana.

5.1.4.1 Aforo ferroviario

Aunado a esto se realizó un aforo manual ferroviario durante 7 días, en un horario de 07:00 a 22:00 horas. Los datos se registraron en una tabla que se muestra en la figura 5.1.4, donde se indica el momento de inicio y término del paso del tren, así como el sentido que cruzó, y si este se detuvo o circulo de manera continua.

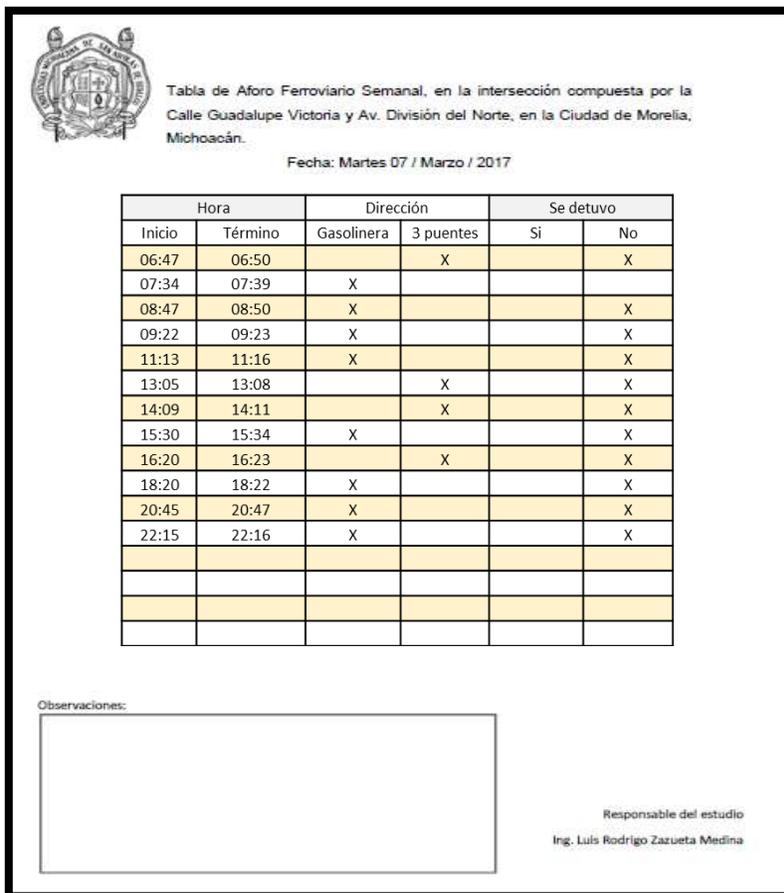


Figura 5.1.4 Formato y aforo ferroviario

5.1.5 Movimientos direccionales

Para conocer el porcentaje de movimientos direccionales en la intersección, se realizó una videograbación con un dron modelo Mavic Pro de la marca DJI. Este dron se sobrevoló en la UA, capturando los movimientos de los vehículos a una altura entre 80 y 100 metros, de manera que se observasen los flujos vehiculares de entrada y salida de la intersección.

5.1.6 Identificación de la distribución vehicular

La distribución vehicular se llevó a cabo mediante el análisis de los videos aéreos realizados para la determinación de los movimientos direccionales. Identificando la marca y modelo de los vehículos que circulaban con mayor frecuencia por la intersección.

5.1.7 Velocidades

El registro de velocidades se realizó con el equipo aforador, teniendo un registro de velocidades diario semanal para cada una de las vialidades.

5.2 Análisis del modelo actual

5.2.1 Análisis de datos

5.2.1.1 Análisis de datos de aforo y cálculo de HMD

Para la determinación de la HMD AM y PM se realizó un análisis de los flujos vehiculares con el propósito de homogenizar los datos obtenidos en cada uno de los conteos. Debido a que las vialidades se aforaron en diferentes semanas. Se determinó el día con mayor flujo vehicular de entrada en cada una de las vialidades. En la tabla 5.2.1.1 se observa que el día martes es el día con mayor flujo vehicular en la intersección, con un total de 36645 vehículos diarios.

Tabla 5.2.1.1 Cálculo de flujos diarios particulares y totales

Vialidades	Número de vehículos diarios		
	Martes	Miércoles	Jueves
Calle Guadalupe Victoria (N – S)	9533	9452	9423
Calle Guadalupe Victoria (S – N)	6360	6619	6221
Av. División del Norte (O – E)	13725	11878	13122
Av. División del Norte (E – O)	7027	7044	6807
Número total de vehículos	36645	34993	35573

Una vez determinado el día de mayor flujo vehicular, se procedió a determinar la HMD AM y PM de la UA. Para esto se obtuvieron las HMD AM y PM de cada una de las vialidades que conforman la intersección. Las HMD de las vialidades variaban considerablemente (tabla 5.2.1.2), se observó que en el horario AM las HDM iban desde las 07:15 horas, hasta las 11:15 horas, y de las 14:15 horas, hasta las 16:00 horas en el horario PM.

Por lo que, se procedió a calcular el flujo total en la UA a partir de cada una de las HMD obtenidas en ambos horarios para cada vialidad. En la tabla 5.2.1.2 podemos observar la suma de los flujos vehiculares según la HMD de cada vialidad. Como resultado se muestra que en el horario AM, en el periodo de 08:15 a 09:15, la intersección suma un total de 2259 vehículos, y en la PM, en el periodo de 16:00 a 17:00, la intersección cuenta con 2434 vehículos.

Tabla 5.2.1.2 Cálculo de flujo en la UA con respecto a la HMD particular

Vialidades	HMD particular		Flujo en UA
Calle Guadalupe Victoria (N – S)	09:15	10:15	2225
Calle Guadalupe Victoria (S – N)	08:15	09:15	2259
Av. División del Norte (O – E)	07:15	08:15	1964
Av. División del Norte (E – O)	11:15	12:15	2085
Calle Guadalupe Victoria (N – S)	15:30	16:30	2404
Calle Guadalupe Victoria (S – N)	16:00	17:00	2434
Av. División del Norte (O – E)	15:15	16:15	2376
Av. División del Norte (E – O)	14:15	15:15	2198

Una vez determinados estos horarios, se hizo un análisis de las horas intermedias que conformaban los periodos de 08:15 a 09:15 y 16:00 a 17:00 respectivamente, con el objetivo de identificar un horario que registrara mayor número de vehículos. Para la HMD AM, se analizaron las posibles HMD dentro del periodo de 07:15 a 10:15 (una hora antes y después de la HMD calculada anteriormente). En la tabla 5.2.1.3 se muestran los intervalos dentro de este periodo, siendo el intervalo de las 08:45 a 09:45 el del flujo mayor con un total de 2403 vehículos/hora.

Tabla 5.2.1.3 Definición de HMD AM con respecto al flujo mayor en la UA

Posible HMD		Flujo en UA
07:15	08:15	1964
07:30	08:30	1893
07:45	08:45	2062
08:00	09:00	2037
08:15	09:15	2259
08:30	09:30	2317
08:45	09:45	2403
09:00	10:00	2331
09:15	10:15	2225

Para el horario PM se realizó el mismo procedimiento. En la tabla 5.2.1.4 se analizaron los intervalos de 15:00 a 18:00, donde el intervalo de 16:30 a 17:30 representa el flujo vehicular más alto con 2454 vehículos/hora.

Tabla 5.2.1.4 Definición de HMD PM con respecto al flujo mayor en la UA

Posible HMD		Flujo en UA
15:00	16:00	2261
15:15	16:15	2376
15:30	16:30	2404
15:45	16:45	2436
16:00	17:00	2434
16:15	17:15	2417
16:30	17:30	2454
16:45	17:45	2418
17:00	18:00	2413

Con las HMD calculadas, definimos los flujos de entrada y salida de las vialidades. Terminando así con el proceso de homogenización de la información de aforo. En la tabla 5.2.1.5 se muestran los flujos de entrada de cada vialidad, para cada HMD.

Tabla 5.2.1.5 Flujos de entrada HMD

Vialidades	08:45	09:45	16:30	17:30
	Flujos HMD AM		Flujos HMD PM	
Calle Guadalupe Victoria (N – S)	642		666	
Calle Guadalupe Victoria (S – N)	450		449	
Av. División del Norte (O – E)	937		844	
Av. División del Norte (E – O)	374		495	

Y en la tabla 5.2.1.6 se presentan los flujos de salida de cada una de las vialidades en ambas HMD.

Tabla 5.2.1.6 Flujos de salida HMD

Vialidades	08:45	09:45	16:30	17:30
	Flujos HMD AM		Flujos HMD PM	
Calle Guadalupe Victoria (N – S)	622		701	
Calle Guadalupe Victoria (S – N)	572		451	
Av. División del Norte (O – E)	831		712	
Av. División del Norte (E – O)	546		552	

En la figura 5.2.1.1 se muestra el flujo vehicular del día martes en la intersección en intervalos de una hora, y podemos observar como la HMD coinciden en los picos máximo am de la gráfica.

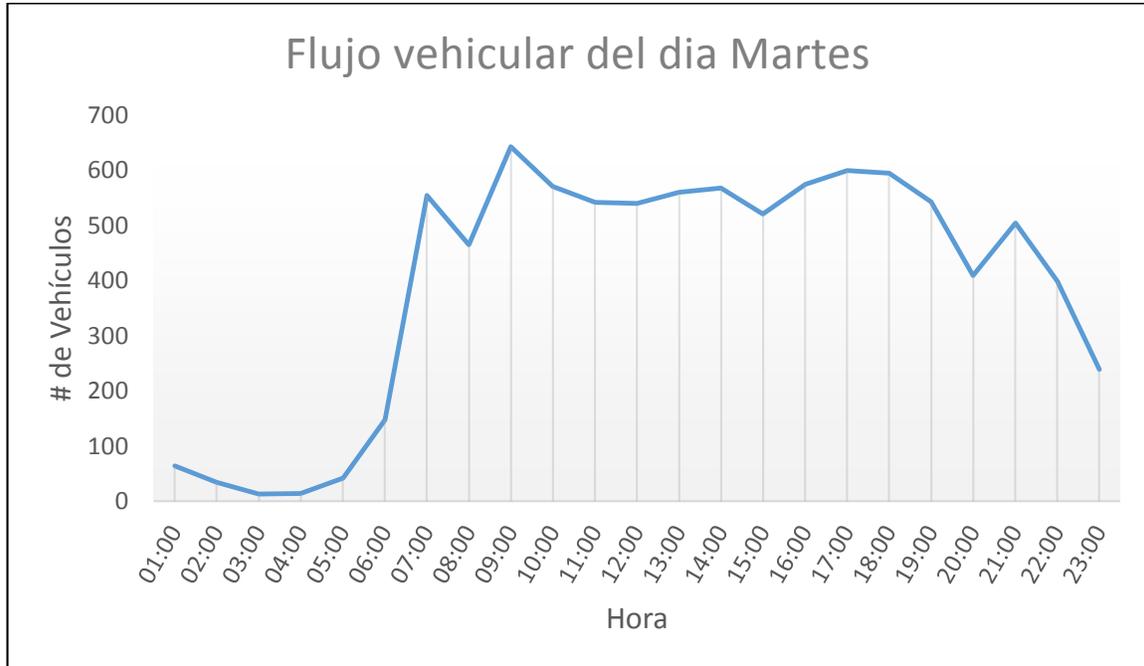


Figura 5.2.1.1 Gráfica del flujo vehicular del día martes

Se observa que en ambas HMD los flujos son similares, además se identifica que las vialidades con mayor flujo vehicular de entrada y salida son la Calle Guadalupe Victoria en sentido Norte - Sur y la Av. División del Norte sentido Oeste – Este, en ambos horarios. Por lo que, las observaciones en campo con respecto a la ubicación de la problemática y desarrollo de esta, toman sentido. Estas problemáticas son muy similares en ambos horarios, y se puede concluir que la problemática es igual en ambas HMD.

5.2.1.2 Cálculo de movimientos direccionales

Se realizó la contabilización de los movimientos direccionales de cada vialidad, por tipo de vehículo. Estos vehículos se agruparon en, públicos y privados. En la figura 5.2.1.2 se muestra de manera porcentual los movimientos direccionales generales en la UA.

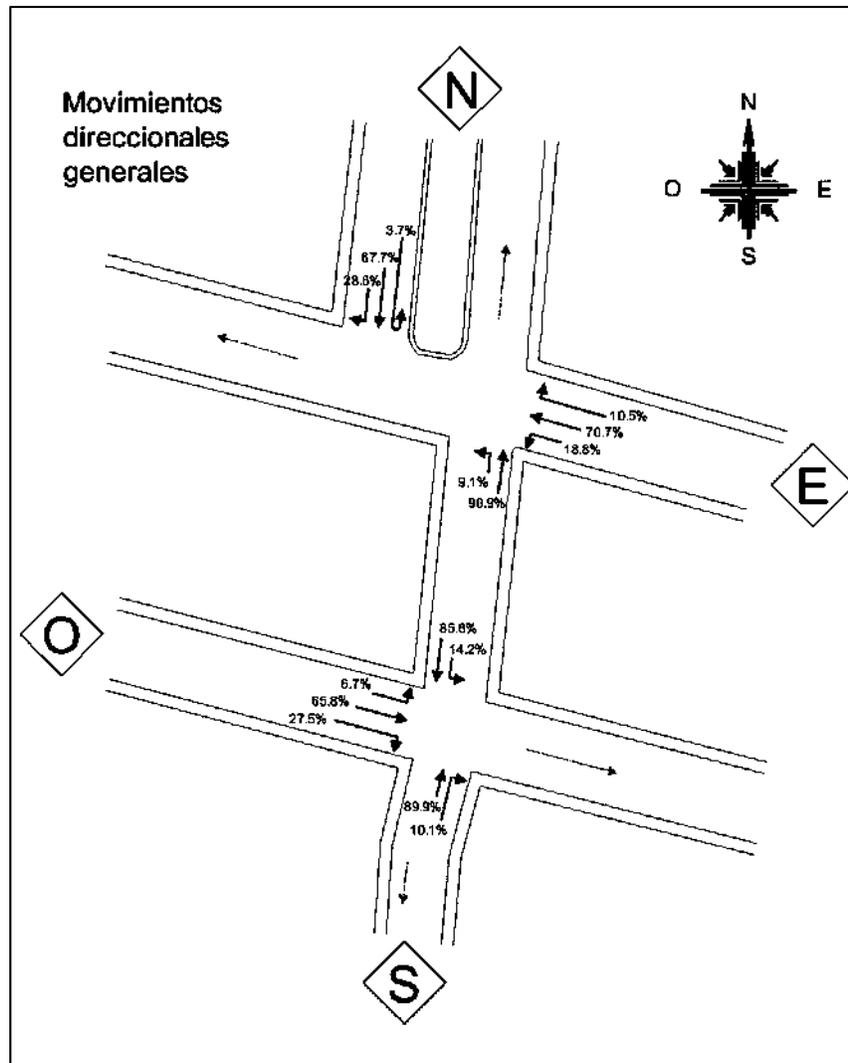


Figura 5.2.1.2 Diagrama de movimientos direccionales generales en la UA

En la figura 5.2.1.3 observamos los movimientos direccionales de los automóviles (vehículos privados), mientras que la de los vehículos privados se muestra en el Anexo 3.

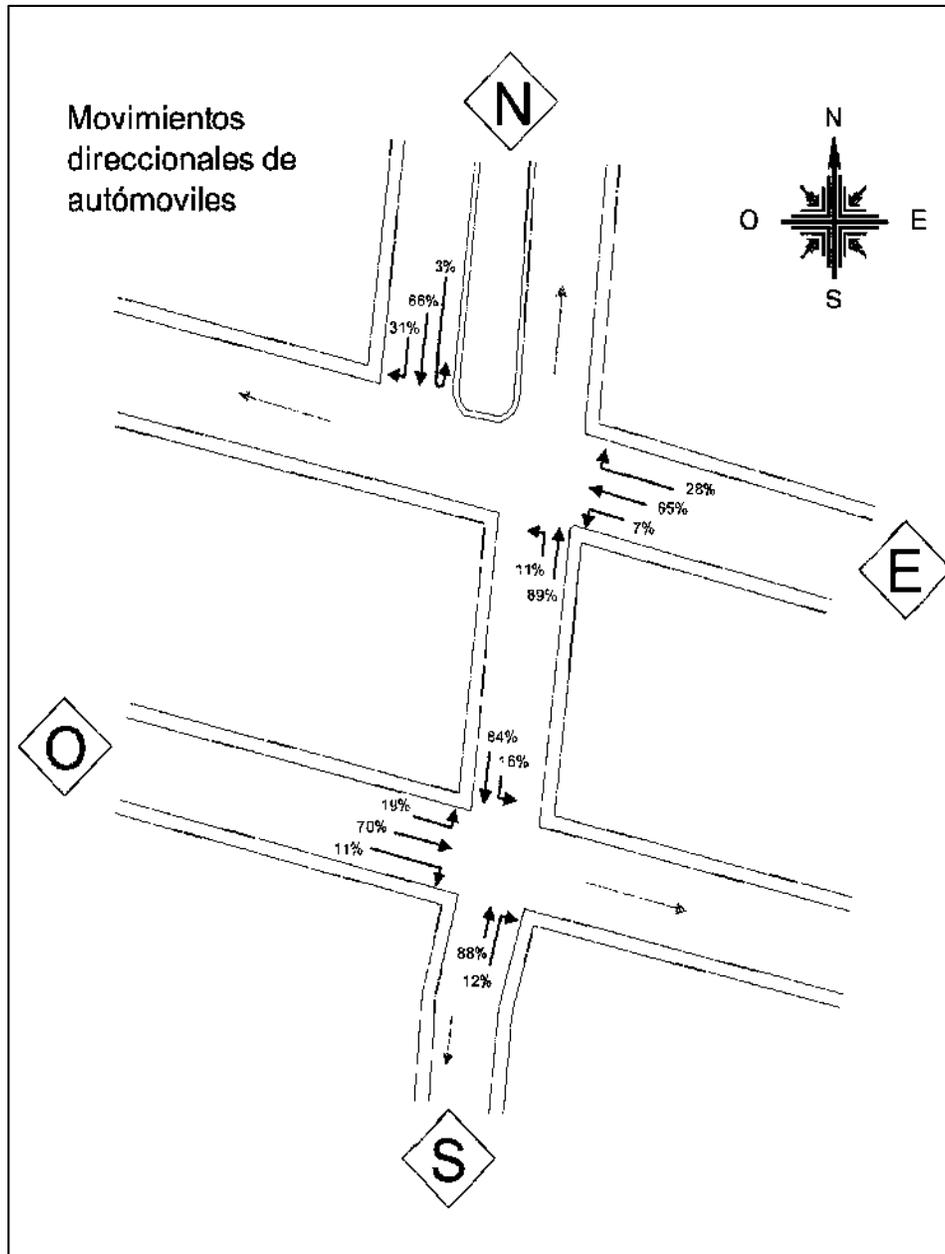


Figura 5.2.1.3 Diagrama de movimientos direccionales de automóviles en la UA

5.2.1.3 Cálculo de distribución vehicular

Utilizando los porcentajes de los movimientos direccionales y el registro de los vehículos, se hizo una aproximación de la distribución vehicular circulante. Obtenido en la HMD AM y PM, 5 grupos vehiculares para cada vialidad. La distribución vehicular de la UA en la HMD AM y PM se muestra en las tablas 5.2.1.7 y 5.2.1.8 respectivamente.

Tabla 5.2.1.7 Distribución vehicular AM

	Posición de las vialidades				Total
	Norte	Sur	Este	Oeste	
Automóviles	526	364	326	847	2063.00
Taxis	42	26	23	59	150.00
Combis	52	44	13	19	128.00
Autobuses	8	11	3	5	27.00
Camiones C2	14	3	7	5	29.00
Camiones C3	0	2	2	2	6.00
Flujo HMD	642.00	450.00	374.00	937.00	2403.00

Tabla 5.2.1.8 Distribución vehicular PM

	Posición de las vialidades				Total
	Norte	Sur	Este	Oeste	
Automóviles	525	349	402	738	2014
Taxis	42	26	29	52	148
Combis	52	42	16	16	126
Autobuses	18	23	14	15	70
Camiones C2	29	6	28	15	78
Camiones C3	0	4	6	8	18
Flujo HMD	666	449	495	844	2454

5.2.1.4 Estudio de velocidades

Una vez analizadas las velocidades de punto en cada vialidad, se calculó la velocidad media temporal AM y PM para cada vialidad. Así como, la velocidad media en la intersección (tabla 5.2.1.9).

Tabla 5.2.1.9 Características microscópicos para automóviles AM y PM

Vialidades	Velocidad	Velocidad media	Velocidad	Velocidad media
	media temporal AM (Km/hr)	en la intersección AM	media temporal PM (Km/hr)	en la intersección PM
División del Norte (E – O)	48.36		45.27	
División del Norte (O – E)	53.31		50.52	
Gpe. Victoria (N – S)	27.48	40.36 km/hr	28.31	38.05 km/hr
Gpe. Victoria (S – N)	24.35		20.83	

5.2.1.5 Cálculo de características vehiculares

Para determinar las características particulares a los vehículos, se usaron las características microscópicas de los vehículos que circulan por la UA. Algunas de estas características son: largo y ancho del vehículo, velocidad máxima y aceleración máxima en algunos casos, y una brecha aproximado de 1 a 1.5 metros.

Dichas características para automóviles, se observan en la tabla 5.2.1.10. Mientras que las de los otros 4 grupos (taxis, combis, camiones y autobuses) se muestra en el Anexo 4. En la tabla 5.2.1.11 y 5.2.1.12 observamos la velocidad media temporal para vehículos ligeros y pesados en cada vialidad, estos datos se utilizaron para darle una velocidad promedio deseada a los vehículos de cada vialidad como parte de sus características individuales.

Tabla 5.2.1.10 Características microscópicas para automóviles

Parámetro	Media	Desviación	Min	Max
Largo	4.46	0.789	3.5	5.817
Ancho	1.79	0.19	1.43	2.776
Aceleración máxima	11.258	0.347	11.79	10.9

Tabla 5.2.1.11 Velocidades media temporal y espacial AM en la UA

Vialidades	Velocidad media temporal (Km/hr)	Desviación estándar	Velocidad Min (Km/hr)	Velocidad Max (Km/hr)
División del Norte				
Este - Oeste				
Vehículos ligeros	48.36	6.98	10	100
Vehículos pesados	48.33	1.03	20	80
División del Norte				
Oeste - Este				
Vehículos ligeros	53.33	9.03	10	80
Vehículos pesados	52.81	5.94	20	80
Guadalupe Victoria				
Sur – Norte				
Vehículos ligeros	27.54	5.45	10	60
Vehículos pesados	25.33	4.22	10	50
Guadalupe Victoria				
Norte – Sur				

Vehículos ligeros	24.37	5.71	10	60
Vehículos pesados	23.67	3.46	10	40

Tabla 5.2.1.12 Velocidades media temporal y espacial PM en la UA

Vialidades	Velocidad media temporal (Km/hr)	Desviación estándar	Velocidad Min (Km/hr)	Velocidad Max (Km/hr)
División del Norte Este - Oeste				
Vehículos ligeros	44.42	6.82	10	100
Vehículos pesados	54.51	5.72	20	100
División del Norte Oeste - Este				
Vehículos ligeros	50.67	8.03	10	90
Vehículos pesados	47.37	7.05	20	80
Guadalupe Victoria Norte - Sur				
Vehículos ligeros	28.57	5.16	10	60
Vehículos pesados	24.78	4.28	10	50
Guadalupe Victoria Sur - Norte				
Vehículos ligeros	20.88	4.10	10	60
Vehículos pesados	20.16	3.75	10	40

5.2.2 Modelo estático

A continuación se muestra el ME, el cual se creó en AutoCAD 2013 con las condiciones de circulación y viales de la intersección (figura 5.2.2.1).

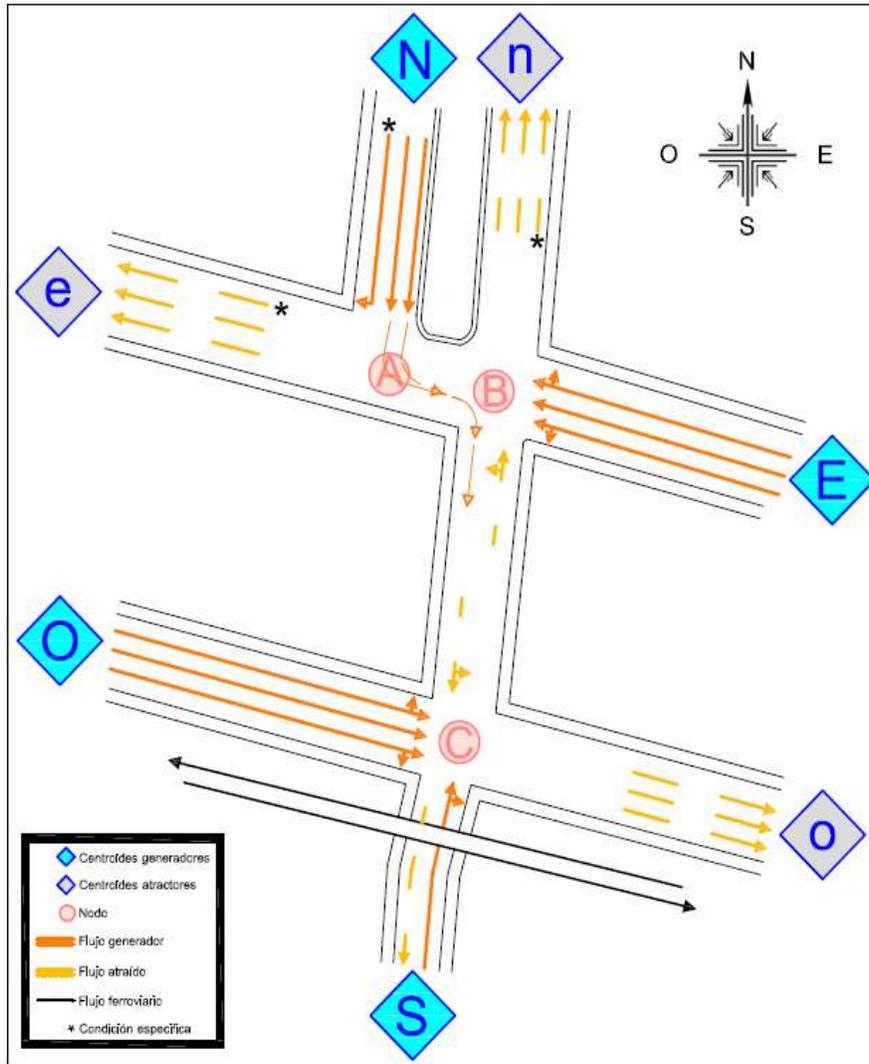


Figura 5.2.2.1 Modelo estático de la UA

En donde los rombos con mayúsculas y minúsculas especifican el origen y termino del flujo registrado respectivamente, siendo el rombo con la letra S el único que funge como generador y atractor. También se observan círculos con letras en mayúsculas, los cuales representan los nodos presentes en la UA. En estos puntos convergen los distintos flujos representados por flechas continuas y discontinuas. Las flechas representan el sentido de circulación, número de carriles y propiedades de circulación, del flujo generador y atraído.

5.2.3 Modelo dinámico del estado actual

El MDEA de la intersección se realizó en el software Aimsun 8.1 a través de la definición de estados de tránsito. A continuación se muestra una captura de pantalla del MDEA (figura 5.2.2.2). En el cual se representan las condiciones de circulación, y geometría de la intersección.

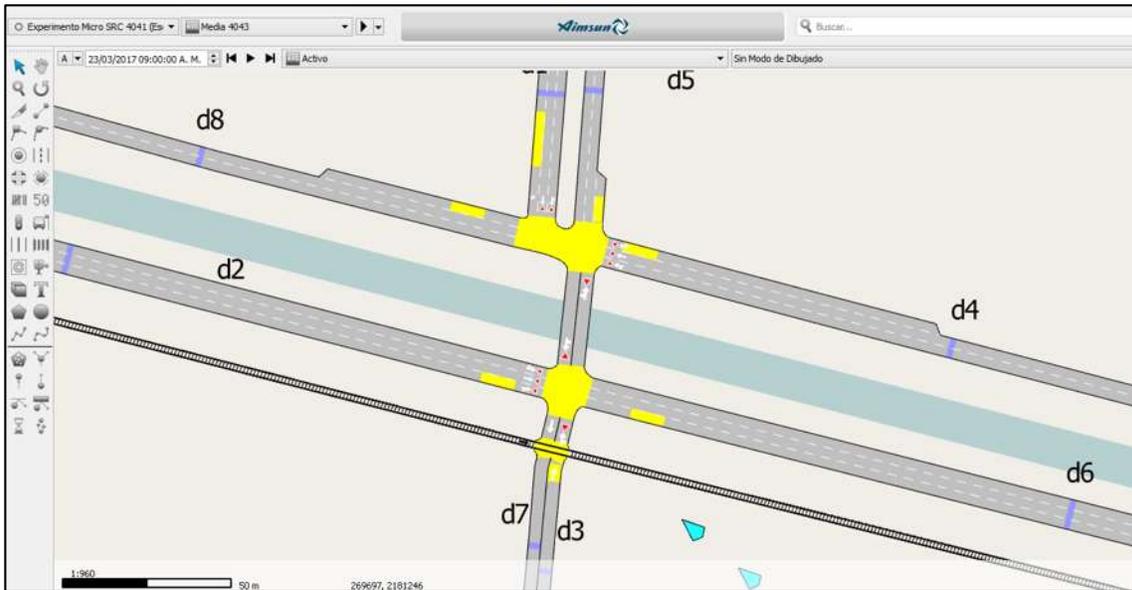


Figura 5.2.2.2 Modelo dinámico del estado actual de la UA, elaborado con Aimsun 8.1

5.3 Calibración y validación del MDEA

5.3.1 Calibración del MDEA

Con lo referente a la calibración del MDEA, se obtuvieron valores satisfactorios de acuerdo al capítulo 4 apartado 4.3.2. En la tabla 5.3.1 Y 5.3.2 se observan los valores GEH obtenidos en la replicación 1 AM Y 1 PM para flujo individual y total respectivamente.

Los Objetos (detectores) d1, d2, d3 y d4 hace referencia a los flujos de entrada de las vialidades; Guadalupe Victoria “Norte - Sur”, División del norte “Este – Oeste”, División del norte “Oeste – Este”, y Guadalupe Victoria “Sur – Norte”, respectivamente. Mientras que los objetos d5, d6, d7 y d8, hacen referencia a los flujos de salida de las vialidades; Guadalupe Victoria “Norte - Sur”, División del norte

“Este – Oeste”, División del norte “Oeste – Este”, y Guadalupe Victoria “Sur – Norte”, respectivamente.

Tabla 5.3.1 GEH para flujos individuales AM y total de la replicación 1 AM

Objetos	Aforo - Conjunto de Datos Reales 4093 - Todo	Aforo simulado – 1 AM - Todo	Diferencia Absoluta	Diferencia Relativa (%)	GEH
4094:					
d1	642	722	80	12.4611	3.06336
4095:					0.73079
d4	374	360	-14	-3.74332	4
4096:					
d2	937	903	-34	-3.6286	1.12095
4097:					0.90527
d3	450	431	-19	-4.22222	5
4247:					0.16064
d5	622	618	-4	-0.643087	4
4248:					
d8	546	476	-70	-12.8205	3.09662
4249:					
d6	831	764	-67	-8.06258	2.37252
4251:					
d7	572	542	-30	-5.24476	1.27114
Total	4974	4816	-158	-3.17651	2.25829

Tabla 5.3.2 GEH para flujos individuales PM y total de la replicación 1 PM

Objetos	Aforo - Conjunto de Datos Reales 4093 - Todo	Aforo simulado – 1 PM - Todo	Diferencia Absoluta	Diferencia Relativa (%)	GEH
4094:					
d1	666	667	-1	-0.1502	0.0387
4095:					
d4	495	461	34	6.8687	1.5551
4096:					
d2	844	804	40	4.7393	1.3935
4097:					
d3	449	410	39	8.6860	1.8818
4247:					
d5	701	635	66	9.4151	2.5536
4248:					
d8	552	513	39	7.0652	1.6901
4249:					
d6	712	666	46	6.4607	1.7525
4251:					
d7	451	510	-59	-13.0820	2.6916

Total	4870	4666	204	4.1889	1.5685
-------	------	------	-----	--------	--------

En la tabla 5.3.3 y 5.3.4 se observan las velocidades obtenidas en las replicaciones utilizadas para el proceso de calibración AM y PM respectivamente, donde el % de similitud cumple en ambos casos.

Tabla 5.3.3 Comparación de velocidades media temporal de campo AM vs simuladas AM para proceso de calibración

Vialidades	AM en campo (Km/hr)	Simulada de replicación 1 AM (Km/hr)	% de similitud
División del Norte Este - Oeste	48.36	42.4	87.68%
División del Norte Oeste - Este	53.31	43.6	81.79%
Guadalupe Victoria Norte - Sur	27.48	26.9	97.89%
Guadalupe Victoria Sur - Norte	24.35	24	98.56%
Total	38.38	34.23	89.19%

Tabla 5.3.4 Comparación de velocidades media temporal de campo PM vs simuladas PM para proceso de calibración

Vialidades	PM en campo (Km/hr)	Simulada de replicación 1 PM (Km/hr)	% de similitud
División del Norte Este - Oeste	45.27	40.3	89.02%
División del Norte Oeste - Este	50.52	43.4	85.91%
Guadalupe Victoria Norte - Sur	28.31	28.2	99.61%
Guadalupe Victoria Sur - Norte	20.83	20	96.02%

Total	36.23	32.98	91.03%
-------	-------	-------	--------

Aunado a esto, se cumplen las condiciones de comportamiento, presencia y ubicación de la problemática observadas en campo. Por lo que se concluye que el MDEA está calibrado.

5.3.2 Validación del MDEA

Para la validación del modelo se realizaron 5 replicaciones, tal como se menciona en el capítulo 4, apartado 4.3.3. A continuación se muestran los resultados, producto de la media calculada de las 5 replicaciones de cada HMD.

En la tabla 5.3.5 y 5.3.6 se muestran las comparaciones de los datos obtenidos en campo, (flujo y velocidad media temporal) contra los resultados de la media calculada. Cumpliendo con lo estipulado en el capítulo 4 apartado 4.3.3.

Tabla 5.3.5 Comparación de velocidades media temporal de campo AM vs media calculada AM para proceso de validación

Vialidades	AM en campo (Km/hr)	Producto de la media calculada AM (Km/hr)	% de similitud
División del Norte Este - Oeste	48.36	41.6	85.27 %
División del Norte Oeste - Este	53.31	43.5	84.92 %
Guadalupe Victoria Norte - Sur	27.48	25.7	90.78 %
Guadalupe Victoria Sur - Norte	24.35	22.5	95.05 %
Total	40.36	34.27	84.91%

Tabla 5.3.6 Comparación de velocidades media temporal de campo PM vs media calculada PM para proceso de validación

Vialidades	PM en campo (Km/hr)	Producto de la media calculada PM (Km/hr)	% de similitud
División del Norte Este - Oeste	45.27	38.6	85.27 %
División del Norte Oeste - Este	50.52	42.9	84.92 %
Guadalupe Victoria Norte - Sur	28.31	25.7	90.78 %
Guadalupe Victoria Sur - Norte	20.83	19.8	95.05 %
Total	38.05	33.32	87.57 %

Por otra parte, en la tabla 5.3.7 y 5.3.8 se muestra que los flujos individuales y totales, cumplen satisfactoriamente el proceso de validación.

Tabla 5.3.7 GEH para flujos individuales AM y total de la media calculada para las 5 replicaciones AM

Objeto	Aforo - Conjunto de Datos Reales 4093 AM - Todo	Aforo – Media 4043 AM - Todo	Diferencia Absoluta	Diferencia Relativa (%)	GEH
4094: d1	642	692.8	50.8	7.91277	1.96639
4095: d4	374	363	-11	-2.94118	0.573025
4096: d2	937	902.8	-34.2	-3.64995	1.1276
4097: d3	450	429.6	-20.4	-4.53333	0.972753
4247: d5	622	633.4	11.4	1.8328	0.455018
4248: d8	546	457.8	-88.2	-16.1538	3.93695
4249: d6	831	742.8	-88.2	-10.6137	3.14419
4251: d7	572	535.8	-36.2	-6.32867	1.53813
Total	4974	4758	-216	-4.34258	3.0965

Tabla 5.3.8 GEH para flujos individuales PM y total de la media calculada para las 5 replicaciones PM

Objeto	Aforo - Conjunto de Datos Reales 4093 PM - Todo	Aforo – Media 4043 PM - Todo	Diferencia Absoluta	Diferencia Relativa (%)	GEH
4094: d1	666	675.2	9.2	1.38138	0.3553
4095: d4	495	482.2	-12.8	-2.58586	0.5791
4096: d2	844	797.8	-46.2	-5.47393	1.6125
4097: d3	449	411.6	-37.4	-8.32962	1.8030
4247: d5	701	631.4	-69.6	-9.92867	2.6965
4248: d8	552	525.8	-26.2	-4.74638	1.1286
4249: d6	712	655.8	-56.2	-7.89326	2.1490
4251: d7	451	537.6	86.6	19.20177	3.8951
Total	4870	4717.4	-152.6	-3.13347	2.2040

5.3.3 MDEA con cruce ferroviario

Una vez validado el MDEA, se incorporó la circulación del tren Kansas City Southern de México, creando dos escenarios adicionales al modelo actual (escenario 1).

Para la definición de los tiempos de cruce del tren, se utilizó el análisis del aforo ferroviario representativo. Este análisis mostro el paso de dos trenes durante la HMD AM, y la ausencia de trenes en la HMD PM. Sin embargo se incorporó el paso del tren a semejanza de la HMD AM con fines experimentales.

En el modelo adicional (escenario 2), circula un tren con una duración de 2 minutos y 20 segundos, a 4 minutos con 40 segundos después de iniciada la simulación. Mientras que en el modelo adicional 2 (escenario 3) se mantiene la circulación del tren del escenario 2, y se agrega un tren que circula con una duración de 1 minuto y 8 segundos, después 38 minutos y 20 segundos después de iniciada la simulación. Siendo así, para ambas HMD.

5.4 Alternativas de solución

5.4.1 Zonas y puntos de conflicto

Aunado a los puntos señalados en la adquisición de datos, y análisis del modelo actual referente a la problemática en la UA. Se presenta a continuación un esquema de los puntos de conflicto presentes en la UA

(figura 5.4.1). Esta UA presenta 24 puntos de conflicto en total, de los cuales 9 son de incorporación, 8 de desincorporación, y 7 de cruce. Siendo estos últimos los más críticos en cuestiones de riesgos de accidentes.

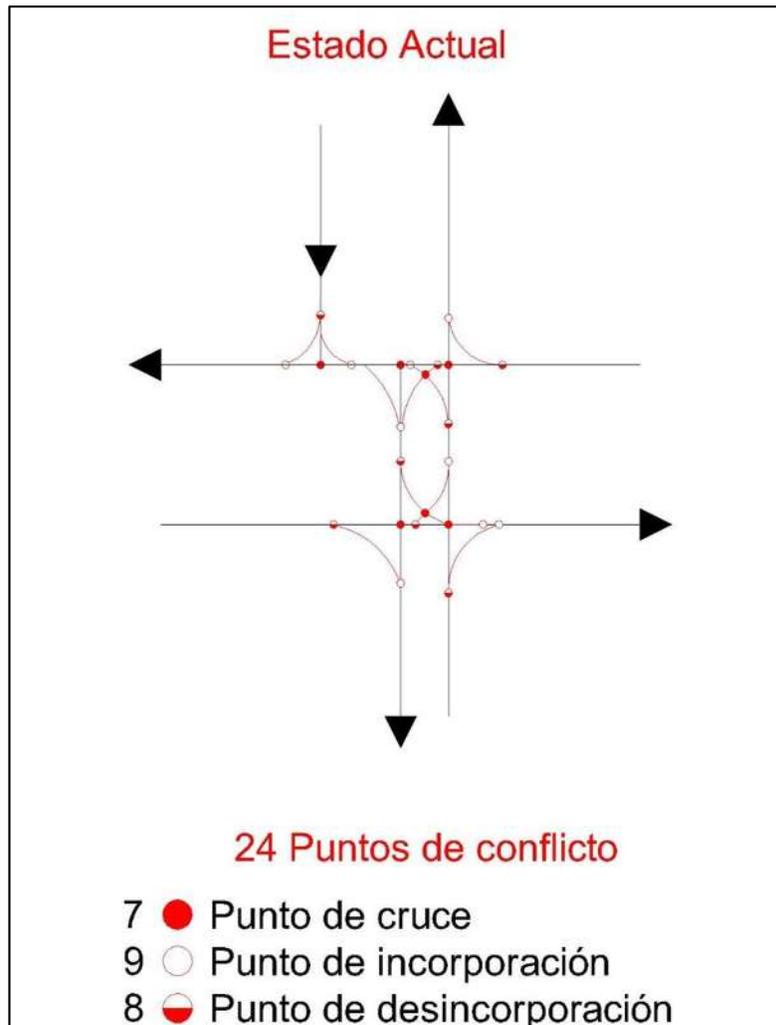


Figura 5.4.1 Puntos de conflicto en estado actual de la UA

En cuanto a las zonas de conflicto, se ubicaron para ambas HMD las vialidades Guadalupe Victoria “Norte- Sur” y Guadalupe Victoria “Sur - Norte” como aquellas que presentan mayor densidad vehicula. Aunado a esto se suman las problemáticas ocasionadas por las condiciones de circulación, viales, y de control en la UA.

En la figura 5.4.1.1 se ilustran en color rojo las problemáticas de estacionamiento en zonas prohibidas mediante líneas, circulación a contra flujo y cuello de botella mediante un círculo, y el cruce ferroviario mediante un ovalo.

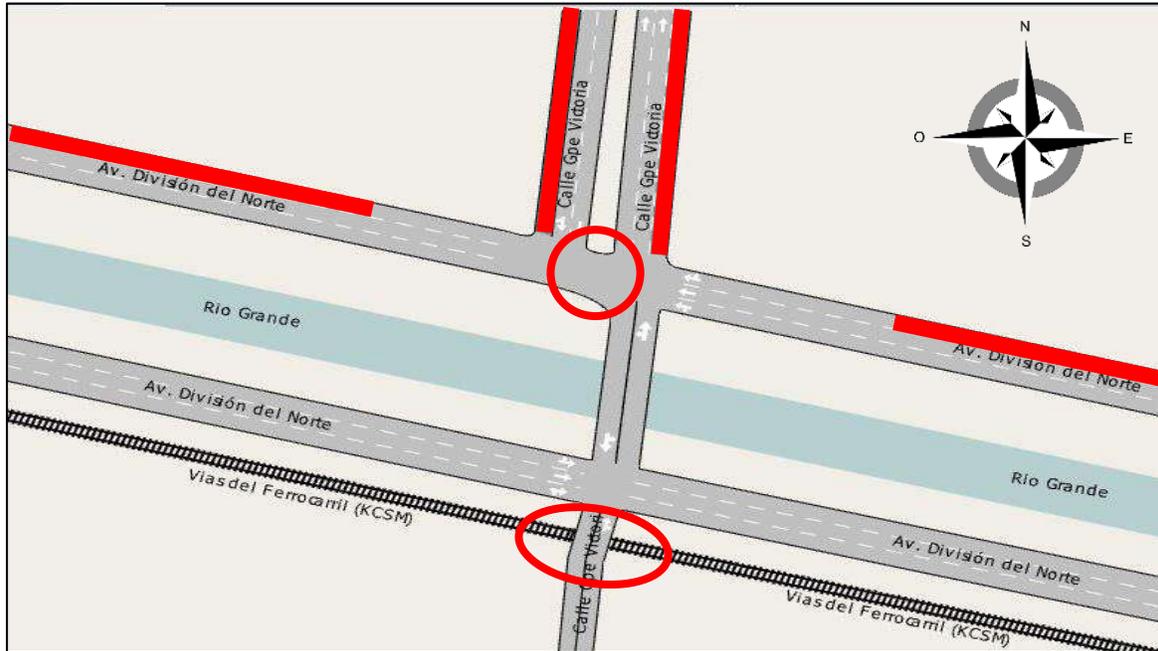


Figura 5.4.1.1 Zonas de conflicto en el estado actual de la UA

5.4.2 Propuestas de alternativas de solución

Para las propuestas de solución se trabajó con modificaciones en las condiciones de circulación, haciendo un uso racional del espacio en la UA. Cabe mencionar que cada propuesta de solución se simuló y analizó, para cada uno de los siguientes escenarios en ambas HMD:

- Estado actual sin tren (escenario 1)
- Estado actual con 1 tren (escenario 2)
- Estado actual con 2 trenes (escenario 3)

La primera propuesta de solución aplica la restricción de la circulación de norte a sur en la avenida Guadalupe Victoria. Esto evita la circulación en contra flujo, y el efecto de cuello de botella. Además se re-direcciona el flujo vehicular hacia la siguiente intersección a 420 metros en línea recta. Esta propuesta generó 21 puntos de conflicto (figura 5.4.2).

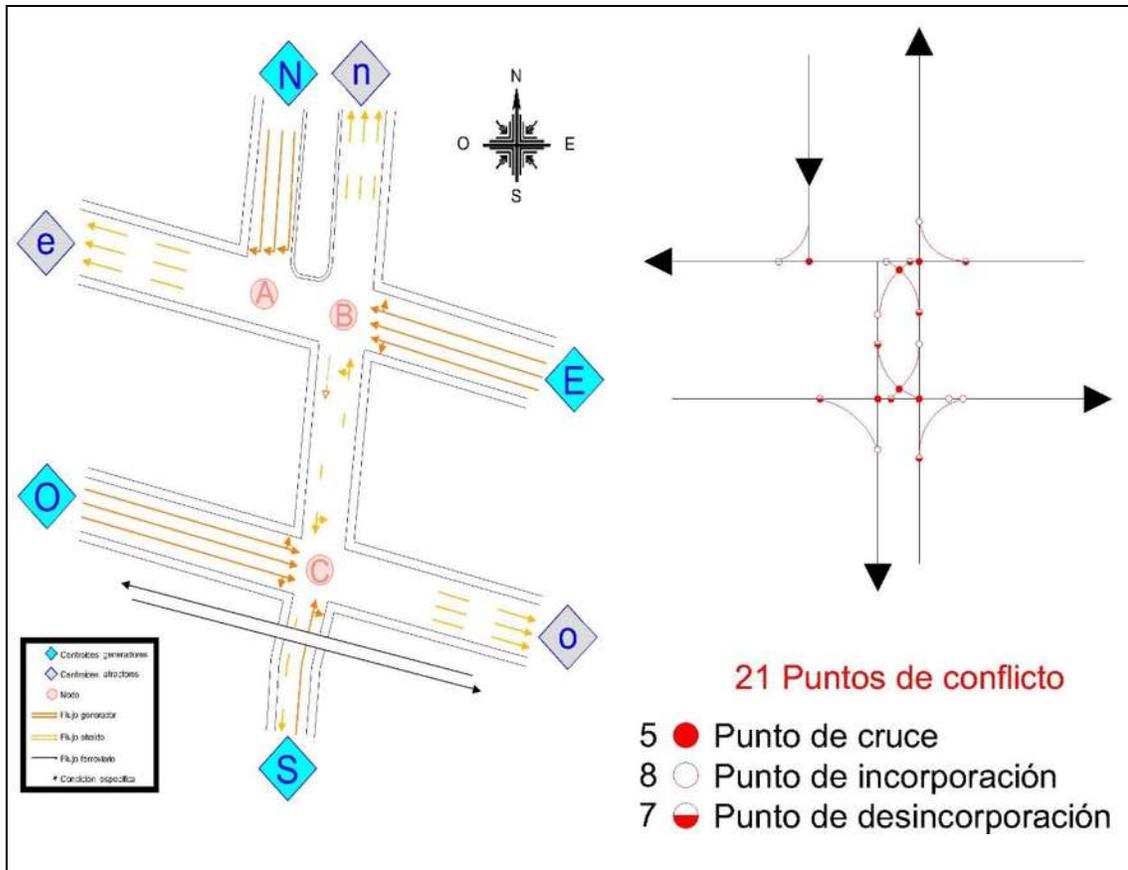


Figura 5.4.2 MECP 1 y puntos de conflicto de propuesta 1

La segunda propuesta mantiene los cambios de la propuesta 1, e incluye la restricción de los giros izquierdos en las avenidas División del norte. Por lo que el flujo se re-direcciona a las próximas intersecciones. Estas se encuentran a 420 y 370 metros en línea recta. Esa modificación convierte el puente en una vialidad de un solo sentido. Esta propuesta genera un total de 12 puntos de conflicto (figura 5.4.3).

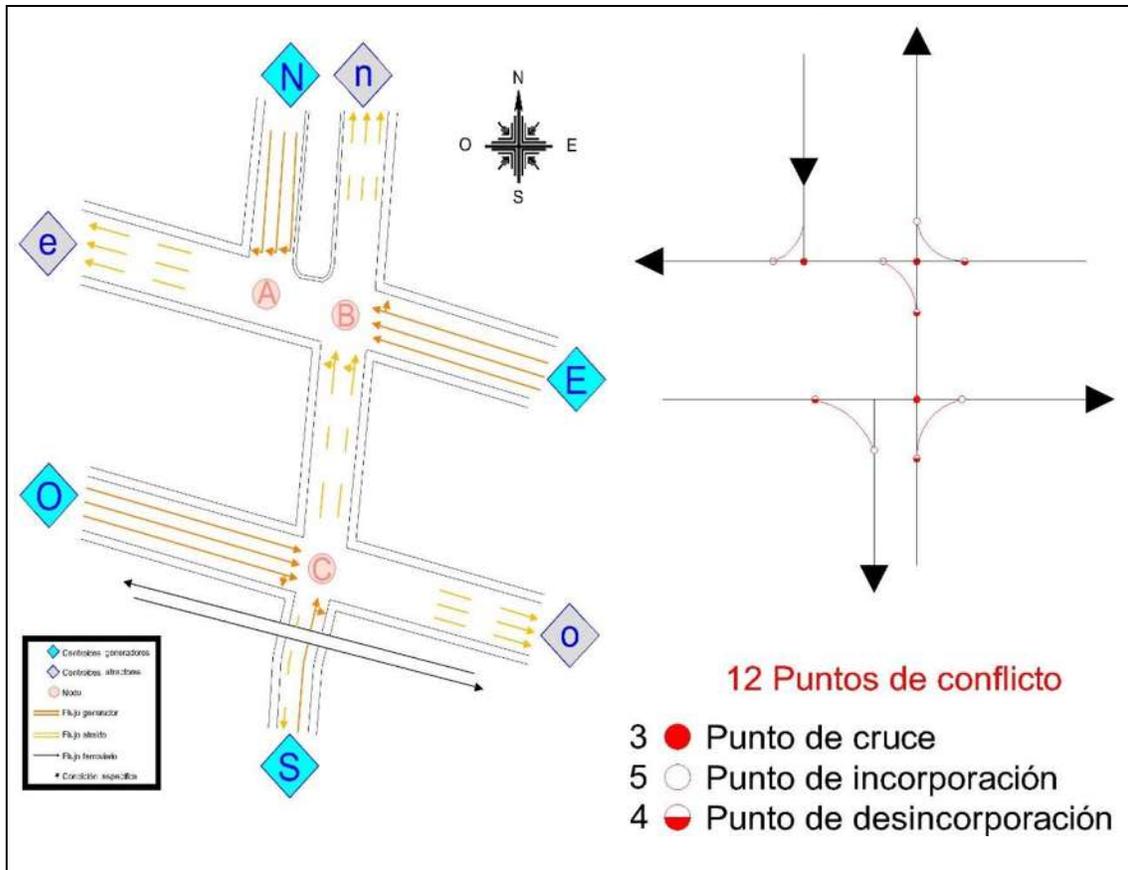


Figura 5.4.3 MECP 2 y puntos de conflicto de propuesta 2

Por último, la tercera propuesta mantiene los cambios de la propuesta 2 e incluye la restricción de los giros izquierdos en el puente sobre la avenida Guadalupe Victoria. Por lo que, se re-direcciona a 50 metros en línea recta el flujo afectado. En consecuencia, se obtiene una intersección sin vueltas izquierdas, con un total de 10 puntos de conflicto (figura 5.4.4).

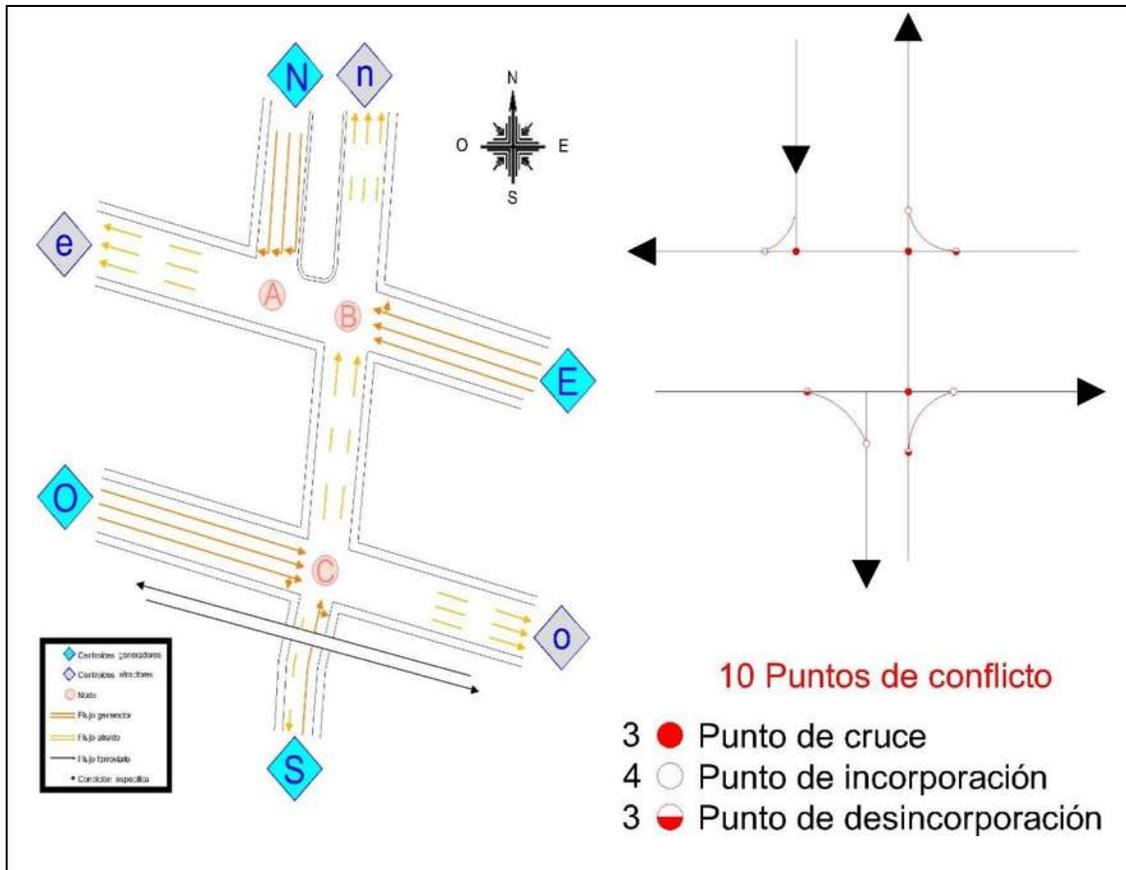


Figura 5.4.4 MECP 3 y puntos de conflicto de propuesta 3

5.5 Selección de propuesta de solución

5.5.1 Análisis de propuestas de solución

A continuación se muestran los resultados comparativos entre los MDEA y los MDCP. En este análisis se evalúan los parámetros de eficiencia mencionados en el capítulo 4 apartado 4.5, a manera de un estudio de antes y después. Es importante mencionar que los análisis se efectuaron con el software Aimsun 8.1.

En el escenario 1 (sin tren) se muestran las comparativas del estado actual en ambas HMD con cada una de las tres propuestas (tabla 5.5.1 y tabla 5.5.2). En ambos casos las propuestas mejoran algunos parámetros, pero también afectan otros. Por ejemplo, la distancia media de viaje y el tiempo medio de viaje. Debemos considerar que se está suponiendo el peor de los casos en las tres propuestas, ya que los vehículos redireccionados retornan y se incorporan de nuevo a la UA, lo cual es poco probable. Sin embargo se considera que si para tal condición funciona,

dicha propuesta funcionara mejor cuando estos vehículos redireccionados elijan sus nuevas posibles rutas.

Tabla 5.5.1 Comparación de resultados del estado actual contra propuestas, en escenario 1 AM

Escenario 1 AM				
Parámetros de eficiencia	Estado Actual	Con Propuesta 1	Con Propuesta 2	Con Propuesta 3
Cola media (veh)	3.47	0.93	0.92	1.00
Flujo (veh/hr)	2388.2	2894.2	3093	3112.4
Densidad (veh/km)	6.44	8.90	9.51	9.45
Distancia media de Viaje (km)	0.534	0.608	0.628	0.632
Número total de paradas	4706.5	1600.81	1458.67	1499.64
Tiempo medio de demora (seg)	13.55	7.97	8.00	7.96
Tiempo medio de parada (seg)	9.99	1.86	1.80	1.95
Tiempo medio de viaje (seg)	69.67	75.13	74.11	74.43
Velocidad media (km/hr)	34.27	33.52	33.9	33.96

Tabla 5.5.2 Comparación de resultados del estado actual contra propuestas, en escenario 1 PM

Escenario 1 PM				
Parámetros de eficiencia	Estado Actual	Con Propuesta 1	Con Propuesta 2	Con Propuesta 3
Cola media (veh)	4.09	1.17	0.94	1.14
Flujo (veh/hr)	2366.8	2897	3084.8	3122.8
Densidad (veh/km)	6.7	9.18	9.71	9.75

Distancia media de viaje (km)	0.533	0.614	0.628	0.632
Número total de paradas	4971.08	1899.27	1519.53	1510.08
Tiempo medio de demora (seg)	15.64	8.55	8.14	8.15
Tiempo medio de parada (seg)	12.06	2.57	1.94	2.14
Tiempo medio de viaje (seg)	73.6	74.97	76.52	76.85
Velocidad media (km/hr)	33.32	32.9	33.31	32.93

Los resultados de los casos en los escenarios 2 y 3 (ver Anexo 5) para ambas HMD son similares en cuanto a las condiciones observadas y mencionadas para el escenario 1. No obstante, en los escenarios 2 y 3, las mejoras son mucho más notorias, por lo que las propuestas se comportan de manera positiva en cada uno de ellos.

En este sentido, se determina que, de acuerdo a los parámetros de eficiencia empleados en esta investigación, la propuesta 2 se desempeña de mejor manera en todos los escenarios, mientras que en general la propuestas 3 es la menos favorable.

Es importante mencionar que los parámetros de densidad y flujo son tomados de manera positiva en las tres propuestas a pesar de que aumentan. Dado que, a pesar de ello, la cola media, el numero de paradas totales, el tiempo de demora y el tiempo de parada mejoran, y la velocidad media se mantiene muy cercana a la obtenida en campo.

5.5.2 Selección de la propuesta

Tomando en cuenta el análisis de las propuestas, el análisis de los MDEACP y el conocimiento de la UA, la propuesta 2 resulta la alternativa de solución para esta

UA. Aunado a la propuesta 2, se recomienda implementar las observaciones realizadas para el señalamiento vertical en las fichas del anexo 2.

5.5.2.1 Propuesta 2 en HMD AM

En la UA la propuesta 2 reduce en un 50% el número de puntos de conflicto a solo 12. Pasando de 8 a 4 puntos de desincorporación, de 9 a 5 de incorporación, y de 7 a 3 de cruce, siendo estos últimos los puntos con mayor riesgo a generar accidentes viales.

Tabla 5.5.3 Comparación de resultados del estado actual contra propuesta 2, en escenario 1 AM

Parámetros de eficiencia	Escenario 1 sin propuesta (Estado Actual)	Escenario 1 con propuesta 2
Cola Media (veh)	3.47	0.92
Flujo (veh/hr)	2388.2	3093
Densidad (veh/km)	6.44	9.51
Distancia media de viaje (km)	0.534	0.628
Número total de paradas	4706.5	1458.67
Tiempo medio de demora (seg)	13.55	8.00
Tiempo medio de parada (seg)	9.99	1.80
Tiempo medio de viaje (seg)	69.67	74.11
Velocidad media (km/hr)	34.27	33.9

En la tabla 5.5.3 se muestra la comparación de los resultados del escenario 1 AM con y sin propuesta. En el escenario 1 AM se disminuyó la cola media 2.55 vehículos (73.49%), incrementando el flujo y densidad 704.8 veh/hr (29.51%) y 3.07 veh/km (47.67%), respectivamente.

Para la demora media, el tiempo se redujo 5.55 segundos (40.96%), el número total de paradas se redujo un 69.01%, y el tiempo medio de parada disminuyó 8.19 segundos (81.98%).

Con respecto a la distancia y tiempo medio de viaje, hubo un incremento de 95 metros por vehículo (-17.59%) y 4.44 segundos (-6.37%), respectivamente. No obstante, la velocidad media se redujo 0.37 km/hr (-1.08%), manteniéndose muy cercana a la velocidad media obtenida en campo.

Tabla 5.5.4 Comparación de resultados del estado actual contra propuesta 2, en escenario 2 AM

Parámetros de eficiencia	Escenario 2 sin propuesta (Estado Actual)	Escenario 2 con propuesta 2
Cola Media (veh)	8.75	1.72
Flujo (veh/hr)	2387.8	3094.8
Densidad (veh/km)	7.36	9.66
Distancia media de viaje (km)	0.535	0.628
Número total de paradas	6024.49	1586.76
Tiempo medio de demora (seg)	30.22	10.03
Tiempo medio de parada (seg)	26.72	3.74
Tiempo medio de viaje (seg)	86.57	76.22
Velocidad media (km/hr)	29.41	32.67

En la tabla 5.5.4 se observan los resultados de la aplicación de la propuesta 2 en el escenario 2 AM, contra el estado actual del escenario 2 AM. Para el escenario 2 AM la cola media disminuyó 7.03 vehículos (80.34%), el flujo incrementó 707 veh/hr (29.61%), y la densidad aumento 2.3 veh/km (31.25%).

La demora media se redujo 20.19 segundos (66.81%), el número total de paradas paso de 6024.49 a 1586.76, y una reducción en el tiempo medio de parada de 22.98 segundos (86%).

Con respecto a la distancia media de viaje, esta incrementó 93 metros por vehículo (-17.42%), el tiempo medio de viaje se redujo 10.35 segundos (11.96%), y la velocidad media aumento 3.26 km/hr (11.08%).

Tabla 5.5.5 Comparación de resultados del estado actual contra propuesta 2, en escenario 3 AM

Parámetros de eficiencia	Escenario 3 sin propuesta (Estado Actual)	Escenario 3 con propuesta 2
Cola Media (veh)	11.25	2.08
Flujo (veh/hr)	2387.8	3095.6
Densidad (veh/km)	7.79	9.72
Distancia media de viaje (km)	0.535	0.628
Número total de paradas	6630.88	1646.43
Tiempo medio de demora (seg)	38.05	10.80
Tiempo medio de parada (seg)	34.66	4.49
Tiempo medio de viaje (seg)	94.42	76.96
Velocidad media (km/hr)	29.41	32.65

Por último, en la tabla 5.5.5 se comparan los resultados del escenario 3 en su estado actual, contra el escenario 3 con la aplicación de la propuesta 2. El escenario 3 AM se mejoró la cola media 9.17 vehículos (81.51%), el flujo incrementó 707.8 veh/hr (29.64%), y la densidad aumentó 1.93 veh/km (24.78%).

En cuanto a la demora media esta se redujo 27.25 segundos (71.26%) y el número total de paradas disminuyó 4984.45 paradas (71.62%), así mismo, el tiempo medio de parada decreció 30.17 segundos (87.05%).

La distancia media de viaje incrementó 93 metros por vehículo (-17.43%), mientras que el tiempo medio de viaje se redujo 17.46 segundos (18.49%), y la velocidad media aumento 3.24 km/hr (11.02%).

A forma de resumen en la tabla 5.5.6 se muestra el comportamiento de la propuesta 2 en los 3 escenarios AM.

Tabla 5.5.6 Resultados de la aplicación de la propuesta 2 en los escenarios de la HMD AM

Parámetros de eficiencia	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Cola media (veh)	0.92	1.72	2.08
Flujo (veh/hr)	3093	3094.8	3095.6
Densidad (veh/km)	9.51	9.66	9.72
Distancia media de Viaje (km)	0.628	0.628	0.628
Número total de paradas	1458.67	1586.76	1646.43
Tiempo medio de demora (seg)	8.00	10.03	10.80
Tiempo medio de parada (seg)	1.80	3.74	4.49
Tiempo medio de viaje (seg)	74.11	76.22	76.96
Velocidad media (km/hr)	33.90	32.67	32.65

5.5.2.2 Propuesta 2 en HMD PM

A continuación, se muestran los resultados y mejoras obtenidos en cada uno de los escenarios PM analizados.

Tabla 5.5.7 Comparación de resultados del estado actual contra propuesta 2, en escenario 1 PM

Parámetros de eficiencia	Escenario 1 sin propuesta (Estado Actual)	Escenario 1 con propuesta 2
Cola Media (veh)	4.09	0.94
Flujo (veh/hr)	2366.8	3084.8
Densidad (veh/km)	6.7	9.71
Distancia media de viaje (km)	0.533	0.628
Número total de paradas	4971.08	1519.53
Tiempo medio de demora (seg)	15.64	8.14
Tiempo medio de parada (seg)	12.06	1.94
Tiempo medio de viaje (seg)	73.6	76.52
Velocidad media (km/hr)	33.32	33.31

En la tabla 5.5.7 se muestra la comparativa de los resultados del estado actual y de la aplicación de la propuesta 2, en el escenario 1 PM. Con la propuesta 2 se mejoró la cola media 3.15 vehículos (77.02%), de igual manera se obtuvo un incremento en el flujo y densidad de 718 veh/hr (30.34%), y 3.01 veh/hr (44.93%), respectivamente.

En la demora media el tiempo se redujo 7.5 segundos (47.95%), el número total de paradas pasó de 4971.08 a 1519.53, y el tiempo medio de parada disminuyó 10.12 segundos (83.91%).

Asimismo, la distancia media de viaje incremento 95 metros por vehículo (-17.77%), y el tiempo medio de viaje aumentó 2.92 segundos (-6.37%), no obstante, velocidad media se redujo 0.01 km/hr (-0.03%), manteniéndose prácticamente igual a la obtenida en campo.

Tabla 5.5.8 Comparación de resultados del estado actual contra propuesta 2, en escenario 2 PM

Parámetros de eficiencia	Escenario 2 sin propuesta (Estado Actual)	Escenario 2 con propuesta 2
Cola Media (veh)	12.66	1.93
Flujo (veh/hr)	2366.6	3083.6
Densidad (veh/km)	8.14	9.90
Distancia media de viaje (km)	0.533	0.628
Número total de paradas	6757.05	1634.96
Tiempo medio de demora (seg)	41.52	10.29
Tiempo medio de parada (seg)	38.69	3.99
Tiempo medio de viaje (seg)	99.8	78.69
Velocidad media (km/hr)	27.58	31.9

La tabla 5.5.8 muestra los resultados del escenario 2 PM en su estado actual y con la aplicación de la propuesta 2. Para el escenario 2 PM la cola media disminuyó 10.73 vehículos (84.76%), el flujo incrementó 717 veh/hr (30.3%), y la densidad aumentó 1.76 veh/km (21.62%).

La demora media se redujo 31.23 segundos (75.22%), el número total de paradas paso de 6757.05 a 1634.96, y el tiempo medio de parada disminuyó 34.7 segundos (89.69%).

Con respecto a la distancia media de viaje, esta incrementó 95 metros por vehículo (-17.82%), el tiempo medio de viaje se redujo 21.11 segundos (21.15%), y la velocidad media aumento 4.32 km/hr (15.66%).

Tabla 5.5.9 Comparación de resultados del estado actual contra propuesta 2, en escenario 3 PM

Parámetros de eficiencia	Escenario 3 sin propuesta (Estado Actual)	Escenario 3 con propuesta 2
Cola Media (veh)	14.15	2.12
Flujo (veh/hr)	2366.6	3084.4
Densidad (veh/km)	8.41	9.93
Distancia media de viaje (km)	0.534	0.629
Número total de paradas	7229.73	1681.24
Tiempo medio de demora (seg)	46.13	10.81
Tiempo medio de parada (seg)	43.35	4.49
Tiempo medio de viaje (seg)	104.47	79.23
Velocidad media (km/hr)	27.58	32.01

Finalmente, en la tabla 5.5.9 observamos la comparación de los resultados del estado actual y la aplicación de la propuesta 2 en el escenario 3 PM. El escenario 3 se mejoró la cola media 12.03 vehículos (85.02%), el flujo incrementó 717.8 veh/hr (30.33%), y la densidad aumentó 1.52 veh/km (18.07%).

Con respecto a la demora media, esta se redujo 35.3 segundos (76.57%), el número total de paradas disminuyó un 76.75%, y el tiempo medio de parada bajó 38.86 segundos (89.64%).

La distancia media de viaje incrementó 95 metros por vehículo (-17.79%), el tiempo medio de viaje se redujo 25.24 segundos (24.16%), y la velocidad media aumento 4.43 km/hr (16.06%).

En la tabla 5.5.10 se muestra a manera de resumen los resultados de la propuesta 2, en los 3 escenarios PM analizados y señalados anteriormente.

Tabla 5.5.10 Resultados de la aplicación de la propuesta 2 en los escenarios de la HMD PM

Parámetros de eficiencia	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Cola media (veh)	0.94	1.93	2.12
Flujo (veh/hr)	3084.8	3083.6	3084.4
Densidad (veh/km)	9.71	9.90	9.93
Distancia media de Viaje (km)	0.628	0.628	0.629
Número total de paradas	1519.53	1634.96	1681.24
Tiempo medio de demora (seg)	8.14	10.29	10.81
Tiempo medio de parada (seg)	1.94	3.99	4.49
Tiempo medio de viaje (seg)	76.52	78.69	79.23
Velocidad media (km/hr)	33.31	31.90	32.01

Capítulo 6. Conclusiones

En este trabajo se presentó una propuesta de ordenamiento vial mediante la organización de las condiciones de circulación. Esta propuesta se elaboró a través de la aplicación de una metodología propuesta para intersecciones urbanas a nivel no señalizadas con la aplicación de simulación como herramienta de análisis. Dicha propuesta logra mejorar el desempeño de la intersección por medio de la restricción de vueltas izquierdas en las vialidades principales y cambios de dirección en la circulación de la intersección.

La aplicación de la propuesta se realizó a través de modelación y simulación, a un caso de estudio (intersección) que presenta problemáticas de movilidad en la ciudad de Morelia, Michoacán.

En el proceso de modelación de la intersección, se realizaron dos modelos (estático y dinámico). En el modelo estático se representaron de manera gráfica las siguientes características de la intersección: nodos, flujos, trazo, condiciones de circulación, y centroides generadores y atractores. Por otra parte, el modelo dinámico, consistió en crear un modelo de simulación mediante la representación de las características obtenida del análisis de los datos de campo. Utilizando características del tipo, geométricas, flujos vehiculares, composición vehicular, movimientos direccionales, entre otros. Este modelo se desarrolló con el software Aimsun 8.1, el cual, también se utilizó para calibrar, validar y analizar el modelo.

La calibración y validación del modelo se realizó aplicando criterios internacionales de la FHWA y AUSTROADS. Una vez validado el modelo, se analizaron los parámetros de eficiencia, y se identificaron los causantes de las problemáticas observadas en campo y simulación. De estos problemas sobresalen los movimientos direccionales con poca demanda, pero con un alto impacto negativo en la circulación de la intersección, condiciones de circulación que obstaculizan y contribuyen a la generación de congestionamiento, y ausencia de dispositivos de control del tránsito. Una vez analizados los parámetros y los causantes de la problemática, estos se consideraron para la elaboración de tres propuestas de solución.

Las propuestas de solución se realizaron mediante modificaciones en la organización de las condiciones de circulación. Posteriormente cada propuesta fue analizada para cada uno de los escenarios existentes, y comparada con los resultados del análisis del estado actual. Los resultados de los análisis indicaron que la alternativa de solución “propuesta 2” logra mejorar parámetros de eficiencia en los 3 escenarios simulados en ambas HMD.

En el caso del escenario 1 AM, la propuesta 2 disminuye la cola media 77.02%, la demora media 47.95%, el tiempo medio de parada 83.91% y el número total de paradas 69.43%. No obstante, se presentó un incremento en la distancia media de viaje de 95 metros, así como un incremento del 6.37% en el tiempo medio de viaje. Por otro lado, la velocidad media de viaje sólo disminuyó 0.01 kilómetros por hora. Con respecto al escenario 2 AM, la cola media disminuyó 84.76%, la demora media 75.22%, el número de paradas 75.80%, el tiempo medio de parada 89.69%, y el tiempo medio de viaje 21.15%. Asimismo, la velocidad media de viaje aumentó 15.66% y la distancia media de viaje mantuvo el incremento de 95 metros.

Por último en el escenario 3 AM, la cola media disminuyó 85.02%, la demora media 76.57%, el número de paradas 76.75%, el tiempo medio de parada 89.64%, y el tiempo medio de viaje en un 24.16%. Además, la velocidad media de viaje aumentó 16.06%, y la distancia media de viaje mantuvo el incremento de 95 metros por vehículo.

6.1 Trabajo futuro

En esta investigación se elaboró una propuesta de ordenamiento vial para una intersección urbana no señalizada a nivel, la cual fue el producto de la aplicación de la metodología propuesta. No obstante, dicha propuesta se aplicó y analizó a través de un modelo de simulación, y no en el escenario real. Un posible trabajo futuro es aplicar la propuesta de solución en la unidad de análisis real, permitiendo así, simular y analizar las condiciones de circulación y parámetros de eficiencia resultantes. De esta manera la propuesta podría ser mejorada para incrementar el desempeño de la intersección.

Por otro lado, el considerar la implementación de la metodología propuesta en otras unidades de análisis, podría representar una extensión de este trabajo, permitiendo generar aportaciones para la mejora de la misma.

Bibliografía

- Austrroads. (2006). *Austrroads Research Report The use and application of microsimulation traffic models*. Sidney: Austrroads Incorporated.
- Box, C. P., & Oppenlander, C. J. (1985). *Manual de estudios de ingeniería de Tránsito. 4a. Edición*. D.F.: Representaciones y Servicios de Ingeniería.
- Bull, A. (2003). *Congestión de Tránsito. El problema y cómo enfrentarlo*. Santiago de Chile.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2007). *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y aplicaciones 8a. Edición*. México: Alfaomega.
- Dios, O. J. (2002). Is it possible to reduce vehicular congestion? *ARQ*, 7-9.
- Fernández, R. (2008). *Elementos de la teoría del tráfico vehicular*. Santiago de Chile.
- FHWA. (2004). *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Software*. Washington, D.C.: Federal Highway Administration.
- Franco, L. (2008). Aplicación de Simulación en el Control de Tráfico, una Propuesta para Ciudad del Este. *Informática*, 75-82.
- Jun-bo, Z., Jie, Y., & Hui-ling, Z. (2010). Optimization Method of the Cycle and Critical Phase on Signal Control Intersection. *International Conference on Optoelectronics and Image Processing* (págs. 76-79). Haiko: IEEE.
- Kerner, B. S. (2009). *Introduction to modern traffic flow theory and control: the long road to three-phase traffic theory*. Heidelberg: Springer.
- Lu, B., Xu, R., Hou, L., & Zhang, Z. (2011). Signal Control Optimization for Urban Traffic against. *Chinese Control and Decision Conference* (págs. 1910-1914). Mianyang: IEEE.
- Medina, S. (2012). *La importancia de reducción del uso del automóvil en México. Tendencias de motorización, del uso del automóvil y de sus impactos*. Distrito Federal: Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo México.
- Muñoz, P. (2014). *Metodología para evaluar los sobrecostos por congestión vehicular en la malla vial arterial principal de la ciudad de Bogotá D.C. (tesis de maestría)* Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

- Nan, M., Chun-fu, S., & Zhao, Y. (2010). Study on coordination control with bandwidth optimization. *International Conference on Optoelectronics and Image Processing* (págs. 425-430). Haiko: IEEE.
- ONU-Hábitat. (2015). *Reporte Nacional de Movilidad Urbana en México 2014-2015*. México D.F.
- Pérez, F., Bautista, A., Salazar, M., & Macias, A. (2014). Análisis del flujo de tráfico vehicular a través de un modelo macroscópico. *DYNA*, 36-40.
- Petrovska, N., & Stevanovic, A. (2015). Traffic Congestion Analysis Visualisation Tool. *18th International Conference on Intelligent Transportation Systems* (págs. 1489-1494). Las Palmas: IEEE.
- Robles, D., Ñañez, P., & Quijano, N. (2009). Control y simulación de tráfico urbano en Colombia: Estado del arte. *Revista de ingeniería*, 59-69.
- Rodríguez, N., Osiris, J., & Rodríguez, A. (2015). Evaluación del congestionamiento vehicular en intersecciones viales. *Culcyt*.
- Romero, W., Hernández, J., Ibarra, J. C., & Ordóñez, S. (2009). Plataforma de simulación y visualización para el apoyo al análisis y toma de decisiones en proyectos de movilidad urbana. 52-58.
- SEDESOL, CONAPO, & INEGI. (2012). *Delimitación de zonas metropolitanas de México 2010*. México.
- Silos, E. (2012). *Modelado microscópico de la dinámica del tránsito vehicular en una calle multicarril utilizando autómatas celulares (Tesis de maestría)*. México D.F.: Instituto Politécnico Naciola.
- Tarko, A., & Pérez, R. (2005). Variability of a peak hour factor at intersections. *84th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, (págs. 1-20). Washington D.C.
- Thompson, I., & Bull, A. (2002). La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. *Revista de la CEPAL* 76, 109-121.
- Transportation Research Board. (1987). *Manual de capacidad de carreteras. (Highway Capacity Manual)*. Madrid.
- Transportation Research Board. (2000). *Highway Capacity Manual*. Washington, D.C.
- Yang, Y., Lu, Y., Jia, L., Qin, Y., & Dong, H. (2012). Optimized simulation on the intersection traffic control and organization based on. *24th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, (págs. 3787-3792). Taiyuan, China.

Zhiyuan, S., Huapu, L., & Jing, W. (2013). Modeling and Simulation of Intersection Signal Control for Transit Priority. *25th Chinese Control and Decision Conference* (págs. 4496-4501). Guiyang: IEEE.

Anexo 1

A continuación se muestran las fichas de las vialidades generadoras del flujo vehicular, así como también del puente que forma parte de la intersección.



Ficha para datos físicos de entrada



**Maestría en Infraestructura
del Transporte**
en la Rama de las Vías Terrestres



Fecha: 16 de Febrero de 2017

Nombre: Av. División del Norte

Sentido: Este – Oeste

Número de carriles: 3

Ancho prom de calzada: 8.80 mts

Existencia de banqueta: Si

Hora: 13:27 horas

Ancho prom de carril: 2.93 mis

Ancho prom de banqueta derecha: 2.80 mis

Ancho prom de banqueta izquierda: 0.60 mis

Observaciones:

El señalamiento horizontal es casi imperceptible, por lo que la delimitación de los carriles no se define de la mejor manera, la banqueta de 2.80 mts se amplía al aproximarse a las casas.

No se cuenta con una parada establecida para el transporte público.

No se cuenta con señalamiento vertical que determine la jerarquización del cruce.

Las condiciones del pavimento sobre todo en el carril izquierdo pegado al río, presentan numerosos baches, por lo que la circulación de los vehículos se ve afectada por estos, además de que existe la presencia de automóviles estacionados en distintos puntos a lo largo del carril derecho.

Ficha para datos físicos de entrada de la vialidad División del Norte, sentido Este -Oeste



Ficha para datos físicos de entrada



Fecha: 16 de Febrero de 2017
Nombre: Av. Guadalupe Victoria
Sentido: Sur – Norte
Número de carriles: 2
Ancho prom de calzada: 8.00 mts
Existencia de banquetas: Si

Hora: 13:31 horas

Ancho prom de carril: 4 mts

Ancho prom de banqueta derecha: 0.97 mts

Ancho prom de banqueta izquierda: 0.95 mts

Observaciones:

El señalamiento horizontal es imperceptible, por lo que la delimitación de los carriles no se percibe
No se cuenta con señalamiento vertical que determine la jerarquización del cruce

Ficha para datos físicos de entrada del puente sobre la vialidad Guadalupe Victoria, sentido Sur -Norte



Ficha para datos físicos de entrada



Fecha: 04 de Marzo de 2017
Hora: 08:53 horas
Nombre: División del Norte
Sentido: Oeste – Este
Número de carriles: 3
Ancho prom de calzada: 8.91 mis
Existencia de banqueta: No
Ancho prom de carril: 2.97 mis
Ancho prom de banqueta derecha: -
Ancho prom de banqueta izquierda: -

Observaciones:

El señalamiento horizontal es casi imperceptible, por lo que la delimitación de los carriles no se define de la mejor manera.
No se cuenta con una parada establecida para el transporte público.
No se cuenta con señalamiento vertical que determine la jerarquización del cruce.
Las condiciones del pavimento sobre todo en el carril izquierdo pegado al río, presentan numerosos baches y deformaciones, por lo que la circulación de los vehículos se ve afectada por estos.

Ficha para datos físicos de entrada de la vialidad División del Norte, sentido Oeste -Este

Ficha para datos físicos de entrada



Fecha: 04 de Marzo de 2017 **Hora:** 09:10 horas
Nombre: Av. Guadalupe Victoria
Sentido: Sur – Norte
Número de carriles: 2
Ancho prom de calzada: 8.00 mts **Ancho prom de carril:** 4.00 mts
Existencia de banqueta: Si **Ancho prom de banqueta derecha:** 1.51 mts
Ancho prom de banqueta izquierda: 1.45 mts

Observaciones:

El señalamiento horizontal es imperceptible, por lo que la delimitación de los carriles no se define de la mejor manera.
 No se cuenta con una parada establecida para el transporte público.
 No se cuenta con señalamiento vertical que determine la jerarquización del cruce
 Se suelen estacionar automóviles en el carril con sentido Sur, de forma que afecta la circulación.

Ficha para datos físicos de entrada de la vialidad Guadalupe Victoria, sentido Sur -Norte

Ficha para datos físicos de entrada



Fecha: 04 de Marzo de 2017 **Hora:** 10:20 horas
Nombre: Av. Guadalupe Victoria
Sentido: Norte - Sur
Número de carriles: 3
Ancho prom de calzada: 8.00 mts **Ancho prom de carril:** 2.75mts
Existencia de banqueta: SI **Ancho prom de banqueta derecha:** 1.98 mts
Ancho prom de banqueta izq (camellón): 4.90 mts

Observaciones:

No se cuenta con una parada establecida para el transporte público, a pesar de contar con señalamiento para este.
 Los vehículos que circulan por esta vialidad realizan un incorporación al puente mediante un movimiento en "S" de manera que recorren un pequeño trayecto en sentido contrario con la vialidad perpendicular a ella (División del norte, sentido Este - Oeste).
 El carril derecho es menos ancho que los otros dos, haciendo este en promedio 2.5 mts, mismo que funciona como estacionamiento a diferentes horas del día, a pesar de contar con una señalamiento SR-5 en el lugar.

Ficha para datos físicos de entrada de la vialidad Guadalupe Victoria, sentido Norte - Sur

Anexo 2

A continuación se muestran las fichas elaboradas para cada uno de los señalamientos existentes en la UA.

	Maestría en Infraestructura del Transporte en la Rama de las Vías Terrestres		
	FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE SEÑALAMIENTO VERTICAL EXISTENTE		
CALLE: <u>GUADALUPE VICTORIA</u>			
SENTIDO: <u>SUR</u>			
TRAMO: <u>AV. DIVISION DEL NORTE (SENTIDO OESTE) Y CALLE PASEO DEL PINO</u>			
ORIGEN: <u>KM 0+000</u>			
Dirección: <u>NORTE-SUR</u>			
			
UBICACIÓN:	<u>0+005</u>	<u>KM</u>	
DESCRIPCIÓN:	<u>SEÑAL RESTRICTIVA</u>		CLAVE <u>SR - 6</u>
TIPO DE SEÑAL:	<u>BAJA</u>		
ESTADO DE CONSERVACIÓN:	BUENO <input type="checkbox"/>	REGULAR <input type="checkbox"/>	MALO <input checked="" type="checkbox"/>
RECOMENDACIÓN:	NO MOVER <input type="checkbox"/>	REUBICAR <input type="checkbox"/>	REEMPLAZAR <input type="checkbox"/> RETIRAR <input checked="" type="checkbox"/>
OBSERVACIONES:	ESTE SEÑALAMIENTO ES POCO RESPETADO, ADEMAS DE ESTAR FUERA DE NORMA		

Formato de la ficha para levantamiento de señalamiento vertical existente Numero 1



FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE SEÑALAMIENTO VERTICAL EXISTENTE

CALLE: GUADALUPE VICTORIA
 SENTIDO: NORTE
 TRAMO: AV. DIVISION DEL NORTE (SENTIDO ESTE) Y CALLE ESTRONCIO
 ORIGEN: KM 0+000
 Dirección: SUR - NORTE



UBICACIÓN: 0+000 KM
 DESCRIPCIÓN: SEÑAL INFORMATIVA DE RECOMENDACION CLAVE SIR - CRUCE DE FERROCARRIL
 TIPO DE SEÑAL: BAJA
 ESTADO DE CONSERVACIÓN: BUENO REGULAR MALO
 RECOMENDACION: NO MOVER REUBICAR REMPLAZAR RETIRAR

OBSERVACIONES:

EL SEÑALAMIENTO NO TRABAJA ADECUADAMENTE, YA QUE EL DISPOSITIVO DE SEGURIDAD TIPO VALISA SE ENCUENTRA ATADO, POR LO QUE ESTE NO DESEIENDE CUANDO EL TREN SE APROXIMA

Formato de la ficha para levantamiento de señalamiento vertical existente Numero 2



FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE SEÑALAMIENTO VERTICAL EXISTENTE

CALLE: GUADALUPE VICTORIA
SENTIDO: SUR
TRAMO: AV. DIVISION DEL NORTE (SENTIDO ESTE) Y CALLE ESTRONCIO
ORIGEN: KM 0+000
Dirección NORTE - SUR



UBICACIÓN: 0+060 KM CLAVE SIR - CRUCE DE FERROCARRIL
DESCRIPCIÓN: SEÑAL INFORMATIVA DE RECOMENDACION
TIPO DE SEÑAL: BAJA
ESTADO DE CONSERVACIÓN: BUENO REGULAR MALO
RECOMENDACION: NO MOVER REUBICAR REMPLAZAR RETIRAR
OBSERVACIONES:

EL SEÑALAMIENTO NO TRABAJA ADECUADAMENTE, YA QUE EL DISPOSITIVO DE SEGURIDAD TIPO VALISA SE ENCUENTRA ATADO, POR LO QUE ESTE NO DESIENDE CUANDO EL TREN SE APROXIMA

Formato de la ficha para levantamiento de señalamiento vertical existente Numero 3



FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE SEÑALAMIENTO VERTICAL EXISTENTE

CALLE: GUADALUPE VICTORIA
 SENTIDO: SUR
 TRAMO: AV. DIVISION DEL NORTE (SENTIDO OESTE) Y CALLE PASEO DEL PINO
 ORIGEN: KM 0+000
 Dirección NORTE - SUR



UBICACIÓN: 0+048 KM
 DESCRIPCIÓN: SEÑAL INFORMATIVA DE RECOMENDACION CLAVE SIR - NO OBSTRUYA EL CRUCERO
 TIPO DE SEÑAL: BAJA
 ESTADO DE CONSERVACIÓN: BUENO REGULAR MALO
 RECOMENDACION: NO MOVER REUBICAR REMPLAZAR RETIRAR

OBSERVACIONES:
 SE ENCUENTRA FUERA DE NORMA Y EN MAL ESTADO, ADEMÁS DE NO SER RESPETADO LOS DIAS LUNES, CUANDO EL TIANGUIS SE ESTABLECE

Formato de la ficha para levantamiento de señalamiento vertical existente Numero 4



FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE SEÑALAMIENTO VERTICAL EXISTENTE

CALLE: GUADALUPE VICTORIA
SENTIDO: SUR
AV. DIVISION DEL NORTE (SENTIDO OESTE) Y CALLE PASEO DEL
TRAMO: NOGAL
ORIGEN: KM 0+000
Dirección: NORTE - SUR



UBICACIÓN: 0+105 KM CLAVE SIR - DISMINUYA SU VELOCIDAD
DESCRIPCIÓN: SEÑAL INFORMATIVA DE RECOMENDACION
TIPO DE SEÑAL: BAJA
ESTADO DE CONSERVACIÓN: BUENO REGULAR MALO
RECOMENDACIÓN: NO MOVER REUBICAR REMPLAZAR RETIRAR
OBSERVACIONES:

SE ENCUENTRA FUERA DE NORMA Y LA VEGETACIÓN DEL LUGAR OBSTRUYE SU VISUALIZACIÓN

Formato de la ficha para levantamiento de señalamiento vertical existente Numero 5



FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE SEÑALAMIENTO VERTICAL EXISTENTE

CALLE: GUADALUPE VICTORIA
SENTIDO: SUR
TRAMO: AV. DIVISION DEL NORTE (SENTIDO OESTE) Y CALLE PASEO DEL PINO
ORIGEN: KM 0+000
Dirección NORTE - SUR



UBICACIÓN: 0+028 KM
DESCRIPCIÓN: SEÑAL INFORMATIVA DE SERVICIO CLAVE SIS - 19
TIPO DE SEÑAL: BAJA
ESTADO DE CONSERVACIÓN: BUENO REGULAR MALO
RECOMENDACIÓN: NO MOVER REUBICAR REPLAZAR RETIRAR
OBSERVACIONES:

SE ENCUENTRA FUERA DE NORMA, NO SE RESPETA YA QUE EL TRANSPORTE PUBLICO ATIENDE EN CUALQUIER PUNTO DE LA INTERSECCION, ADEMAS DE SER ESTA LA UNICA EN SU TIPO

Formato de la ficha para levantamiento de señalamiento vertical existente Numero 6



FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE SEÑALAMIENTO VERTICAL EXISTENTE

CALLE: GUADALUPE VICTORIA
SENTIDO: SUR
TRAMO: AV. DIVISION DEL NORTE (SENTIDO OESTE) Y CALLE PASEO DEL PINO
ORIGEN: KM 0+000
Dirección NORTE - SUR



UBICACIÓN: 0+049 KM
DESCRIPCIÓN: SEÑAL PREVENTIVA CLAVE SP - 37
TIPO DE SEÑAL: BAJA
ESTADO DE CONSERVACIÓN: BUENO REGULAR MALO
RECOMENDACIÓN: NO MOVER REUBICAR REPLAZAR RETIRAR

OBSERVACIONES:

CONFUNDE A LOS USUARIOS, YA QUE LOS SEMAFOROS QUE SE ENCUENTRAN EN LA INTERSECCIÓN NO FUNCIONAN DESDE HACE AÑOS

Formato de la ficha para levantamiento de señalamiento vertical existente Numero 7



FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE SEÑALAMIENTO VERTICAL EXISTENTE

CALLE: GUADALUPE VICTORIA
SENTIDO: SUR
TRAMO: AV. DIVISION DEL NORTE (SENTIDO OESTE) Y CALLE PASEO DEL PINO
ORIGEN: KM 0+000
Dirección NORTE - SUR



UBICACIÓN: 0+039 KM
DESCRIPCIÓN: SEÑAL RESTRICTIVA CLAVE SR - 22
TIPO DE SEÑAL: BAJA
ESTADO DE CONSERVACIÓN: BUENO REGULAR MALO
RECOMENDACIÓN: NO MOVER REUBICAR REMPLAZAR RETIRAR

OBSERVACIONES:

SE ENCUENTRA FUERA DE NORMA, NO EXISTE COMPLEMENTO DE PINTURA EN LA GUARNICIÓN

Formato de la ficha para levantamiento de señalamiento vertical existente Numero 8



FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE SEÑALAMIENTO VERTICAL EXISTENTE

CALLE: GUADALUPE VICTORIA
SENTIDO: NORTE
TRAMO: AV. DIVISION DEL NORTE (SENTIDO OESTE) Y CALLE PASEO DEL PINO
ORIGEN: KM 0+000
Dirección SUR - NORTE



UBICACIÓN: 0+063 KM
DESCRIPCIÓN: SEÑAL RESTRICTIVA CLAVE SR - 22
TIPO DE SEÑAL: BAJA
ESTADO DE CONSERVACIÓN: BUENO REGULAR MALO
RECOMENDACIÓN: NO MOVER REUBICAR REMPLAZAR RETIRAR

OBSERVACIONES:

SE ENCUENTRA FUERA DE NORMA, NO EXISTE COMPLEMENTO DE PINTURA EN LA GUARNICIÓN

Formato de la ficha para levantamiento de señalamiento vertical existente Numero 9



FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE SEÑALAMIENTO VERTICAL EXISTENTE

CALLE: DIVISION DEL NORTE
SENTIDO: NORTE
TRAMO: CALLE GUILLERMO PRIETO Y CALLE GUADALUPE VICTORIA
ORIGEN: KM 0+000
Dirección ESTE -OESTE



UBICACIÓN: 0+362 KM
DESCRIPCIÓN: SEÑAL RESTRICTIVA CLAVE SR-22
TIPO DE SEÑAL: BAJA
ESTADO DE CONSERVACIÓN: BUENO REGULAR MALO
RECOMENDACIÓN: NO MOVER REUBICAR REMPLAZAR RETIRAR

OBSERVACIONES:

SE ENCUENTRA FUERA DE NORMA, NO EXISTE COMPLEMENTO DE PINTURA EN LA GUARNICIÓN

Formato de la ficha para levantamiento de señalamiento vertical existente Numero 10



FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE SEÑALAMIENTO VERTICAL EXISTENTE

CALLE: DIVISION DEL NORTE
SENTIDO: OESTE
TRAMO: CALLE GUILLERMO PRIETO Y CALLE GUADALUPE VICTORIA
ORIGEN: KM 0+000
Dirección ESTE -OESTE



UBICACIÓN: 0+034 KM
DESCRIPCIÓN: SEÑAL RESTRICTIVA CLAVE SR - 9
TIPO DE SEÑAL: BAJA
ESTADO DE CONSERVACIÓN: BUENO REGULAR MALO
RECOMENDACIÓN: NO MOVER REUBICAR REMPLAZAR RETIRAR

OBSERVACIONES:

SEÑALAMIENTO FUERA DE NORMA Y EN MUJ MAL ESTADO, LIMITE 50 KM/HR

Formato de la ficha para levantamiento de señalamiento vertical existente Numero 11



FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE SEÑALAMIENTO VERTICAL EXISTENTE

CALLE: DIVISION DEL NORTE
SENTIDO: ESTE
TRAMO: CALLE GUILLERMO PRIETO Y CALLE GUADALUPE VICTORIA
ORIGEN: KM 0+000
Dirección: OESTE - ESTE



UBICACIÓN: 0+260 KM
DESCRIPCIÓN: SEÑAL RESTRICTIVA CLAVE SR - 9
TIPO DE SEÑAL: BAJA
ESTADO DE CONSERVACIÓN: BUENO REGULAR MALO
RECOMENDACIÓN: NO MOVER REUBICAR REMPLAZAR RETIRAR

OBSERVACIONES:
SE ENCUENTRA FUERA DE NORMA
LIMITE 50 KM/HR

Formato de la ficha para levantamiento de señalamiento vertical existente Numero 12



FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE SEÑALAMIENTO VERTICAL EXISTENTE

CALLE: GUADALUPE VICTORIA
SENTIDO: SUR
TRAMO: AV. DIVISION DEL NORTE (SENTIDO ESTE) Y CALLE ESTRONCIO
ORIGEN: KM 0+000
Dirección NORTE - SUR



UBICACIÓN: 0+109 KM
DESCRIPCIÓN: SEÑAL RESTRICTIVA CLAVE SR - 9
TIPO DE SEÑAL: BAJA
ESTADO DE CONSERVACIÓN: BUENO REGULAR MALO
RECOMENDACIÓN: NO MOVER REUBICAR REMPLAZAR RETIRAR

OBSERVACIONES:

SE ENCUENTRA FUERA DE NORMA
LIMITE 40 KM/HR

Formato de la ficha para levantamiento de señalamiento vertical existente Numero 13



FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE SEÑALAMIENTO VERTICAL EXISTENTE

CALLE: GUADALUPE VICTORIA
 SENTIDO: SUR
 TRAMO: AV. DIVISION DEL NORTE (SENTIDO ESTE) Y CALLE ESTRONCIO
 ORIGEN: KM 0+000
 Dirección: NORTE - SUR



UBICACIÓN: 0+060 KM CLAVE: SIR - CUIDADO CON EL TREN
 DESCRIPCIÓN: SEÑAL RESTRICTIVA
 TIPO DE SEÑAL: BAJA
 ESTADO DE CONSERVACIÓN: BUENO REGULAR MALO
 RECOMENDACIÓN: NO MOVER REUBICAR REMPLAZAR RETIRAR

OBSERVACIONES:

SE ENCUETNRA EN MUY MAL ESTADO

Formato de la ficha para levantamiento de señalamiento vertical existente Numero 14



FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE SEÑALAMIENTO VERTICAL EXISTENTE

CALLE: GUADALUPE VICTORIA
SENTIDO: NORTE
TRAMO: AV. DIVISION DEL NORTE (SENTIDO ESTE) Y CALLE ESTRONCIO
ORIGEN: KM 0+000
Dirección SUR - NORTE



UBICACIÓN: 0+044 KM
DESCRIPCIÓN: SEÑAL INFORMATIVA DE DESTINO CLAVE SID - 13
TIPO DE SEÑAL: ELEVADA
ESTADO DE CONSERVACIÓN: BUENO REGULAR MALO
RECOMENDACION: NO MOVER REUBICAR REMPLAZAR RETIRAR
OBSERVACIONES:

DESTINO PRADOS VERDES
SEÑALAMIENTO EN BANDERA, POSTE DAÑADO, SUSTITUIR POR SID BAJA Y RETIRAR SEMÁFORO

Formato de la ficha para levantamiento de señalamiento vertical existente Numero 15



FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE SEÑALAMIENTO VERTICAL EXISTENTE

CALLE: DIVISION DEL NORTE
 SENTIDO: ESTE
 TRAMO: CALLE GUILLERMO PRIETO Y CALLE GUADALUPE VICTORIA
 ORIGEN: KM 0+000
 Dirección: OESTE - ESTE



UBICACIÓN: 0+050 KM
 DESCRIPCIÓN: SEÑAL INFORMATIVA DE DESTINO CLAVE SID - 13
 TIPO DE SEÑAL: ELEVADA
 ESTADO DE CONSERVACIÓN: BUENO REGULAR MALO
 RECOMENDACIÓN: NO MOVER REUBICAR REMPLAZAR RETIRAR

OBSERVACIONES:

DESTINO AV. TECNOLÓGICO, PRADOS VERDES, ZONA CENTRO, AV. GUADALUPE VICTORIA
 SEÑALAMIENTO EN BANDERA, POSTE DAÑADO, RETIRAR SEMÁFORO

Formato de la ficha para levantamiento de señalamiento vertical existente Numero 16



FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE SEÑALAMIENTO VERTICAL EXISTENTE

CALLE: DIVISION DEL NORTE
SENTIDO: OESTE
TRAMO: CALLE GUILLERMO PRIETO Y CALLE GUADALUPE VICTORIA
ORIGEN: KM 0+000
Dirección ESTE -OESTE



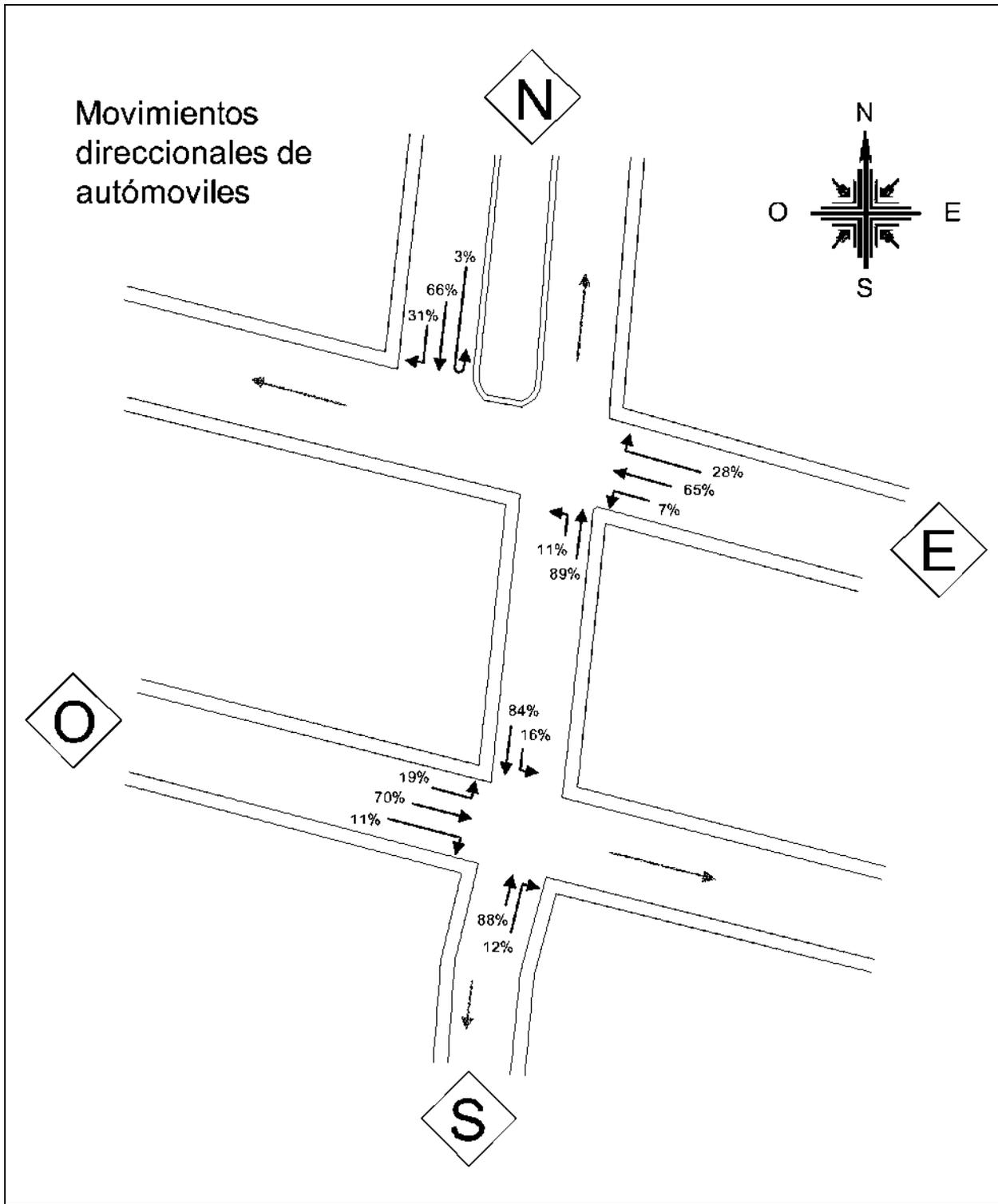
UBICACIÓN: 0+050 KM
DESCRIPCIÓN: SEÑAL INFORMATIVA DE DESTINO CLAVE SID - 13
TIPO DE SEÑAL: BAJA
ESTADO DE CONSERVACIÓN: BUENO REGULAR MALO
RECOMENDACION: NO MOVER REUBICAR REMPLAZAR RETIRAR
OBSERVACIONES:

DESTINO AV. MADERO PTE., PRADOS VERDES, ZONA CENTRO, AV. GUADALUPE VICTORIA
SEÑALAMIENTO EN BANDERA, POSTE MUY DAÑADO, RETIRAR SEMÁFORO

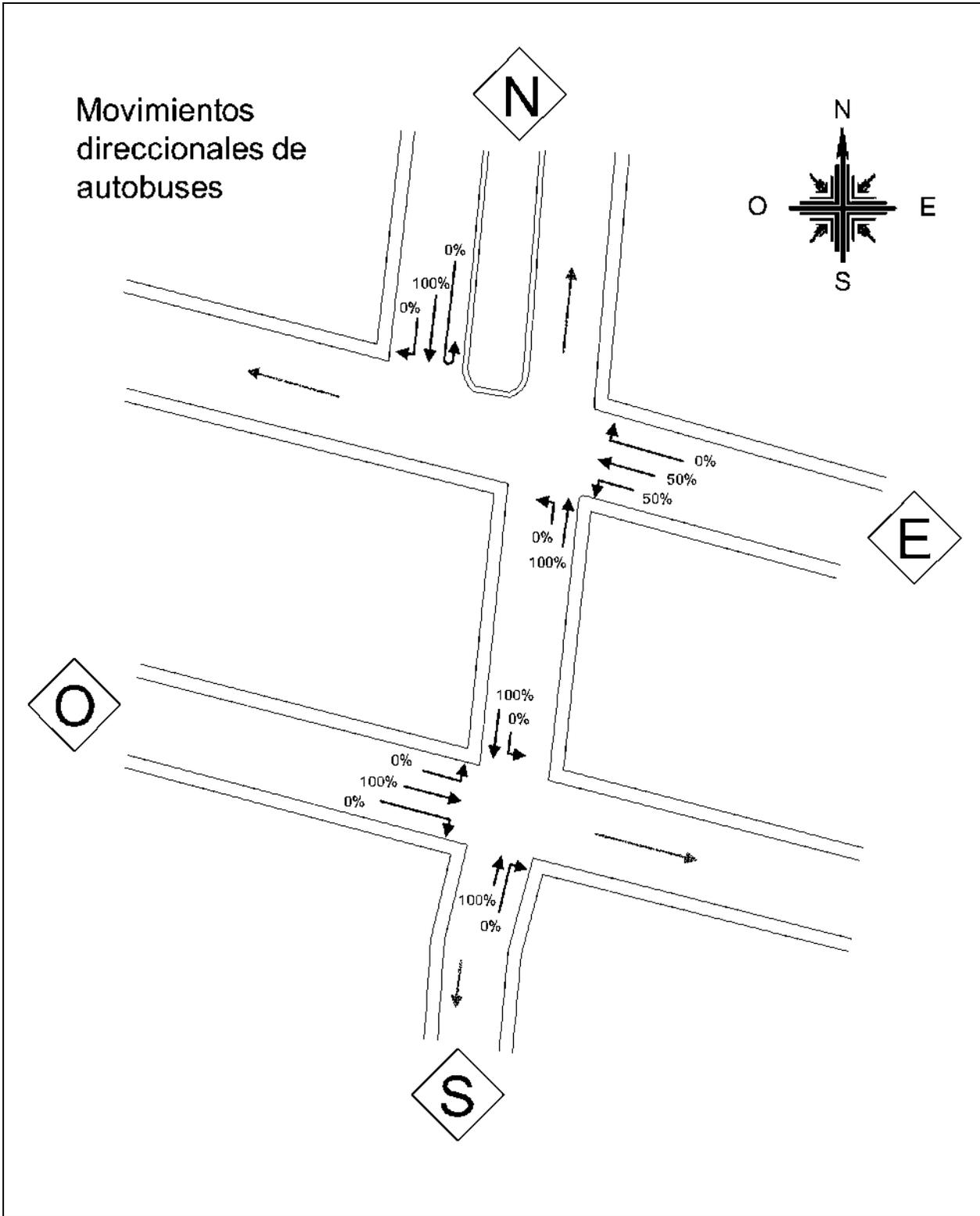
Formato de la ficha para levantamiento de señalamiento vertical existente Numero 17

Anexo 3

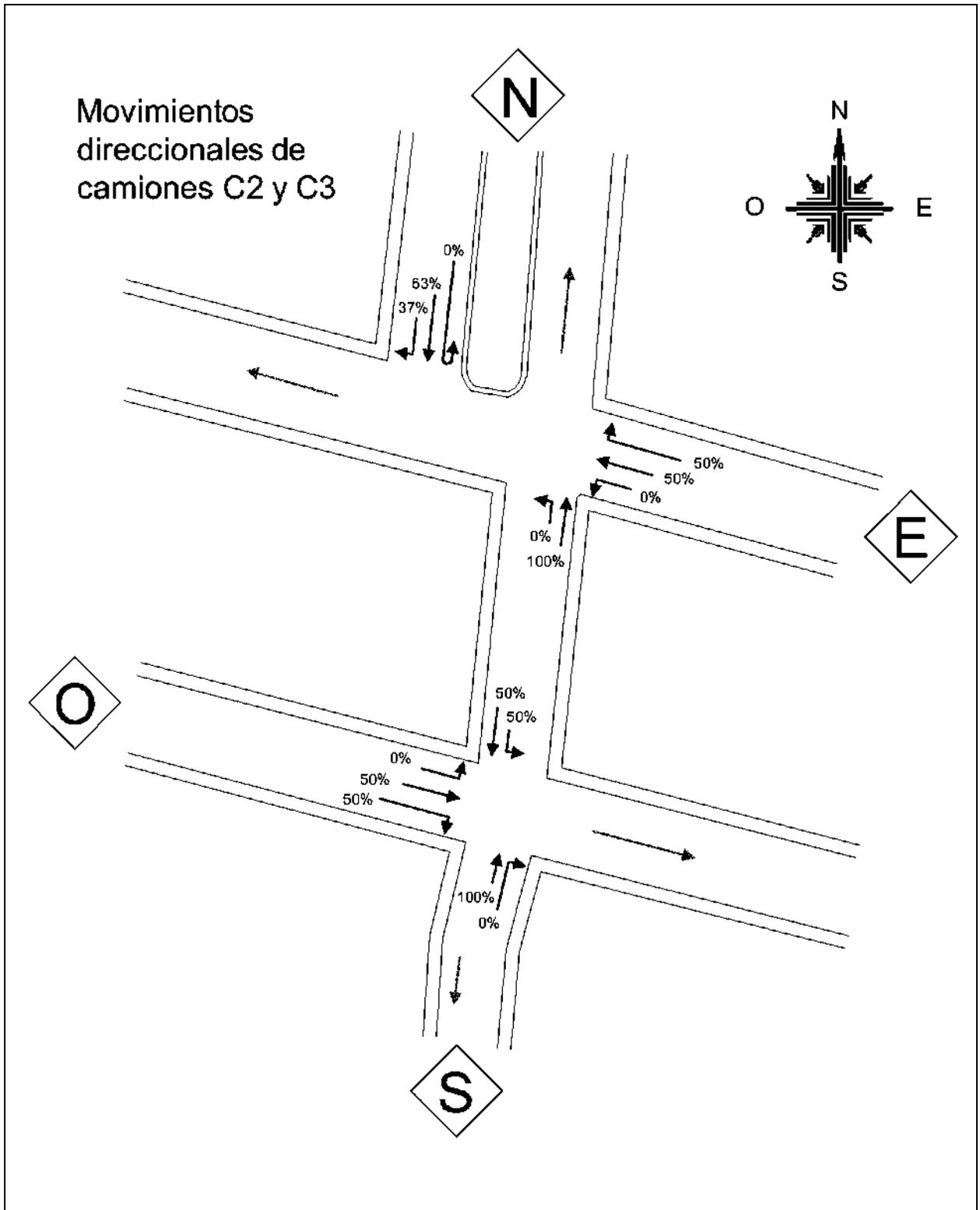
A continuación se muestran los porcentajes de movimientos direccionales particulares, y general de la UA.



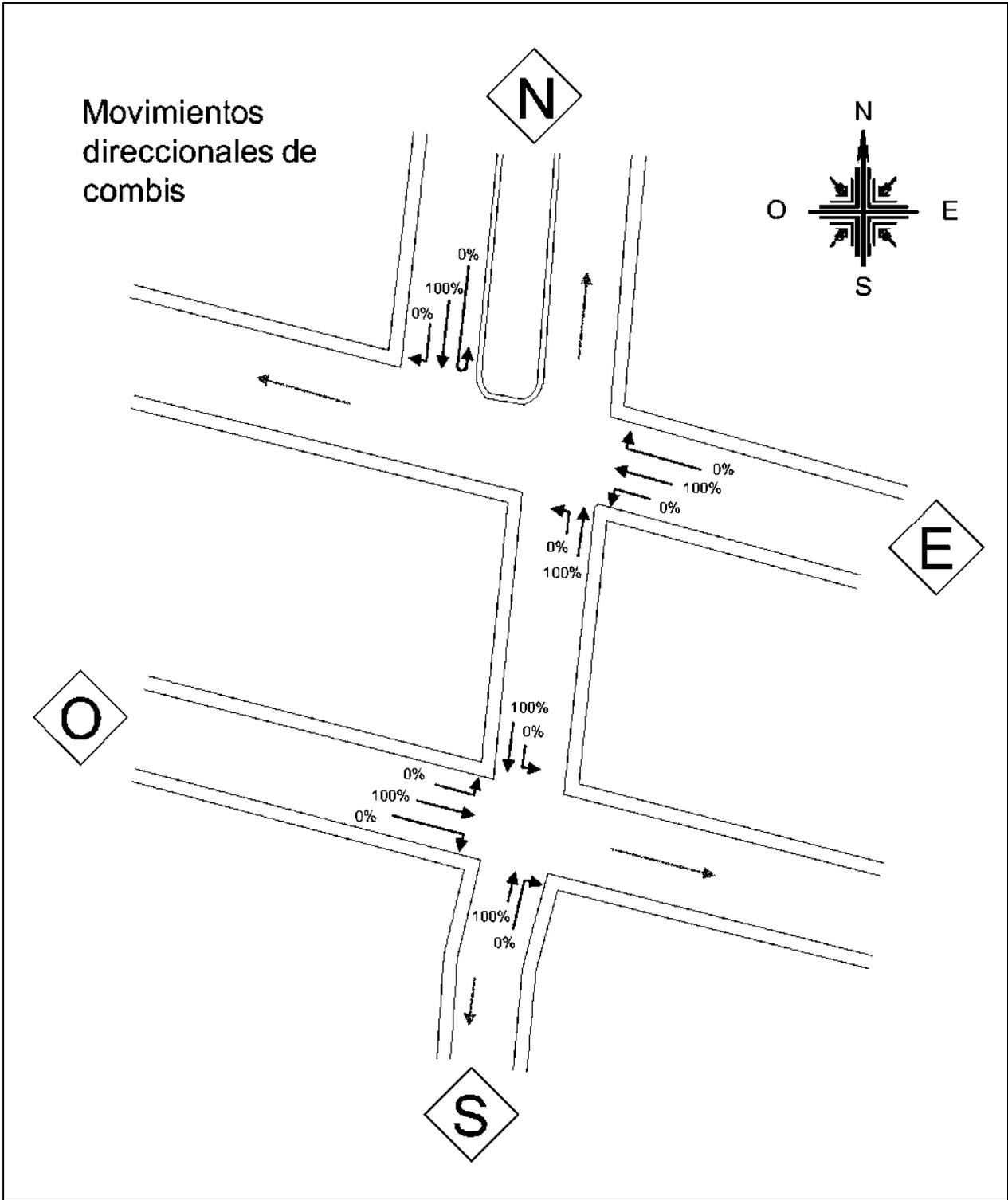
Movimientos direccionales de Automóviles, en porcentaje



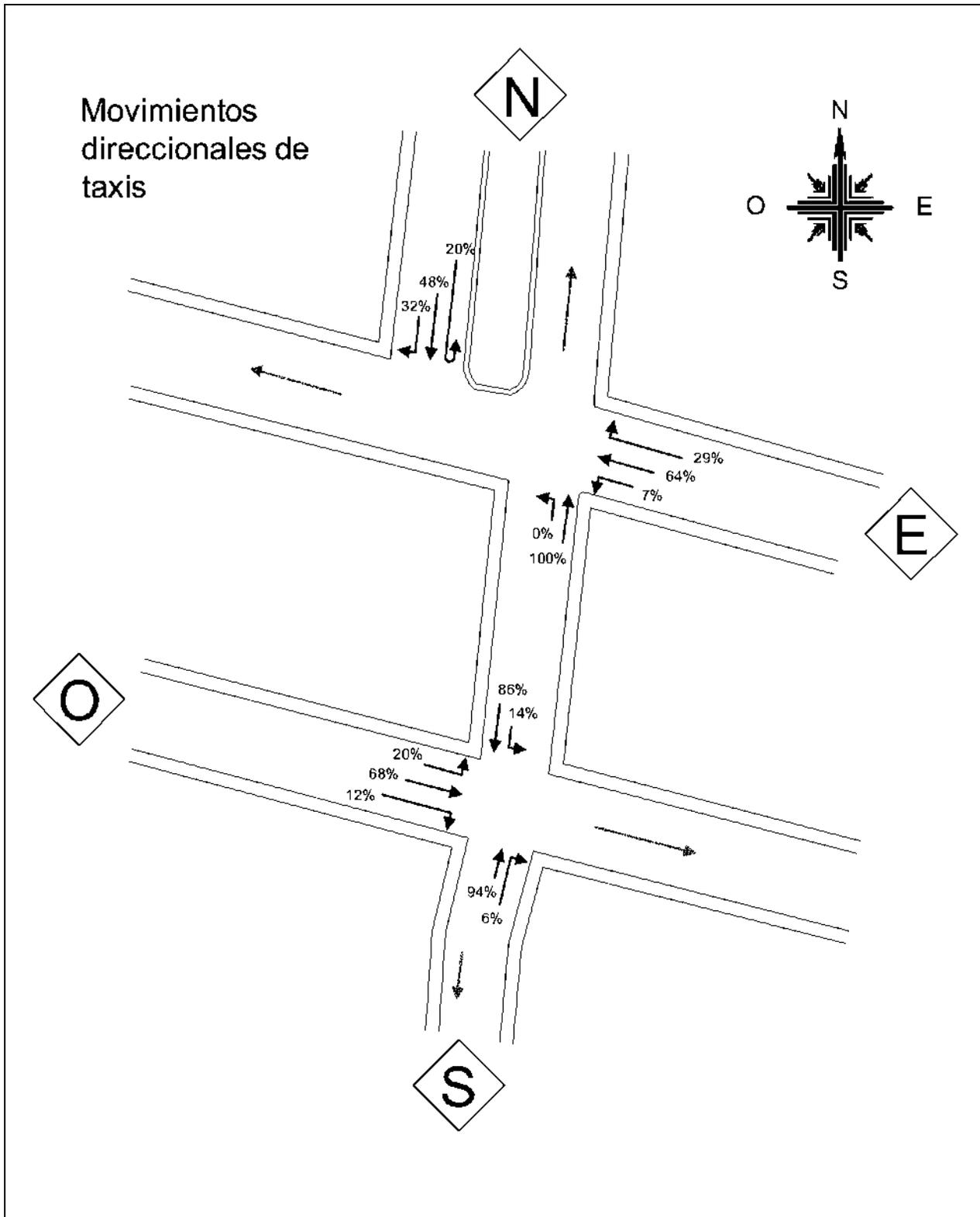
Movimientos direccionales de Autobuses, en porcentaje



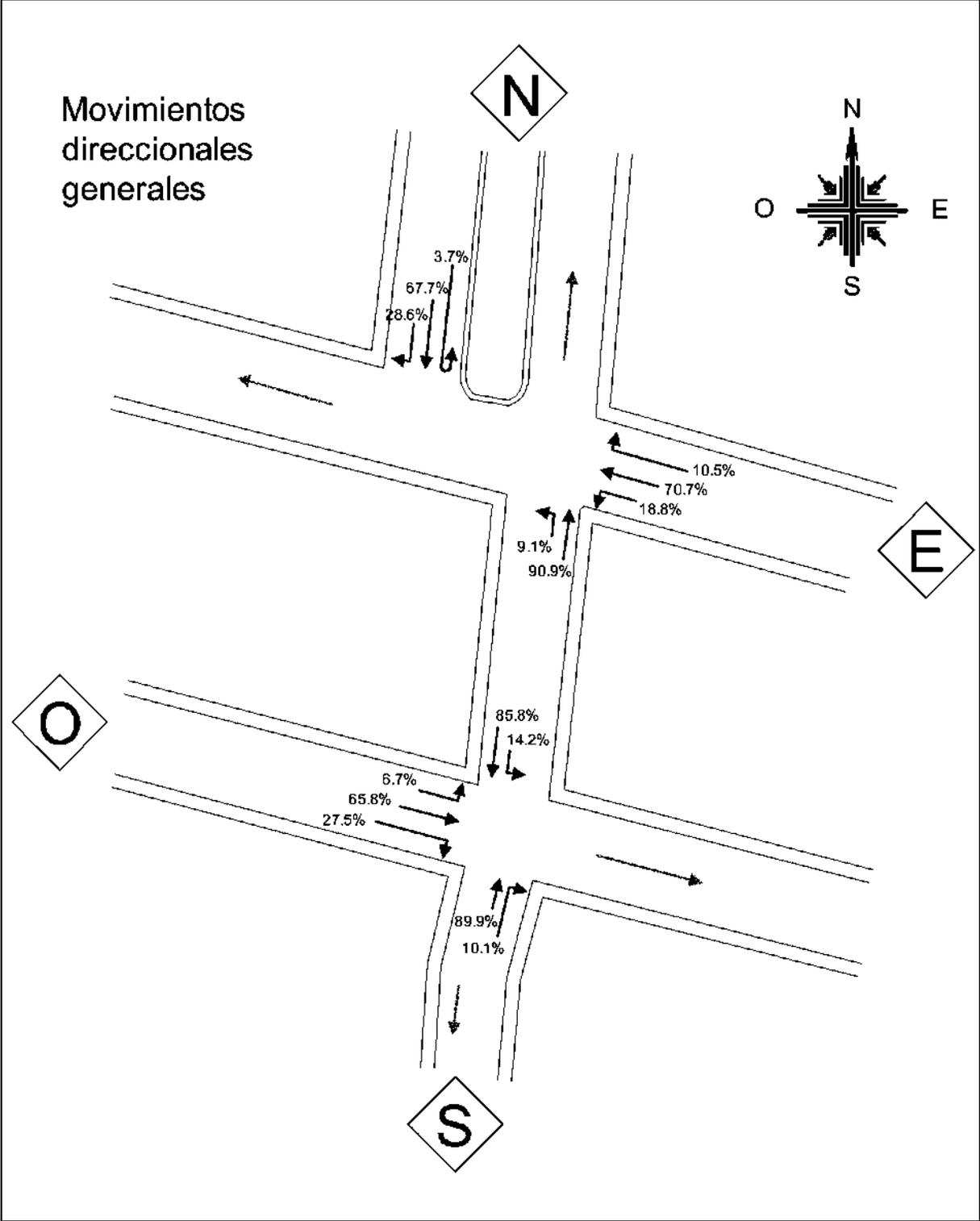
Movimientos direccionales de Camiones (C2 y C3), en porcentaje



Movimientos direccionales de Combis, en porcentaje



Movimientos direccionales de Taxis, en porcentaje



Movimientos direccionales Generales, en porcentaje

Anexo 4

A continuación se muestran las características microscópicas de dimensiones de los diferentes grupos vehiculares que circulan por la UA, características como aceleración máxima y desaceleración máxima se tomaron de los vehículos tipo del software Aimsun 8.1.

Características microscópicas de automóviles				
Parámetro	Media	Desviación	Min	Max
Largo	4.46	0.789	3.5	5.817
Ancho	1.79	0.19	1.43	2.776
Aceleración máxima	11.258	0.347	11.79	10.9

Características microscópicas de taxis				
Parámetro	Media	Desviación	Min	Max
Largo	4.13	0.40	3.56	4.47
Ancho	1.694	0.16	1.525	1.909

Características microscópicas de combis				
Parámetro	Media	Desviación	Min	Max
Largo	5.31	0.11	5.23	5.38
Ancho	1.88	0	1.88	1.88

Características microscópicas de camiones (C2, C3)				
Parámetro	Media	Desviación	Min	Max
Largo	6.08	1.74	4.59	9.802
Ancho	2.018	0.47	1.695	2.817

Características microscópicas de autobuses				
Parámetro	Media	Desviación	Min	Max
Largo	5.8.98	2.93	5.6	10.8
Ancho	2.31	0.4	1.85	2.58

Anexo 5

A continuación se muestran los resultados de los escenarios 2 y 3 de ambas HMD en su estado actual y con la aplicación de cada propuesta de solución.

Resultados del Estado actual y aplicación de las propuestas 1, 2 y 3, en el Escenario 2 AM

Parámetros de eficiencia	Estado Actual AM escenario 2	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Cola media (veh)	8.75	1.98	1.72	2.10
Flujo (veh/hr)	2387.8	2893.2	3094.8	3112.80
Densidad (veh/km)	7.36	9.11	9.66	9.65
Distancia media de viaje (km)	0.535	0.609	0.628	0.633
Número total de paradas	6024.49	1819.04	1586.76	1628.66
Tiempo medio de demora (seg)	30.22	10.35	10.03	10.13
Tiempo medio de parada (seg)	26.72	4.11	3.74	4.02
Tiempo medio de viaje (seg)	86.57	74.05	76.22	76.69
Velocidad media (km/hr)	29.41	32.13	32.67	32.53

Resultados del Estado actual y aplicación de las propuestas 1, 2 y 3, en el Escenario 3 AM

Parámetros de eficiencia	Estado Actual AM escenario 3	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Cola media (veh)	11.25	2.24	2.08	2.32
Flujo (veh/hr)	2387.8	2893.2	3095.6	3112.8
Densidad (veh/km)	7.79	9.17	9.72	9.7
Distancia media de viaje (km)	0.535	0.609	0.628	0.633
Número total de paradas	6630.88	1899.77	1646.43	1696.61

Tiempo medio de demora (seg)	38.05	10.97	10.8	10.76
Tiempo medio de parada (seg)	34.66	4.71	4.49	4.61
Tiempo medio de viaje (seg)	94.42	74.71	76.96	77.41
Velocidad media (km/hr)	29.41	32.13	32.65	32.53

Resultados del Estado actual y aplicación de las propuestas 1, 2 y 3, en el Escenario 2 PM

Parámetros de eficiencia	Estado Actual PM escenario 2	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Cola media (veh)	12.66	2.24	1.93	2.45
Flujo (veh/hr)	2366.6	2895.6	3083.6	3122.6
Densidad (veh/km)	8.14	9.34	9.90	9.98
Distancia media de viaje (km)	0.533	0.614	0.628	0.63
Número total de paradas	6757.05	2105.19	1634.96	1672.07
Tiempo medio de demora (seg)	41.52	10.66	10.29	10.49
Tiempo medio de parada (seg)	38.69	4.84	3.99	4.48
Tiempo medio de viaje (seg)	99.8	77.2	78.69	79.28
Velocidad media (km/hr)	27.58	31.63	31.9	31.45

Resultados del Estado actual y aplicación de las propuestas 1, 2 y 3, en el Escenario 3 PM

Parámetros de eficiencia	Estado Actual PM escenario 3	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Cola media (veh)	14.15	2.57	2.12	2.68

Flujo (veh/hr)	2366.6	2895.6	3084.4	3122.6
Densidad (veh/km)	8.41	9.41	9.93	10.03
Distancia media de viaje (km)	0.534	0.615	0.629	0.632
Número total de paradas	7229.73	2234.2	1681.24	1708
Tiempo medio de demora (seg)	46.13	11.53	10.81	11.02
Tiempo medio de parada (seg)	43.35	5.70	4.49	5.00
Tiempo medio de viaje (seg)	104.47	78.13	79.23	79.86
Velocidad media (km/hr)	27.58	31.63	32.01	31.45