

# UACM

Universidad Autónoma  
de la Ciudad de México

NADA HUMANO ME ES AJENO

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS

DE TRANSPORTE URBANO

**Análisis para determinar el Nivel de Servicio de la Intersección  
vial Eje 10 Sur y Av. Cerro del Agua mediante  
la Metodología de Highway Capacity Manual**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
**LICENCIADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS  
DE TRANSPORTE URBANO**

PRESENTA

**ALAN RODOLFO RAMÍREZ GARCÍA**

DIRECTORA

**DRA. GLORIA ELENA LONDOÑO MEJÍA**

Ciudad de México, noviembre de 2025.

## SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

### RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

#### DERECHOS RESERVADOS<sup>©</sup>

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por permitirme haber dado sabiduría, fuerza y coraje para haber llegado hasta este momento de mi formación profesional y cumplir con este gran proyecto, aquí y ahora.

A mis padres, a mis hermanas y hermanos que me motivaron en cada instante de mi vida, que a través de su apoyo incondicional, ante las adversidades que se me presentaron en el camino, hoy doy gracias por el impulso que me dieron para concluir una etapa más de mi vida académica satisfactoriamente.

Agradecimiento muy especial a mi directora Dra. I. Gloria Elena Londoño Mejía, por sus valiosos conocimientos, sugerencias, colaboración, quien fue parte fundamental para la realización de este trabajo, además de sus clases, asesorías y consejos que fueron de gran aprendizaje para mi desarrollo profesional.

A mis lectores M. en C. Agustín González Villanueva, M. en C. Rafael Martínez Vega, M. en I. Raúl Soto Peredo por sus correcciones, aportaciones, observaciones y comentarios que enriquecieron a concluir este trabajo.

Al Ingeniero Aarón García por su asistencia técnica en la instalación del software utilizado en este trabajo de tesis. A todos mis profesores y amigos.

A las y a los habitantes y autoridades de la Unidad Habitacional Integral Latino Americana (UHILA) por otorgarme la facilidad al acceso al inmueble para realizar las videograbaciones.

## Tabla de Contenido

<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
Planteamiento del problema.....	6
Pregunta de investigación .....	11
Objetivo general.....	11
Objetivos específicos .....	12
Justificación .....	13
<b>Capítulo 1 Marco teórico, conceptual y metodológico .....</b>	<b>16</b>
1.1 Marco teórico.....	16
1.1.1 Teoría general de los sistemas .....	16
1.2 Marco conceptual.....	18
1.2.1 Enfoque de sistemas.....	19
1.2.2 Componentes del sistema de transporte y de tránsito .....	19
1.2.3 Proceso CLIOS .....	27
1.3 Marco metodológico .....	27
1.3.1 Estudios de tránsito .....	30
1.3.2. Metodología para el análisis de operación de intersecciones a nivel.....	33
1.3.3 Programas de cómputo.....	46
1.4 Antecedentes.....	49
<b>Capítulo 2 Proceso CLIOS: descripción de componentes, relaciones y elementos emergentes del sistema vial intersección Eje 10 Sur y Cerro del Agua .....</b>	<b>55</b>
2.1 Alcaldía Coyoacán .....	57
2.2 Uso de suelo (habitacional, habitacional con comercio, equipamiento).....	58
2.3 Servicio de transporte público de pasajeros.....	59
2.4 Gestión del sistema de transporte por el gobierno de la CDMX .....	65

2.4.1 Planeación del sistema .....	65
2.4.2 Gestión del tránsito .....	65
2.4.3 Gestión del transporte .....	65
2.4.4 Ejecución de las obras.....	66
2.5 Sistema de control de tránsito.....	66
2.6 Operación del tránsito.....	68
2.6.1 El transporte público.....	68
2.6.2 Estacionamiento no permitido .....	74
2.6.3 Relacionadas con el control con semáforos.....	75
<b>Capítulo 3 Estudios de tránsito y análisis de resultados en la intersección Eje 10 Sur y Cerro del Agua .....</b>	<b>78</b>
3.1 Estudio de condiciones existentes de la intersección.....	79
3.2 Estudios de movimientos direccionales .....	82
3.3 Diagrama de volúmenes direccionales.....	82
3.3.1 Matriz Origen – Destino .....	91
3.3.2 Patrones de volúmenes de tránsito.....	92
3.4 Tiempos de semáforo con base en los estudios de volúmenes de tránsito.....	96
3.5 Tiempos de semáforo peatonales requeridos .....	97
<b>Capítulo 4 Análisis de capacidad vial y nivel de servicio de la intersección E10 – CA .....</b>	<b>102</b>
4.1 Módulo de ajuste de volúmenes.....	105
4.2 Módulo de flujo de saturación .....	105
4.3 Módulo de análisis de capacidad .....	107
4.4 Módulo de nivel de servicio.....	108
<b>Capítulo 5 Análisis de resultados .....</b>	<b>110</b>
5.1 Alternativa 1. Se Aumenta el Tiempo de Verde Real en el Accesos Este y Oeste.....	111

5.2 Alternativa 2 Aplicar Parámetros de tipo de llegada del grupo de carriles AT .....	113
5.3 Alternativa 3 Mejoramiento en los Accesos Norte y Oeste .....	116
<b>Conclusiones</b> .....	119
<b>Recomendaciones</b> .....	128
<b>ANEXO</b> .....	137

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b>	Diagrama de los componentes del sistema de transporte y tránsito .....	20
<b>Figura 2</b>	Conflictos vehiculares en una intersección a nivel. ....	24
<b>Figura 3</b>	Diagrama de la estructura del proceso CLIOS .....	28
<b>Figura 4</b>	Metodología para el análisis de intersecciones controladas por semáforos .....	34
<b>Figura 5</b>	Localización de la intersección Eje 10 Sur y Av. Cerro del Agua .....	54
<b>Figura 6</b>	Intersección de estudio Eje 10 Sur y Avenida Cerro del Agua .....	56
<b>Figura 7</b>	Vialidades principales que colindan con el Eje 10 sur y Av. Cerro del Agua .....	59
<b>Figura 8</b>	Diferentes tipos de uso de suelo en la intersección de estudio .....	60
<b>Figura 9</b>	Principales actividades en la zona de interés.....	62
<b>Figura 10</b>	Diversidad de comercios y servicios en los accesos de la intersección Eje 10 Sur. .....	63
<b>Figura 11</b>	Diagrama de plan de fases .....	67
<b>Figura 12</b>	Conflictos vehiculares, acceso 1 Norte.....	68
<b>Figura 13</b>	Conflictos vehiculares, acceso 2 Este.....	69
<b>Figura 14</b>	Conflictos vehiculares, acceso 3 Sur y UHILA.....	70
<b>Figura 15</b>	Conflictos vehiculares, acceso 4 Oeste.....	70
<b>Figura 16</b>	Problemática del transporte público en la salida hacia el norte de la intersección .....	71
<b>Figura 17</b>	Obstrucción del transporte público en la salida Norte de la intersección.....	72
<b>Figura 18</b>	Ocupación de la base de taxis en la salida Sur de la intersección .....	73
<b>Figura 19</b>	Bloqueo del transporte público (camiones) en la vialidad del acceso Sur .....	74

<b>Figura</b>	<b>20</b>	Ocupación de Estacionamientos en la vía pública dentro de la intersección .....	76
<b>Figura</b>	<b>21</b>	Filas de autos en el acceso Oeste.....	77
<b>Figura</b>	<b>22</b>	Filas de autos en el acceso Este.....	77
<b>Figura</b>	<b>23</b>	Acceso Unidad Habitacional Integral Latino Americana UHILA .....	79
<b>Figura</b>	<b>24</b>	Condiciones de equipamiento urbano antes de las obras en la intersección Eje 10 Sur.....	80
<b>Figura</b>	<b>25</b>	Condiciones de equipamiento existentes después de las obras en la intersección Eje 10 Sur .....	81
<b>Figura</b>	<b>26</b>	Acceso Norte– Avenida Cerro del Agua.....	83
<b>Figura</b>	<b>27</b>	Composición vehicular, acceso Norte– Avenida Cerro del Agua.....	84
<b>Figura</b>	<b>28</b>	Acceso Sur– Calle Ingeniería Volúmenes direccionales de tránsito .....	84
<b>Figura</b>	<b>29</b>	Composición vehicular, acceso Sur– Calle Ingeniería .....	85
<b>Figura</b>	<b>30</b>	Acceso Este– Eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña.....	86
<b>Figura</b>	<b>31</b>	Composición vehicular, acceso Este– Eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña .....	87
<b>Figura</b>	<b>32</b>	Acceso Oeste– Avenida Copilco .....	88
<b>Figura</b>	<b>33</b>	Composición vehicular, Acceso Oeste– Avenida Copilco.....	89
<b>Figura</b>	<b>34</b>	Acceso 5 o salida de la UHILA .....	90
<b>Figura</b>	<b>35</b>	Composición vehicular, Acceso 5 o salida de la UHILA.....	91
<b>Figura</b>	<b>36</b>	Variación del volumen de tránsito intersección E10 – CA cada 15 minutos .....	93
<b>Figura</b>	<b>37</b>	Diagrama de tiempos de intervalo de señal de semáforo vehiculares en la intersección E10 – C.A.....	97
<b>Figura</b>	<b>38</b>	Diagrama de tiempos peatonales en la Intersección E10 – C.A.....	99
<b>Figura</b>	<b>39</b>	Datos de entrada del tránsito .....	104

<b>Figura</b>	<b>40</b>	Resultado de los volúmenes del Flujo de Saturación .....	106
<b>Figura</b>	<b>41</b>	Resultados obtenidos del Análisis de Capacidad .....	107
<b>Figura</b>	<b>42</b>	Diagrama Módulo de Nivel de Servicio .....	109
<b>Figura</b>	<b>43</b>	Diagrama de tiempos de intervalo de señal de semáforo vehiculares en la intersección E10 – CA .....	138
<b>Figura</b>	<b>44</b>	Resultados del Nivel de Servicio por medio del modelo de Webster .....	138
<b>Figura</b>	<b>45</b>	Acceso Norte– Avenida Cerro del Agua .....	139
<b>Figura</b>	<b>46</b>	Acceso Sur– Calle Ingeniería Volúmenes direccionales de tránsito .....	140
<b>Figura</b>	<b>47</b>	Acceso Este– Eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña.....	140
<b>Figura</b>	<b>48</b>	Acceso Oeste - Avenida Copilco.....	141
<b>Figura</b>	<b>49</b>	Acceso 5 o salida de la UHILA .....	141
<b>Figura</b>	<b>50</b>	Variación del volumen de tránsito intersección E10 – C.A. ....	143
<b>Figura</b>	<b>51</b>	Variación del volumen de tránsito intersección E10 – C.A. ....	145
<b>Figura</b>	<b>52</b>	Diagrama de condiciones existentes de la intersección después de las obras de mejora Eje 10 Sur y Av. Cerro del Agua.....	146

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b>	Datos de entrada para el análisis de la intersección .....	37
<b>Tabla 2</b>	Fórmulas de factor de ajuste para determinar la tasa de flujo de saturación para cada grupo de carriles de la intersección. ....	41
<b>Tabla 3</b>	Principales causas de muerte.....	51
<b>Tabla 4</b>	Lista de los tipos de suelo en la zona de estudio.....	61
<b>Tabla 5</b>	Lista de las rutas de transporte público que se encuentran en la zona de estudio. ....	64
<b>Tabla 6</b>	Factor de hora de máxima demanda, acceso Norte– Avenida Cerro del Agua.....	83
<b>Tabla 7</b>	Factor de hora de máxima demanda, acceso Sur– Calle Ingeniería.....	85
<b>Tabla 8</b>	Factor de hora de máxima demanda, acceso Este– Eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña .....	87
<b>Tabla 9</b>	Factor de hora de máxima demanda, acceso Oeste– Avenida Copilco.....	88
<b>Tabla 10</b>	Factor de hora de máxima demanda del acceso 5 o salida de la UHILA.....	90
<b>Tabla 11</b>	Matriz Origen – Destino intersección E10 – C.A (Avenida Copilco, eje 10 Pedro Henríquez Ureña, Avenida Cerro del Agua) .....	92
<b>Tabla 12</b>	Tiempos peatonales Intersección E10 – C.A. ....	98
<b>Tabla 13</b>	Criterios de nivel de servicio en intersecciones con semáforos .....	103
<b>Tabla 14</b>	Resultados de la Alternativa 1.....	112
<b>Tabla 15</b>	Datos para determinar el tipo de llegadas de la Alternativa 2.....	114
<b>Tabla 16</b>	Resultados del tipo de llegadas de la Alternativa 2.....	115
<b>Tabla 17</b>	Datos para el Ajuste en el Flujo de Saturación y análisis de Capacidad.....	116
<b>Tabla 18</b>	Resultados obtenidos del Nivel de Servicio Alternativa 3.....	117

<b>Tabla 19</b>	Fórmulas para determinar el ciclo optimo de cada fase del semáforo.....	137
<b>Tabla 20</b>	Volumen de Automóviles Directos Equivalentes de la intersección de estudio.....	142
<b>Tabla 21</b>	Matriz origen – destino de cada acceso de la intersección Eje 10 Sur y Av. Cerro del Agua .....	143

## Introducción

Las grandes ciudades dependen de sus sistemas de calles, ofreciendo servicios de transporte. Muchas veces estos sistemas tienen que operar por arriba de su capacidad con el fin de satisfacer los incrementos de demanda por servicios de transporte, ya sea para tránsito de vehículos livianos, tránsito comercial, transporte público, acceso a las distintas propiedades o estacionamientos, originando problemas de tránsito, cuya severidad, por lo general, se puede medir en términos de accidentes y congestión.

La red vial en centros urbanos se compone de vías arterias, vías colectoras y locales que se cruzan mediante intersecciones a nivel donde se presentan conflictos de tránsito que ocasionan accidentes frecuentes (Cal y Mayor y Cárdenas, 2007, pg. 108). Los accidentes son una externalidad del sistema de transporte que afecta a las comunidades (Lindberg, G. 2001, citado por Rizzi, L., 2005, pg. 284).

La intersección vial es un sistema abierto, integrado, complejo donde confluyen las corrientes vehiculares, peatonales, de transporte público, de bicicletas, usos de suelo con sus accesos y salidas, los estacionamientos, las paradas de bus entre otros.

La ingeniería de tránsito utiliza los dispositivos de control, tal como las señales horizontales, verticales, los semáforos y los sistemas inteligentes de transporte, para ordenar las corrientes de tránsito y dar prioridad de paso de forma jerarquizada de tal forma que los conflictos de las corrientes vehiculares, como los cruces, se resuelvan de manera segura (Manual de Dispositivos de Control Semafórico, Secretaría de Comunicaciones y Transporte, [SCT], 2023).

El objetivo principal de la ingeniería de tránsito es la seguridad (Principios de Ingeniería de Tránsito, Radelat, G. 2003, pg. 5). Sin embargo, la operación de la intersección debe ser

efectiva y eficiente, lo cual se logra mediante metodologías que equilibren el uso del tiempo y el espacio. El tema que se desarrolla en esta tesis es el estudio de la intersección vial que resuelve conflictos de tránsito y entre los usuarios mediante el control con semáforo.

Por su parte la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en su objetivo 11 “ciudades y comunidades sostenibles” establece “lograr que las ciudades sean más exclusivas, seguras, resilientes y sostenibles” (ONU, 2023).

Además, la asamblea general de la ONU adopta la resolución “mejoramiento de la seguridad en el mundo” que proclama el decenio de acción por la seguridad vial 2021 – 2030, cuyo objetivo es prevenir el 50% de las muertes y lesiones del tránsito para el 2030 (Organización Mundial de la Salud, OMS, 2020)

Ante la problemática de seguridad vial y hechos de accidentes de tránsito de grupos de población más vulnerables (Secretaría de Movilidad, [SEMOVI], Programa Integral de Seguridad Vial de la Ciudad de México, 2021 –2024), el Gobierno de la Ciudad de México realiza el programa “Intersecciones Seguras 2019-2020” (Secretaría de Movilidad, [SEMOVI], Secretaría de Obras y Servicios de la Ciudad de México, [SOBSE] y Secretaría de Seguridad Ciudadana, [SSC], 2020), que incluye, entre otras, la intersección vial ubicada en el eje 10 Sur o Av. Copilco y Av. Cerro del Agua, ver en la figura5, en la zona de acceso Norte-Este de Ciudad Universitaria. Esta intersección es un sistema vial complejo por: i) los usos de suelo que se encuentran, entre ellos, comerciales, residenciales, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), entre otras instituciones (Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda de la Ciudad de México, [SEDUVI], Programa Delegacional de Desarrollo Urbano 2010);ii) además se presentan viajes residenciales y no residenciales en modos motorizados y no motorizados, cotidianamente; por ejemplo el distrito 048 en la Encuesta Origen-Destino 2017, que es donde se

ubica la mencionada intersección, se registran 162,082 de viajes residenciales (Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México. [INEGI], Encuesta Origen-Destino, EOD 2017), sin embargo, no se registran los viajes no residenciales; iii) también, confluye un alto flujo vehicular de autos, autobuses, camiones, que interactúan con el sistema de transporte colectivo metro (STC), peatones y ciclistas; iv) y donde se utiliza el control con semáforo para resolver los conflictos entre usuario que por allí cruzan; se han mencionado cuatro, entre otros elementos que emergen como: las faltas al reglamento de tránsito, la presencia de ventas ambulantes, etc.

A la fecha de levantamiento de la información de campo de esta tesis (octubre 2019), la citada intersección se encontraba en etapa de inicio de obras, por parte del Gobierno de la Ciudad de México, cuyos problemas de tránsito y seguridad habían sido tema de discusión en diferentes foros, por parte de los residentes, la comunidad educativa y directivos del Gobierno de la Ciudad (Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad, [PUEC], UNAM, 2018; SEMOVI-SOBSE-SSC, 2020, Intersecciones Seguras, 2019 – 2020, pg, 12). Por esto, este autor la elige caso de estudio.

La metodología del enfoque de sistemas, en particular los Sistemas Abiertos, Integrados, Grandes y Complejos (CLIOS por sus siglas en inglés, Dodder y Sussmann, 2002, pg. 5 a 7), aplicada al estudio de intersecciones controladas con semáforo, permite identificar los elementos que integran el sistema, su funcionamiento, la información que emerge, para determinar las problemáticas y sus posibles soluciones, de tal forma que funcionen de forma segura y eficiente. Además, la teoría de flujo de tráfico cuenta con métodos de análisis de conflictos viales, análisis de la operación de la intersección y Nivel de Servicio (NDS) (Highway Capacity Manual, [HCM], por sus siglas en inglés) de sistemas viales donde interactúan los usuarios del tránsito (Radelat, G., 2003, pg. 147).

La metodología de investigación de la presente tesis tiene enfoque cuantitativo (Hernández, Fernández y Baptista, 2006, pg. 4 a 6), en la que se desarrollan los pasos característicos, los cuales se presentan en el contenido: el planteamiento del problema, la revisión de la literatura, el marco teórico, la pregunta de investigación, recolección de datos numéricos del objeto de estudio, de forma estructurada y sistemática, obtención de indicadores apropiados para evaluar y aportar juicios de valor, con base en la teoría, para responder la pregunta de investigación. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.

Para el desarrollo del caso de estudio se aplica la metodología de solución de problemas de tránsito en la infraestructura vial de Cal y Mayor y Cárdenas (2007, pg. 24). Para esto, se realizan estudios de tránsito que recaban información real sobre las condiciones actuales de la intersección que se ha elegido como caso de estudio. También, presenta el análisis de las corrientes vehiculares y peatonales, estudios de volúmenes vehiculares y tiempos de semáforos; y toda la información necesaria para los análisis de capacidad y Nivel de Servicio (Cal y Mayor y Cárdenas, 2007, pg. 409, 446; Highway Capacity Manual, HCM, 2000, pg. 16-1). Luego, se analizan los resultados y se presentan soluciones complementarias a las ofrecidas por el Gobierno de la CDMX en el programa de obras, de acuerdo con el Plan Estratégico de Movilidad (SEMOVI, 2019).

En el capítulo 1 se presenta el marco teórico que se fundamenta en las teorías: general de los sistemas, la cibernética y la teoría de flujo de tráfico. Luego, el marco conceptual con base en el enfoque de sistemas de Sussman (2003); aquí se identifican y se definen los componentes del sistema de transporte desde una perspectiva interna y externa. Después, el marco metodológico que se estructura con referencia en el proceso de Sistemas Socio-tecnológicos, Grandes, Interconectados de Escala Grande, CLIOS (Large-scale, Interconnected, Open, Socio-technical,

Systems, por sus siglas en inglés, Sussman, 2003) que guía la identificación de los elementos del sistema que se estudia, sus interrelaciones, entre otros aspectos necesarios para el análisis, evaluación y mejoras en el desempeño de los sistemas de transporte. Como complemento, se explica el marco metodológico para el diseño de intersecciones controladas con semáforo y, el análisis operacional de capacidad y nivel de servicio del Highway Capacity Manual (HCM 2000, por sus siglas en inglés). Además, se describen los programas de cómputo y softwares especializados para la planeación, operación y simulación de las intersecciones controladas por semáforo. Al final del capítulo se analizan instrumentos gubernamentales para mitigar los problemas y hechos de tránsito de vialidades principales. (Plan Estratégico de Movilidad de la Ciudad de México, 2019) y (Programa Integral de Seguridad Vial 2021-2024 de la CDMX).

En el capítulo 2 se describe el caso de estudio, intersección Eje 10 Sur Av. Cerro del Agua, con fundamento en la teoría de los sistemas, el proceso CLIOS y el marco metodológico, es decir: la zona de estudio, usos de suelo, el sistema de transporte urbano, las rutas de transporte público, dado que es un nodo de transferencia modal. También, se presenta el sistema de control con semáforo, esto es: el plan de fases del semáforo con relación a las corrientes vehiculares de los modos motorizados y no motorizados y por el último se definen las problemáticas que existen en la operación del tránsito y en la vialidad relacionadas con la invasión de los espacios públicos y los usos de suelo reales dentro de la intersección.

En el capítulo 3 se explican los estudios de: condiciones existentes de la intersección, los estudios de tránsito, la información de los movimientos vehiculares, aforos de volúmenes de tránsito direccionales, entre otros datos obtenidos en campo. Además, se presentan las características del control semaforizado de la intersección y se realiza la revisión del diseño de tiempos de semáforo vehicular y peatonal.

En el capítulo 4 se realiza el programa del análisis operacional, de cada módulo de la metodología del Highway Capacity Manual (HCM, 2000). Se detallan los factores clave para el cálculo de las medidas de desempeño del sistema operativo semaforizado: la relación volumen a tasa de flujo de saturación, la relación flujo a capacidad, las demoras y el nivel de servicio de la intersección.

En el capítulo 5 se hace la discusión de los resultados obtenidos en la metodología del HCM (2000) y una crítica sobre aspectos que deberían incluirse para mejorar el sistema de control. Se diseñan alternativas de solución para la mejora en la operación del flujo vehicular de la intersección estudiada. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones.

### **Planteamiento del problema**

Con fundamento en la teoría general de los sistemas (TGS) un cruce vial controlado con semáforo es un sistema que tiene el propósito de conectar vialidades para facilitar la movilidad entre orígenes y destinos y, a la vez dar accesibilidad a los usos de suelo aledaños. Éste se define como un nodo de una red vial (HCM, 2000), el cual une arcos que representan las vías; cada arco se encuentra entre dos nodos. La intersección vial a su vez se compone de accesos y salidas por donde se dan los movimientos direccionales de los vehículos (motorizados y no motorizados) que por ella circulan (Roess, Prassas y McShane, 2011). También facilita el cruce de peatones y personas que se desplazan en modos no motorizados. El sistema “cruce vial semaforizado” se compone de partes, tales como: la infraestructura, los vehículos, el uso de suelo, los equipamientos de servicios, entre otros, que se agrupan en subsistemas integrados por objetos, que interactúan para el cumplimiento del propósito del sistema (Sánchez, 2006, quien cita a Bertalanffy, 1968 y, Hall y Fagen, 1956).

Un cruce vial semaforizado ubicado en zonas urbanas cumple las características de un sistema abierto y complejo, dada su doble función antagónica de movilidad y accesibilidad, entre otros aspectos que se establecen entre sus partes. Otro aspecto se debe a su exposición a los diversos elementos, que en la TGS se define como “el ambiente” del sistema (Sánchez, 2006); para el caso del cruce vial semaforizado serían, por ejemplo, los usuarios, sean residentes, trabajadores, comerciantes; o el movimiento de carga; los operadores del servicio público de pasajeros, entre otros. Todo lo anterior, hace que se produzca información propia del propósito del sistema y se presenten desequilibrios que dan lugar a elementos emergentes, propios del sistema.

La TGS establece otras características, adicionales a las antes mencionadas (propósito, tipo, ambiente), como el conjunto de elementos internos y externos, los cuales pueden agruparse en subsistemas, ordenados en forma jerárquica, sus límites, propiedades macroscópicas y emergentes, por mencionar los más generales (Sánchez, 2006).

Algunos de los elementos externos del sistema “cruce vial semaforizado” son las instituciones gubernamentales que toman decisiones en la planeación, operación, sostenimiento y evaluación de la infraestructura vial. También, las entidades que trabajan en investigación, el desarrollo, la innovación, aquéllas que prestan servicios de transporte, otros involucrados, como los residentes, inversionistas y propietarios del uso del suelo. En particular, es el gobierno administrativo, en el caso el Gobierno de la Ciudad de México y los alcaldes de las entidades territoriales, quienes tienen a su cargo las decisiones estratégicas, de operación, regulación y mantenimiento de la infraestructura vial; por ejemplo, SEMOVI define la planeación y operación de la infraestructura vial y de transporte; SSC la regulación y el control de tránsito; SEDUVI la planeación y regulación del uso del suelo, por mencionar algunas.

Adicionalmente y de acuerdo con las características del sistema de transporte, el cruce vial controlado por semáforo en zona urbana se encuentra circundado por usos de suelo diversos, tales como: habitacional, habitacional con comercio, habitacional mixto, equipamiento y espacios abiertos. Lo anterior, integrado con la interacción de sus partes da lugar a propiedades emergentes cuya información es fundamental para el analista; tal como: el volumen de tránsito en un período de tiempo, la composición vehicular, la velocidad de circulación, los movimientos direccionales, la progresión del tránsito, la demora asociada al control semaforizado, el tamaño de las colas, por mencionar algunas relacionadas con la operación del cruce. Sin embargo, se presentan otros elementos emergentes que producen distorsiones, también llamadas externalidades, tales como: accidentes, contaminación ambiental, congestión, entre otras que afectan el buen desempeño del sistema. Esto se explica con mayor detalle en el capítulo siguiente.

Tales distorsiones representan problemáticas que afectan al sistema de transporte, a la comunidad, la salud de residentes y no residentes, la operación del tránsito y requieren ser estudiadas para mejorar la calidad de vida de todas las personas que ahí transitan, así como de las variables de la operación del sistema.

Esto ha dado lugar a la discusión de integrantes de la comunidad académica, los residentes y no residentes involucrados, que se ven afectados por las mencionadas distorsiones del sistema. Existen documentos a partir de estudios realizados en el cruce vial, elegido, como caso de estudio, donde se aborda de manera multidisciplinaria y con rigor científico diversas problemáticas (PUEC, UNAM, 2018; SEMOVI-SOBSE-SSC, 2020). Es el caso del Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad (PUEC) de la Universidad Nacional Autónoma de México, que realiza su Congreso el 3 de septiembre de 2018, se presentan estudios, análisis,

recomendaciones que involucran diversos problemas en la intersección semaforizada del Eje 10 Sur con Cerro del Agua (PUEC, UNAM, 2017 a 2018). Además, se han diseñado propuestas de mejora en estudios documentados en tesis de grado, como la realizada por Julio César Alcaraz Evaristo (2014), titulada “Microsimulación en una intersección de flujo continuo. Caso de estudio Eje 10 Sur Copilco y Cerro del Agua” [tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de México], donde se analiza el tránsito usando programas comerciales que utilizan la metodología del Highway Capacity Manual, pero diferente a la desarrollada en esta tesis. Adicionalmente en la tesis de grado Baeza Martínez, A y Martínez Ambriz. R.E, (2012) “Metodología para el análisis de capacidad y nivel de servicio en intersecciones semaforizadas de acuerdo con el manual de capacidad HCM (2000): caso Cerro del Agua/Ingeniería” [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de México], las autoras tratan el acceso a Ciudad Universitaria por Cerro del Agua y se refieren a los problemas de tránsito en la intersección objeto de este estudio. También, hay documentos de mesas de trabajo con la comunidad residente en particular con la Unidad Habitacional Integral Latino Americana (UHILA, 2 de noviembre de 2019). Algunas de estas problemáticas son de interés para el análisis que se realiza en esta tesis, que, a noviembre de 2019, son:

- Conflictos vehiculares no resueltos en una misma fase de semáforo con alto riesgo de accidentes, producidos por un ramal de salida de la Unidad Habitacional Latinoamericana, la cual representa un quinto ramal de acceso al cruce vial semaforizado.
- La falta de cumplimiento al reglamento de tránsito de prestadores de servicio público colectivo de pasajeros.
- Presencia de estacionamiento en zonas prohibidas en los accesos y salidas de la intersección.

- Formación de cuellos de botella por el estacionamiento y paradas de bus en doble fila.
- Maniobras de acceso y salida de comercios ubicados en los accesos y salidas del cruce vial.
- Formación de largas colas que afectan el acceso y salida de usos de suelo colindantes.
- Falta de coordinación de semáforos que afectan la progresión del tránsito del Eje Vial 10 Sur.
- Uso de tecnologías de control obsoletas.
- Largas demoras que ocasionan altos costos de operación y bajo desempeño del tránsito.
- Congestión
- Accidentes, fatales, con heridos y daños.

En esta tesis, con fundamento en la TGS, la teoría de flujo de tráfico, el enfoque de sistemas y el proceso CLIOS, Sussman (2003), se aplican metodologías para estudiar corrientes vehiculares en la red vial urbana, cuyos conflictos requieren control con semáforo; se realizan estudios para identificar problemas y plantear soluciones o alternativas que mejoren, optimicen, con máxima eficiencia, mínimo costo (Bertalanffy, 1968pag 2) o demora.

El sistema “cruce vial semaforizado” ubicado en la Ciudad de México se gestiona por SEMOVI, SSC, SOBSE, el Instituto de Verificación Administrativa (INVEA) y la alcaldía Coyoacán; en particular, el caso de estudio de esta tesis se presenta en el documento “100 intersecciones seguras 2019: eje 10 sur, Cerro del Agua e Ingeniería” (Gobierno de la Ciudad de México, 2019), para enunciar estrategias que solucionan los problemas de intersecciones controladas por semáforo. Sin embargo, la comunidad se involucra en la discusión, evalúa de forma crítica y presenta demandas para buscar seguridad, efectividad y eficiencia (2 de

noviembre de 2019). Es por ello, que en la presente tesis se estudian los problemas y se evalúa la solución que ofrece el Gobierno, mediante indicadores de desempeño de tránsito apropiados, que ofrecen las metodologías propuestas por científicos y expertos en ingeniería de tránsito. Existen 3200 intersecciones controladas con semáforo que presentan problemas similares, ubicadas en ejes viales y vías del sistema principal que requieren ser evaluadas, por lo tanto, la metodología aplicada en esta tesis se ofrece como referente, cuando no se cuenta con recursos presupuestales y de software comerciales para microsimulación.

### **Pregunta de investigación**

La tesis estudia, analiza y evalúa la operación del tránsito de la intersección vial controlada por semáforo ubicada en el Eje 10 Sur (Av. Copilco) y Cerro del Agua, cerca de la estación del Metro Copilco, al norte-este de Ciudad Universitaria, mediante los indicadores de tránsito y de desempeño del Highway Capacity Manual (2000), el cual es un referente de la comunidad científica mundial, para las infraestructuras viales, publicado por la National Academies of Science Engineering and Medicine, 1997, y el Transportation Research Board (TRB por sus siglas en inglés). A continuación, se formula la pregunta de investigación:

¿El proyecto de diseño y construido por el Gobierno de la Ciudad de México, en la intersección ubicada en Eje 10 Sur (Av. Copilco) y Cerro del Agua, a noviembre de 2019, resuelve los problemas de seguridad vial y de operación de tránsito, con base en los indicadores de tránsito, capacidad y Nivel de Servicio (NDS)?

### **Objetivo general**

Estudiar, analizar y evaluar la operación de la intersección ubicada en el Eje 10 sur (también llamada Pedro Henríquez Ureña) y Cerro del Agua, de la alcaldía Coyoacán, mediante el enfoque de sistemas CLIOS, la teoría de flujo de tráfico, la metodología para la solución de

problemas de tránsito y la metodología operacional del Highway Capacity Manual del Transportation Research Board, de los flujos motorizados y no motorizados que por ahí circulan, en la condición de “antes y después” de las obras realizadas por el Gobierno de la Ciudad de México en el año 2019 (antes), alternativas propuestas en esta tesis (después), para revisar los criterios de la seguridad vial de los usuarios, los indicadores de tránsito, la capacidad vial y el nivel de servicio de las intersecciones contraladas por semáforo.

### **Objetivos específicos**

- Realizar el estudio de condiciones existentes en la intersección del eje 10 Sur Avenida Copilco y Cerro del Agua, mediante el levantamiento de la información de campo, la elaboración del diagrama del cruce vial con los accesos viales, los carriles, las paradas de autobús, la señalización, con el fin de establecer su delimitación, el detalle de la infraestructura vial; lo anterior como requisito de entrada de las metodologías de estudio, análisis y evaluación de las intersecciones controladas por semáforo.
- Realizar los estudios de volúmenes direccionales en la intersección eje 10 Sur con Cerro del Agua, usando el método de video, con el propósito de obtener datos reales relacionados a los movimientos de los vehículos y personas, en el horario de máxima demanda y los días típicos de actividad laboral y escolar, los cuales son información de entrada de los procesos metodológicos de estudio, análisis y evaluación de la operación en la citada intersección.
- Realizar los algoritmos para el cálculo de los flujos motorizados y no motorizados en la hora de máxima demanda, en días típicos escolares y laborales; elaborar el diagrama de movimientos direccionales, los patrones de frecuencias de volúmenes de tránsito, la composición vehicular, el Factor de Hora de Máxima Demanda (FHMD); los cuales son

información de entrada de los métodos usados en el estudio, análisis y evaluación de las intersecciones viales controladas por semáforo.

- Identificar las corrientes motorizadas y no motorizadas del cruce Eje 10 Sur con Cerro del Agua, para analizar los conflictos viales y su solución en el espacio y el tiempo, con base en la teoría de flujo de tráfico, con el fin de revisar la seguridad de los usuarios.
- Revisar el diseño del control de semáforo en la intersección del Eje 10 Sur con Cerro del Agua, para obtener los intervalos de señal de las fases que resuelven los conflictos de los flujos motorizados y no motorizados, para comparar con los programados en las obras del Gobierno de la Ciudad, revisar la seguridad de los usuarios y, como información de entrada de la metodología de operación del citado cruce vial.
- Hacer el algoritmo para aplicar la metodología operacional del Highway Capacity Manual HCM (2000), en la condición “antes y después” de las obras de mejora del Gobierno de la Ciudad de México y las alternativas propuestas por este autor, con el fin de calcular las medidas de operación de la intersección controlada por semáforo, para identificar el nivel de servicio como criterio de eficiencia de la citada infraestructura.
- Evaluar los resultados respecto de la seguridad de los usuarios que diariamente transitan por el Eje 10 Sur con Cerro del Agua y la eficiencia de la operación de los flujos en conflicto mediante el control con semáforo, para identificar los problemas que persisten, después de las obras del Gobierno de la Ciudad de México y realizar recomendaciones para su solución.

### **Justificación**

Dada la problemática de ineficiencia, seguridad vial, de acuerdo con la ocurrencia de accidentes de tránsito en la intersección vial Eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña y Avenida Cerro

del Agua, el gobierno de la CDMX da prioridad a la realización de obras de mejora y ordenamiento vial (Gobierno de Ciudad de México, Programa de Pasos Seguros, 2019-2020).

En la zona de influencia de la intersección se combinan los usos del suelo habitacional, habitacional con comercio, habitacional mixto, equipamiento y espacios abiertos, que atraen y producen miles de viajes en diferentes modos de transporte. Se destaca la presencia de la UNAM en su Campus Ciudad Universitaria.

La intersección se ubica en el Eje 10 Sur, que es una arteria vial primaria del sector sur de la Ciudad de México, entre Av. Universidad y Eje Central (Av. Aztecas) (Gobierno de la Ciudad de México, Principales Ejes Viales, 2023). Corresponde a un nodo de transferencia modal donde se integran las rutas de transporte público y con el Sistema de Transporte Colectivo Metro (STCM) que es el tren rápido de transporte masivo más importante de la Ciudad de México.

En términos de movilidad la intersección hace parte del nodo de transferencia modal con el STCM en la estación Copilco, donde se presentan miles de viajes de acuerdo con la encuesta (INEGI Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México, EOD 2017). La Ciudad Universitaria registra 304 mil viajes origen incluido los viajes internos, en un día entre semana (EOD, 2017).

Con base en la teoría de flujo de tránsito las intersecciones viales semaforizadas presentan conflictos viales de diversas características. Algunos de ellos no están resueltos por el congestionamiento vial, la ocurrencia de accidentes y control con semáforo inadecuado, propiciando situaciones de riesgo a usuarios vulnerables, habitantes y transeúntes.

Por lo tanto, la pregunta de investigación debe ser resuelta y es objeto de la presente tesis.

El proyecto de obras de la ciudad ofrece estrategias para mejorar las condiciones viales. Sin embargo, surge la pregunta, si son las adecuadas para enfrentar las situaciones de riesgo y si es una solución eficiente en términos de seguridad vial y operación del tránsito.

## **Capítulo 1 Marco teórico, conceptual y metodológico**

Se presentan los fundamentos teóricos, conceptuales y metodológicos del sistema de transporte y en particular del sistema de tránsito. El marco teórico está integrado por las teorías: General de los Sistemas (TGS), flujo de tránsito, redes y la cibernética. Se describe el marco conceptual, con base en la teoría del enfoque de sistemas descrita por Joseph Sussman, así como, las características de los elementos clave que intervienen en el sistema de tránsito y sus interrelaciones. Se explica el marco metodológico que guía la identificación, diagnóstico del objeto de estudio, los factores que originan los problemas, los pasos para entender y analizar las corrientes motorizadas y no motorizadas de la infraestructura de transporte, las variables e indicadores de desempeño que miden su magnitud. Se identifican recursos de cómputo y softwares especializados para la planeación, operación y simulación de intersección controladas con semáforo. Por último, se ofrecen los antecedentes del objeto de estudio y su relación con los conceptos teóricos, conceptuales y metodológicos que se describen en este capítulo.

### **1.1 Marco teórico**

#### **1.1.1 Teoría general de los sistemas**

La teoría general de los sistemas tiene el propósito de estudiar el sistema, sus componentes y su jerarquía; establece que se pueden describir de manera separada, ya que la información que de él emana depende del estudio interdisciplinario en cualquiera de los campos de la investigación (Bertalanffy, 1976).

El sistema es un conjunto complejo de componentes o elementos internos y externos agrupados e interrelacionados que ordenadamente tienen el propósito específico y jerárquico de cumplir un objetivo determinado (Sánchez, 2006). Un sistema de transporte es un conjunto organizado de elementos que permiten la movilización de personas o bienes de un lugar a otro;

compuesto por infraestructura (carreteras, vías férreas, calles.), medios de transporte (automóviles, trenes, autobuses.), servicios asociados (estaciones, terminales, centros de distribución), sistemas de gestión y control; mediante dispositivos de señalización, monitoreo, comunicación y vigilancia, por mencionar algunos (Sussman, 2000).

La teoría de redes se enfoca en la estructura y dinámica de las conexiones entre los elementos del sistema de transporte. Ésta es un recurso de la TGS para profundizar en la complejidad de los flujos de viajes de personas como de vehículos de carga y transporte público por la red vial y su modelación en los sistemas de transporte. (Sussman, 2000).

Se describen las redes de transporte como interconectadas, ya que existen conexiones a través de elementos básicos de red llamados nodos. Los nodos representan intersecciones viales, intercambiadores viales, terminales, estaciones de intercambio modal o paradas de autobús.

Por otro lado, la cibernética permite la relación de alta tecnología y avances en los sistemas de información, comunicaciones y avanzados métodos matemáticos en la infraestructura del transporte (Sussman, 2000). Un ejemplo son los avances en los elementos de control de tránsito como el semáforo, actualmente adaptables a los cambios del tránsito.

Los sistemas inteligentes de transporte (Intelligent Transportation System, ITS, por sus siglas en inglés) son un componente tecnológico del sistema de transporte, tal como los dispositivos de control con semáforos. Éstos son un conjunto de elementos que otorgan el derecho de paso temporizado en intersecciones viales. Mediante la innovación y el desarrollo tecnológico, los ITS ofrecen dispositivos interconectados que constituyen el actual sistema de transporte. (Sussman, 2000).

Dentro de la ingeniería de transporte, la teoría de flujo describe el movimiento de vehículos en carreteras, autopistas y redes de transporte, por medio de la aplicación de las leyes

de la física, las matemáticas y la teoría de las probabilidades (Radelat, 2003). Estas relaciones ayudan al ingeniero de tránsito en la planificación, diseño, operación y evaluación de la efectividad de medidas implantadas, tendientes a mejorar las condiciones del tránsito, en un sistema de vías. La TFT incluye la infraestructura de señalización y control del tráfico.

Desde una perspectiva externa existen los componentes propios al sistema de transporte, las organizaciones, entidades e instituciones que trabajan dentro de un ambiente complejo, social y económico y, que son considerados para la gestión, planeación y operación de los sistemas de transporte. (Sussman, 2000).

## **1.2 Marco conceptual**

El sistema de transporte desde un aspecto multidimensional se define mediante la perspectiva de la tecnología, de los propios sistemas desde el punto de vista del comportamiento del sistema y de las organizaciones e instituciones que se encargan de toda la gestión y la dimensión de la planeación y operación del sistema (Sussman, 2000).

De la misma manera describe el sistema de transporte como un sistema abierto, grande, integrado y complejo enfocado en los componentes fundamentales desde una perspectiva interna y externa; entre los componentes se identifican el peatón, el ciclista, los vehículos motorizados, la red vial, las rutas de transporte público, los usos de suelo, la infraestructura, elementos de señalización y control, el nodo de transferencia modal, entre otros. La infraestructura integra las vialidades por donde circulan los usuarios, ciclistas y vehículos de transporte (automóviles, autobuses, camiones y su relación con otros modos de transporte); incluye, además, vías como calles, carreteras, ferrocarriles, canales fluviales, terminales como aeropuertos, estaciones de ferrocarril, estaciones de autobuses y puertos marítimos. Por lo tanto, el transporte tiene una amplia importancia en el sentido político, social y económico.

### **1.2.1 Enfoque de sistemas**

El enfoque de sistemas es una estructura metodológica que logra comprender la combinación de elementos organizados e interrelacionados entre sus partes para lograr uno o más propósitos establecidos con la finalidad de mejorar en todo lo posible el funcionamiento de un sistema. (Sánchez, 2006).

El enfoque de sistemas por medio de una serie de pasos y de técnicas nos permite estudiar y entender los diversos problemas que se puedan presentar en el sistema y poderlos resolver de la mejor forma posible, permite lograr una visión más clara y detallada de la interacción en conjunto de cada componente del sistema.

A continuación, en la figura 1 se muestran los elementos de manera general que logran caracterizar a nuestro objeto de estudio y posteriormente se realiza la descripción con más detalle de cada uno.

### **1.2.2 Componentes del sistema de transporte y de tránsito**

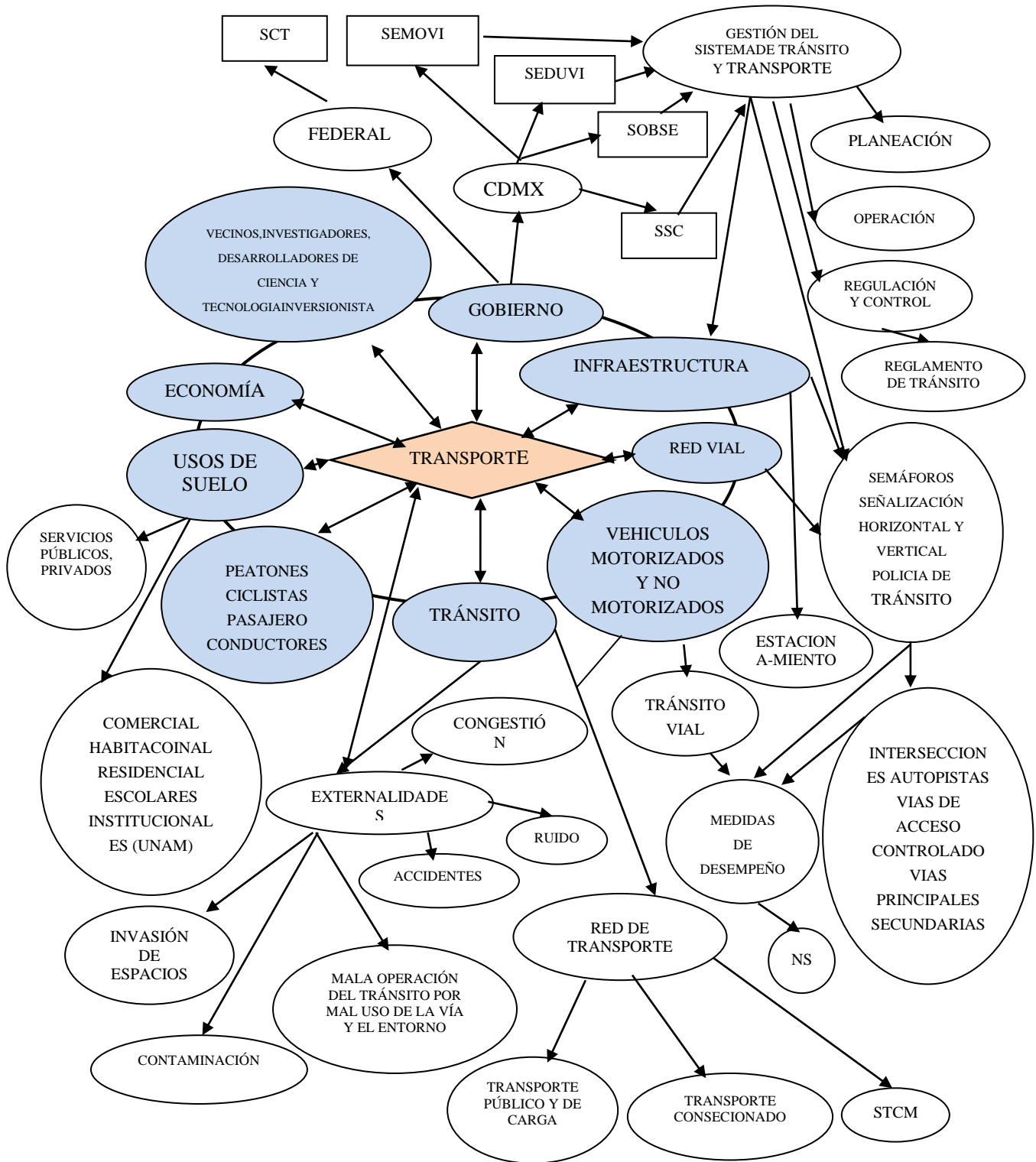
A continuación se definen los componentes del sistema de tránsito representados en la figura 1; (Cal y Mayor y Cárdenas 2007).

#### ***1.2.2.1 El sistema vial de acuerdo con su clasificación funcional***

La red vial se compone de enlaces (arcos) y nodos. Los enlaces corresponden a las vías: calles y carreteras rápidas que se clasifican según su funcionalidad en: principales (arterias), secundarias (colectoras), locales; también existen senderos para peatones y algunos carriles para ciclistas. Los nodos son los puntos donde se intersecan las vías. De acuerdo con su calificación funcional éstas son: (Cal y Mayor y Cárdenas, 2007).

**Figura 1**

*Diagrama de los componentes del sistema de transporte y tránsito*



Nota. Elaboración propia, introducción a los sistemas de transporte.

**Calles Principales:** Estas permiten la movilidad de la mayor parte de los viajes cotidianos derivados de las actividades urbanas; soportan más volúmenes vehiculares por su mejor condición geométrica, sección transversal, con frecuencia son divididas y pueden tener el control parcial de sus accesos. Las calles principales están interconectadas para formar un sistema que mueve el tránsito en toda la ciudad, en todas direcciones con cantidad de altos flujos vehiculares.

**Calles Secundarias:** Están conectadas con las vías principales; el volumen vehicular de tránsito es más bajo que en las vías principales; sus características geométricas son limitadas y la capacidad vehicular es menor.

**Calle Locales:** Estas vialidades ofrecen accesibilidad a las propiedades colindantes y a los usos de suelo, está delimitada al interior por zonas residenciales, zonas comerciales, zonas habitacionales o barrios y áreas recreativas y de nivel educativo.

**Calles Peatonales:** Tienen como función principal permitir el desplazamiento libre y autónomo de los peatones, dando acceso directo a las propiedades colindantes, estableciendo espacios abiertos, a sitios de gran concentración de personas, por ejemplo, centros comerciales, estacionamientos y a estacionamientos de transporte público etc.(Gobierno de la Ciudad de México, Espacios Peatonales Emergentes, 2019-2020).

Los nodos son intersecciones que se presentan a nivel y a desnivel. Las intersecciones a nivel pueden operar bajo tres formas: bajo reglas básicas, según el reglamento de tránsito; con señales de tránsito ya sea de ALTO, CEDA EL PASO y semáforo.

#### ***1.2.2.2 Sistema de transporte de pasajeros***

El sistema transporte colectivo de pasajeros se compone de enlaces y nodos. Los enlaces son elementos de infraestructura donde circulan los diferentes modos de transporte; pueden

coincidir con el sistema vial a nivel o a desnivel; algunos son confinados, tal como: el sistema ferroviario, el teleférico, canales, ríos, etc. Los nodos son los puntos donde se hace la transferencia entre modos de transporte y el ascenso y descenso de pasajeros, por ejemplo: las terminales de autobuses o ferrocarril, las estaciones del metro, las paradas de autobús, etc.

### **1.2.2.3 Gobierno**

Por lo general le corresponde al gobierno, como poder ejecutivo, hacer la gestión de los sistemas de transporte y tránsito. Se encarga de la organización de la operación y planeación de la infraestructura de vialidades y, por medio de instrumentos gubernamentales y programas sociales lleva a cabo políticas y estrategias para la movilidad de las personas para garantizar la seguridad de los usuarios y ciclistas.

### **1.2.2.4 Factor humano**

Con el propósito de estudiar los aspectos operacionales de la ingeniería de tránsito, se definen, de manera general los *elementos básicos* que dan lugar a los flujos de tránsito e interactúan entre sí para producir conflictos de tránsito; estos son:(Cal y Mayor y Cárdenas, 2007).

**Usuarios del tránsito:** Son los más importantes dentro del sistema vial. Estos interactúan con la vía, los vehículos y crean conflictos e inminentes riesgos de accidente.

**El conductor:** son las personas que manejan los vehículos automotores ya sea de servicio particular o público; no hay reglamentación que garantice que los conductores han tenido la educación vial necesaria para interactuar de manera segura con peatones y pasajeros.

**El peatón:** Son las personas que se mueven a pie; el reglamento de tránsito les otorga la preferencia de paso en cualquier vialidad; por lo que deben ser protegidos y orientados de

manera adecuada ya que existe un gran volumen de peatones que circula en la vía y la intersección.

**Los ciclistas:** Otro elemento a considerar es el ciclista porque busca desplazarse de un lugar a otro ya sea a los lugares de trabajo, escuela o hacer actividades de recreo. En la actualidad la presencia y el uso de la bicicleta ha crecido debido a la existencia del congestionamiento vial, aunado a ello son más los usuarios que cuentan con este modo de transporte.

**El pasajero:** son las personas que buscan movilizarse en el transporte público. En la intersección se encuentran gran cantidad de pasajeros por ser sitios frecuentes de transferencia modal, pues confluyen modos y rutas de servicio de transporte.

#### ***1.2.2.5 Vehículos***

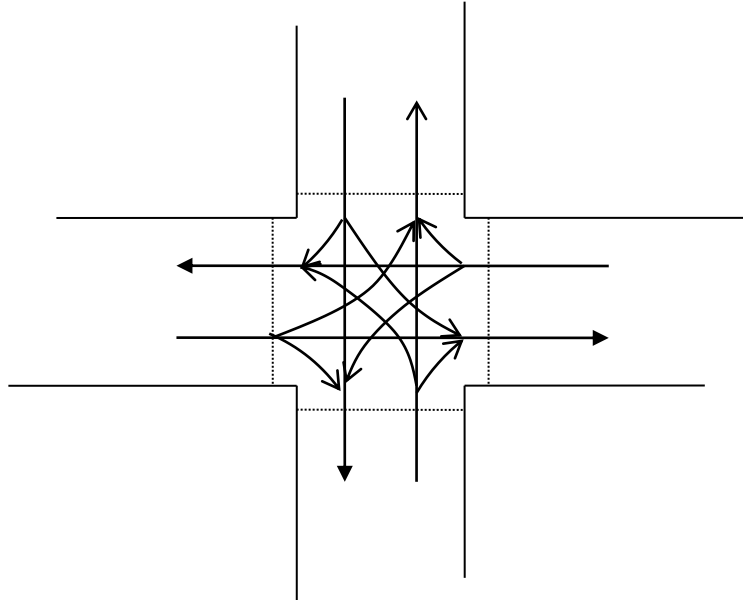
Los vehículos son el modo que utilizan los usuarios para moverse en el sistema vial, excepto aquellos que lo hacen de forma peatonal. Éstos necesitan de infraestructura para poder hacer una buena operación es sus maniobras de desplazamiento; su clasificación por tipo es: los vehículos de transporte público, vehículos pesados, camiones de carga y descarga destinados al comercio y a la distribución de mercancía y los vehículos livianos.

#### ***1.2.2.6 Intersecciones viales a nivel***

Las intersecciones a nivel surgen por el cruce de vías. Son infraestructuras complejas del sistema vial donde confluyen las personas y vehículos, flujos en diversas direcciones, cuyos conflictos se deben resolver por jerarquía complementado con señalización. Tales conflictos se presentan por movimientos de giros en U, a la izquierda, de frente, giro a la derecha de los vehículos, así como los pasos de peatones por las esquinas. En la figura 2 se muestran las maniobras vehiculares dentro de una intersección definidas como, *confluencia* donde los

## Figura 2

*Conflictos vehiculares en una intersección a nivel.*



Nota: introducción al control de intersecciones, figura 18.1 (p. 411) de Roess, Prassas y McShane, 2011, Pearson

vehículos de una corriente vehicular realizan la maniobra de incorporarse a otra corriente vehicular, es decir, se une una corriente con otra para formar una sola; otra maniobra vehicular es la *separación* entre corrientes vehiculares donde los vehículos abandonan la corriente vehicular para incorporarse a otra corriente vehicular; por otro lado, la maniobra de *cruce* se realiza cortando el flujo vehicular de otra corriente vehicular dentro de una intersección. (Radelat, 2003).

Las intersecciones vehiculares de cuatro accesos son complejas pues presentan doce movimientos vehiculares, izquierda, de frente y derecha desde sus cuatro accesos; estos movimientos crean treinta y dos conflictos vehiculares y ocho peatones, los cuales se refieren como *conflictos de tránsito*. Estos resultan de los traslados de vehículos y personas de diversos

orígenes y destinos, que ocupan el mismo espacio físico y temporal y ofrecen una solución a la distribución de los flujos en la red vial. Su capacidad y seguridad dependen de las condiciones existentes tal como la geometría, la visibilidad, la señalización o el control.

Las intersecciones controladas por semáforos son sistemas de interés para la comunidad científica en ciencias básicas y aplicadas. La ingeniería de sistemas de transporte urbano ofrece diversos enfoques para estudiarlas, tales como la teoría de flujo de tráfico, la teoría de redes, la teoría de control óptimo, aplicación de inteligencia artificial, entre otros. (Radelat, 2003).

#### ***1.2.2.7 Legislación, reglamentación, normatividad, señalización y control.***

Los dispositivos de control son los mecanismos que garantizan la seguridad, la información a los viajeros para ser orientados en la circulación, bajo las leyes de tránsito y las instrucciones gubernamentales.

El semáforo es un sistema de control para las intersecciones con altos flujos vehiculares compuesto de elementos tecnológicos que facilita alternadamente el libre paso de las corrientes vehiculares que se cruzan, así como el cruce ordenado y seguro de los peatones.

Están situados en las intersecciones viales especialmente en el sistema principal y otros lugares para la regulación del tráfico y por ende el tránsito peatonal.

De la misma manera la normatividad y la reglamentación de tránsito son componentes para una adecuada interacción entre las diferentes partes del sistema de transporte.

Las leyes y los reglamentos son la base para que las autoridades interpongan la regulación, dirección, supervisión, aplicación, control y sanción en materia de tránsito y transporte, que se requiere aplicar a todos por igual sin hacer mal uso de los siguientes instrumentos locales.

- Reglamento de tránsito de la Ciudad de México
- Reglamento de la Ley de Movilidad de la Ciudad de México
- Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad de México

Por otra parte, los instrumentos regulatorios mencionados anteriormente, son aplicados por parte de la policía de tránsito de la entidad involucrada.

#### ***1.2.2.8 Externalidades***

Las externalidades son elementos emergentes de los sistemas. Algunas externalidades negativas asociadas al transporte son la contaminación del aire, el ruido, los accidentes de tránsito. Algunos se refieren a las distorsiones viales como a la invasión del uso de espacios públicos, por la presencia del comercio informal, cuyos efectos impactan de forma negativa el sistema; otros están relacionados con impactos nocivos al medio ambiente, a la salud de las personas, así como el sistema de tránsito relacionado a todos estos problemas sociales. (ITDP, 2023).

#### ***1.2.2.9 Usos de suelo***

Un elemento de gestión del gobierno son las normas relacionadas con el ordenamiento territorial y de uso de suelo. Este se clasifica como residencial, educativo, recreativo, habitacional y comercial.

#### ***1.2.2.10 Participantes***

En el sistema de tránsito existen organizaciones públicas y privadas que participan en la movilidad de las personas y de la carga de mercancías. Algunas son las entidades que hacen la gestión del tránsito y el transporte, tal como el gobierno central y local, las empresas de transporte de pasajeros y carga, los inversionistas, los fabricantes, los desarrolladores, los científicos, entre otros (Sussman, 2006).

### 1.2.3 Proceso CLIOS

El sistema CLIOS es un proceso que permite identificar al sistema, evaluarlo y buscar las soluciones y mejoras en el objeto de estudio y está constituido por elementos multimodales, complejos, grandes, integrados y abiertos (Dodder, R. Sussman, J. 2002, pg. 7).

A continuación se muestran los elementos de manera general que logran caracterizar a nuestro objeto de estudio y posteriormente se realiza la descripción con más detalle de cada uno.

En la figura 3 se presenta el diagrama del proceso CLIOS de Dodder y Sussman (2002), el cual describe la estructura general y las interconexiones del comportamiento del sistema.

### 1.3 Marco metodológico

Con fundamento en el proceso CLIOS se describe la metodología para el análisis de operación en una intersección a nivel controlada por semáforo.

Los problemas de tránsito y su solución se fundamentan en (Cal y Mayor y Cárdenas, 2007):

- La ingeniería de tránsito.
- La educación vial.
- La legislación y la vigilancia policiaca.

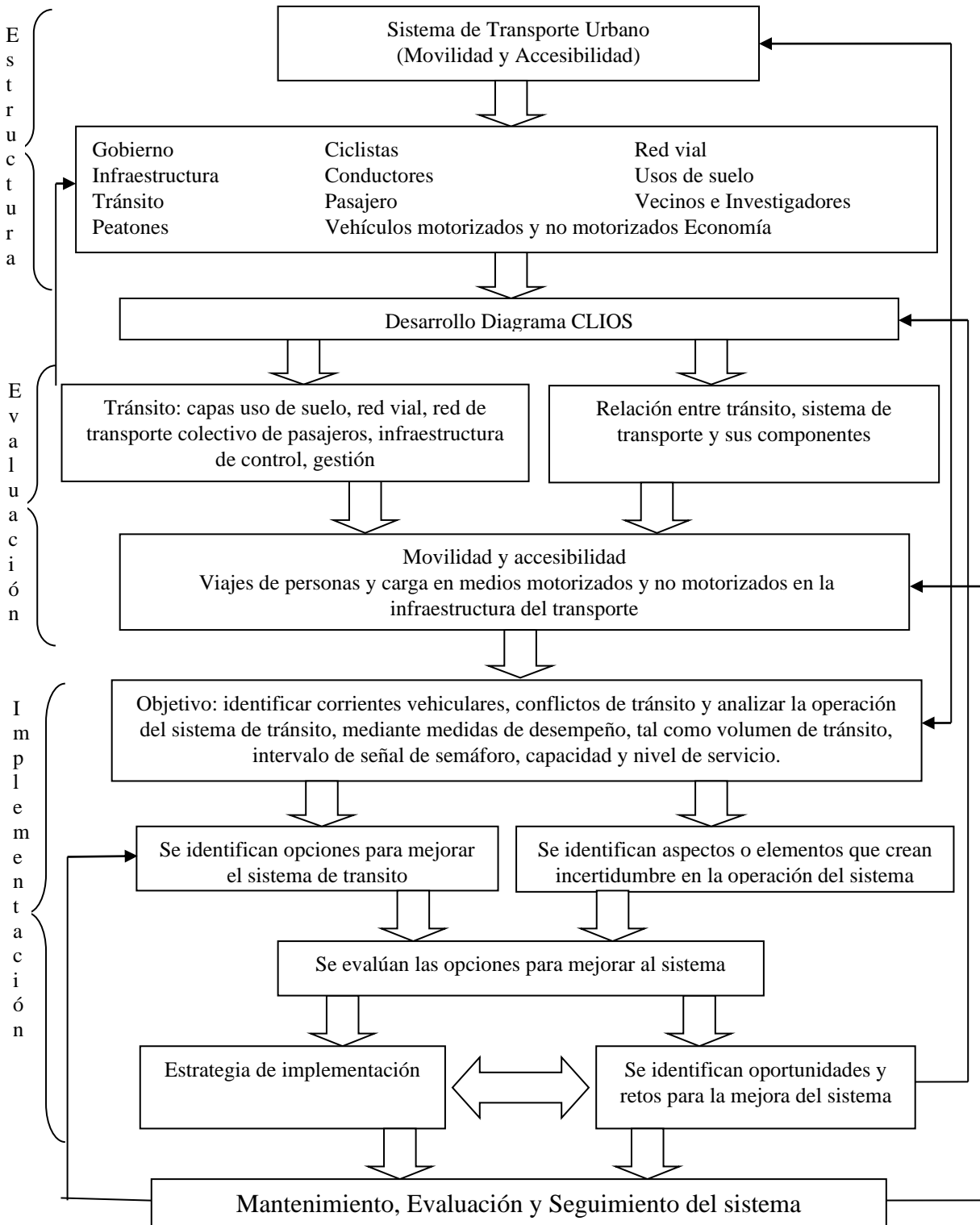
En este trabajo de investigación se aborda la primera, *Ingeniería de Tránsito*, la cual se define como (Cal y Mayor y Cárdenas, 2007)

*“aquella fase de la ingeniería de transporte que tiene que ver con la planeación segura y eficiente, el proyecto geométrico y la operación del tránsito por calles y carreteras, por redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transporte motorizado y no motorizado”*

Los mencionados autores ofrecen una metodología para abordar los problemas de tránsito en los siguientes seis pasos:

**Figura 3**

*Diagrama de la estructura del proceso CLIOS*



Nota: elaboración propia con base a la figura 2, Dodder y Sussman, 2002, p. 7

- Observación de la problemática
- Formulación de la hipótesis de la problemática y su solución
- Recopilación de datos
- Análisis de datos
- Proposición concreta y detallada
- Estudios de los resultados obtenidos

Por otra parte, la realización de los estudios de tránsito se acude al Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito (Manual of Transportation Engineering Studies, 2010) en cuyo contenido incluye:

- Condiciones existentes
- Volúmenes direccionales
- La velocidad
- El tiempo de recorrido y demora
- Análisis de accidentes
- Inventario de la señalización
- Estudios de “antes y después”

Para el análisis de conflictos de corrientes motorizadas y no motorizadas en la operación del sistema, entendido como: el cruce a nivel en redes viales se sigue el Highway Capacity Manual (2000), en su análisis operacional (capítulo 16).

### **1.3.1 Estudios de tránsito**

De acuerdo con el manual de estudios de ingeniería de tránsito (Institute of Transportation Engineers, ITE, 2010), es común realizar los siguientes estudios para el diagnóstico de problemas de tránsito en la infraestructura vial.

#### ***1.3.1.1 Estudios de Volúmenes de tránsito***

En estos estudios se utilizan diversos métodos de aforo de los flujos que transitan en el sistema vial. Uno de ellos es el método mediante videos. En este método el analista busca un punto estratégico en el sitio de interés para grabar la operación del tránsito en el área necesaria para la investigación, durante las horas de mayor actividad y de acuerdo con el objeto de estudio. Posteriormente en gabinete se realiza el estudio de movimientos direccionales, con intervalos de 15 minutos para obtener los volúmenes de los flujos motorizados y no motorizados. Esta información responde a la demanda atendida de tránsito en la fecha y hora realizada. Además se obtiene información complementaria de operación de tránsito tal como: estacionamientos en la vía, paradas de autobuses, colas y demoras, actividades de carga y descarga. La técnica de grabación y video es útil y económica dado que se puede realizar con una sola persona. Existen otros métodos que pueden consultarse en el manual de ingeniería de tránsito.

En los estudios de los volúmenes direccionales se obtiene la información necesaria para realizar el análisis de operación de la infraestructura de tránsito (Cal y Mayor y Cárdenas, 2018):

- Frecuencia de los volúmenes de tránsito cada 15 minutos y por hora.
- El porcentaje de vehículos tipo livianos, tales como: motos, autos, camionetas, vagonetas y vehículos de carga de dos ejes y cuatro ruedas; tipo mediano, tales como: camiones de hasta cinco toneladas de capacidad de carga, autobuses hasta de 30 pasajeros; tipo

pesado, tales como: camiones de más de 5 toneladas, autobuses de más de 30 pasajeros y vehículos especiales.

- Matriz Origen – Destino de flujos direccionales desde cada ramal de acceso hacia cada ramal de salida de la intersección.
- Volumen Horario de Máxima Demanda (VHMD): que corresponde a los volúmenes direccionales y de toda la intersección a la hora con mayor volumen de tránsito de la infraestructura.
- Factor de Hora de Máxima Demanda (FHMD): es la relación entre el volumen horario de máxima demanda y el volumen máximo a la hora de máxima demanda.

#### ***1.3.1.2 Condiciones existentes***

En los estudios de condiciones existentes se describen los aspectos físicos, operacionales, normativos del tramo de red vial que se estudia. Para ello se levanta información de la configuración geométrica, la planta, el perfil y la sección transversal de los elementos que componen la infraestructura de tránsito, tal como:

- La geometría de las vías: arterias, colectoras, locales; pendiente y sección transversal.
- Bahías o carriles de giro izquierdo o derecho: espacios exclusivos que permiten las maniobras de giro izquierdo y derecho.
- Pasos peatonales: áreas designadas para el cruce seguro de los peatones, las franjas o cebras peatonales tienen un máximo de 3 metros
- Banquetas o andenes: diseñadas en la vía pública para el uso de los peatones
- Número de carriles: diseñados con marcas viales para la regulación del tráfico y la seguridad vial.

- Carriles exclusivos para: autobuses, trolebús, bicicletas, camiones
- Zonas de estacionamiento o de uso exclusivo: sitios de taxi, carga y descarga
- Estaciones de metro o tren ligero: infraestructura de transporte urbano, que permite la transportación de un número masivo de pasajeros
- Sitios de transferencia modal: espacios estratégicos para los transbordos entre los diferentes modos de transporte.
- Paradas de autobuses: espacios públicos y exclusivos para el ascenso y descenso de transporte público.
- Inventario de los controles de tránsito, tales como: la señalización horizontal, vertical, los semáforos e intervalos de tiempo de semáforo.

#### ***1.3.1.3 Inventario de usos de suelo***

De acuerdo con el objeto de estudio se realiza el levantamiento del uso de suelo en el área de influencia de las corrientes vehiculares y peatonales que se presentan.

#### ***1.3.1.4 Estudios de control con semáforo***

La información del control con semáforos se obtiene mediante el inventario del plan de semáforo, los programas de tiempos de señal en los días de la semana y periodos del día, ya sea en la hora pico de la mañana, hora valle, hora pico vespertina y horarios nocturnos.

Los programas de semáforo corresponden a las fases que otorgan el derecho de paso a las corrientes motorizadas y no motorizadas. Cada fase es una señal con luz verde llamado intervalo de tiempo de verde, que se presenta de forma secuencial en cada ciclo de semáforo.

En los estudios se realiza el aforo de las fases, los intervalos de tiempo de señal: rojo, verde y amarillo, entre otros intervalos de tiempo, según el tipo de control de la infraestructura vial.

También se hace el inventario de los giros protegidos y permitidos en cada fase; tiempos perdidos; intervalo de descarga; entre otros.

#### ***1.3.1.5 Operación del tránsito***

En los aforos de tránsito se hace el conteo de los eventos relacionados con el estacionamiento vehicular, detenciones de autobuses para ascenso y descenso de pasajeros, accesos y salidas en los sitios de taxi, accesos y salidas desde usos de suelo con estacionamiento, operaciones de carga y descarga en la vía, entre otros.

#### **1.3.2. Metodología para el análisis de operación de intersecciones a nivel**

En el caso de intersecciones de sistemas viales es aceptado por la comunidad de expertos y científicos realizar el análisis de la operación con la metodología del Highway Capacity Manual HCM (2000) para determinar la capacidad y el nivel de servicio de cada grupo de carriles en cada acceso y en toda la intersección. Para ello se utiliza la información de los estudios de tránsito.

La metodología se muestra en la figura 4; incluye los siguientes pasos:

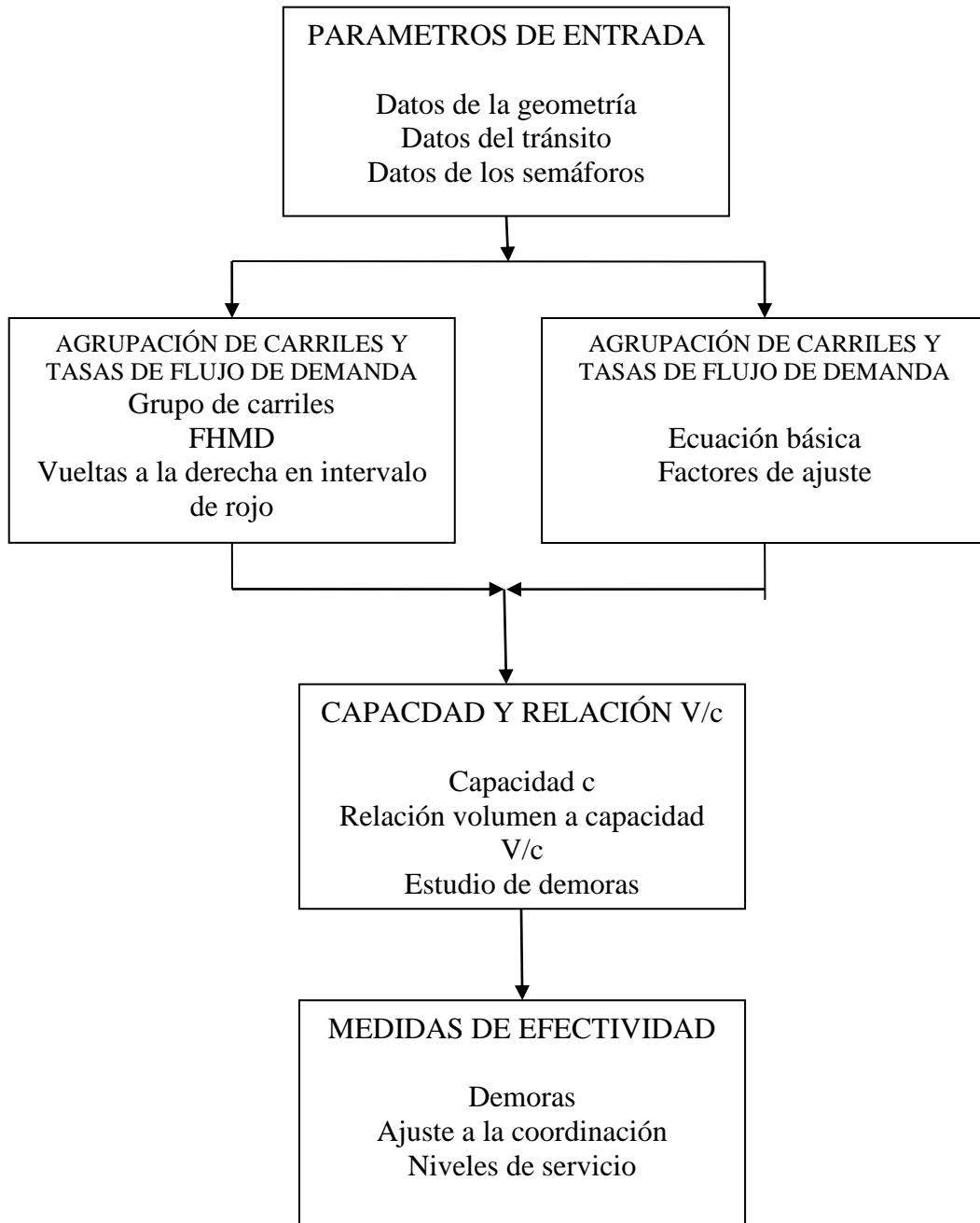
#### **Paso 1. Parámetros de entrada**

##### Condiciones geométricas

Para el análisis de las condiciones geométricas generalmente se considera la configuración física de la intersección, como: disposición de accesos y salidas, número de carriles, ancho de carriles, movimiento por carril, ubicación de estacionamientos, longitudes de bahías para vueltas y pendientes de los accesos.

**Figura 4**

*Metodología para el análisis de intersecciones controladas por semáforos*



Nota: elaboración propia con base en la figura 16-1, página 16-2, HCM (2000)

### Condiciones del tránsito

Por su parte, las condiciones del tránsito corresponden a los volúmenes de tránsito para cada movimiento en cada acceso y su composición, tal como, porción de: automóviles, autobuses y camiones; también el número de autobuses urbanos que realizan paradas, antes y después de la intersección, para el ascenso y descenso de pasajeros. De la misma manera se deben aforar los flujos peatonales y de bicicletas que entran en conflicto con las vueltas permitidas a la derecha para analizar la capacidad de cada acceso.

### Condiciones de los semáforos

Estas condiciones están relacionadas con los diagramas de movimientos direccionales que se asignan a cada fase de semáforo, tamaño o longitud del ciclo, los intervalos de tiempo de verde, así como los intervalos de cambio y de despeje por fase.

Las fases son parte del ciclo; cada fase es asignada a cualquier combinación de uno o más movimientos que reciben simultáneamente el derecho de paso, durante uno o más intervalos.

Una fase puede significar un solo movimiento vehicular, un solo movimiento peatonal, o una combinación de movimientos vehiculares y peatonales. Una fase comienza con la pérdida del derecho de paso de los movimientos que entran en conflicto con los que lo ganan. Un movimiento pierde el derecho de paso en el momento de aparecer la indicación amarilla, mientras que la longitud de ciclo es el tiempo necesario para que el disco indicador del semáforo efectúe una revolución completa. En otras palabras, es el tiempo requerido para una secuencia completa de todas las indicaciones de señal del semáforo.

Los intervalos de cambio tienen la indicación en amarillo del semáforo que sigue al intervalo verde. Es un aviso de precaución para pasar de una fase a la siguiente.

Los intervalos de despeje corresponden al tiempo que los vehículos que pierden el derecho de paso salen de la intersección. Algunas fases tienen la indicación roja para todo el tránsito que se prepara a entrar a la intersección. Es utilizado en la fase que recibe el derecho de paso después del amarillo de la fase que lo pierde, con el fin de dar un tiempo adicional que permita a los vehículos, que pierden el derecho de paso, despejar la intersección antes que los vehículos, que lo ganan, reciban el verde. No todas las fases tienen intervalo de todo rojo para dar seguridad al despeje.

El intervalo de entreverde corresponde al tiempo entre el final de verde de la fase que pierde el derecho de paso y el inicio del intervalo de verde de la fase que gana el derecho de paso, según la secuencia de fase.

En la tabla 1 se lista la información necesaria para el análisis y el tipo de condiciones que presenta la intersección con sus parámetros correspondientes.

Este método describe tres factores importantes que influyen en la velocidad de los vehículos y el nivel de servicio en las vialidades urbanas, como el medio ambiente, la interacción entre los vehículos y el control de tránsito.

## **Paso 2. Agrupación de carriles o grupos carril.**

Los grupos carril se establecen asignando a conjuntos de carriles de cada acceso de la intersección corrientes vehiculares apropiadas, tomando en cuenta la geometría de la intersección, así como la distribución los movimientos vehiculares, por ejemplo, grupo de carriles separados, carriles compartidos para varios movimientos, carriles exclusivos de vueltas a la izquierda y a la derecha, etc.

**Tabla 1***Datos de entrada para el análisis de la intersección*

TIPO DE CONDICIÓN	PARÁMETROS
CONDICIONES GEOMETRICAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Tipo de área</li> <li>● Número de carriles, N</li> <li>● Ancho de los carriles, W (m)</li> <li>● Pendiente, G (%)</li> <li>● Existencia de carriles exclusivos para los giros a la derecha e izquierda</li> <li>● Longitud del carril de giro a la derecha e izquierda, <math>L_s</math> (m)</li> <li>● Condiciones de estacionamiento, maniobras de estacionamiento</li> </ul>
CONDICIONES DE TRÁNSITO	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Volúmenes por movimiento izquierdo (LT), de frente y derecha (RT), V (veh/h)</li> <li>● Tasa de flujo de saturación base, <math>s_0</math></li> <li>● Factor de hora de máxima demanda (FHMD)</li> <li>● Porcentaje de vehículos pesados, HV (%)</li> <li>● Tasa de flujo peatonal ípor acceso, <math>v_{ped}</math>(peatones/h)</li> <li>● Actividad de estacionamiento, <math>N_m</math>, en maniobras de estacionamiento por hora</li> <li>● Parada de autobuses locales en la intersección, <math>N_B</math> (buses/h)</li> <li>● Tipo de llegadas, AT</li> <li>● Porción de vehículo que llegan en intervalo de verde, P</li> <li>● Velocidad de aproximación, <math>S_A</math> (km/h)</li> </ul>
CONDICIONES DE SEMAFORIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Longitud de ciclo, C (s)</li> <li>● Tiempo de verde, G (s)</li> <li>● Intervalo de amarillo, todo rojo y entreverde, Y (s)</li> <li>● Plan de fases</li> <li>● Botón de solicitud de peatones</li> <li>● Intervalo de verde mínimo para peatones, <math>G_p</math> (s)</li> <li>● Período de análisis, T (h)</li> <li>● Tipo de control (fijo o actuado)</li> </ul>

Nota. Elaboración propia con referencia en la figura 16-3, página 16-3 del Manual de Capacidad de Carreteras HCM (2000).

### **Paso 3. Determinación de la tasa de flujo.**

Los volúmenes de demanda de la intersección se representan como las tasas de flujo para un periodo de análisis determinado, T, ya sea 15 minutos o 1 hora. La tasa de flujo que se genera durante los 15 minutos de mayor demanda se obtiene mediante la división del volumen horario total entre el factor de hora de la hora de máxima demanda, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$v_p = \frac{V}{FHMD} \quad (1)$$

Donde:

$v_p$ : es la tasa del flujo durante 15 minutos más intensos de la hora de máxima demanda (veh/h)

V: volumen por hora (veh/h)

FHMD: factor de la hora de máxima demanda.

### **Paso 4. Determinación de la tasa de flujo de saturación.**

La tasa de flujo de saturación en un acceso o grupo de carriles corresponde a la cantidad de vehículos, que pueda pasar a través de la intersección bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y de la calle, durante el intervalo de verde, en condición saturada y sostenida o estable.

Las condiciones prevalecientes del tránsito incluyen los volúmenes por tipo de movimiento (izquierdo, de frente, derecha), su composición vehicular (automóviles, autobuses y camiones), maniobras de estacionamiento, paradas de autobuses y conflictos con peatones y ciclistas. También, considera las características geométricas de los accesos en términos del número y ancho de carriles, pendientes y uso de carriles incluyendo carriles de estacionamiento. Además, incluye la secuencia de fases, asignación de tiempos y el tipo de operación o control.

Para determinar la tasa de flujo de saturación se calcula con la siguiente expresión:

$$s_i = (s_0) (N)(f_w)(f_{HV})(f_g)(f_p)(f_{bb})(f_a)(f_{LU})(f_{LT})(f_{RT})(f_{LPb})(f_{RPb}) \quad (2)$$

Donde:

$s_i$ : Tasa de flujo de saturación del grupo de carriles i (vehículos/hora verde)

$s_0$ : Tasa de flujo de saturación base por carril (autos/hora verde carril)

N: Número de carriles del grupo de carriles

$f_w$ : Factor de ajuste por ancho de carriles

$f_{HV}$ : Factor de ajuste por vehículos pesados

$f_g$ : Factor de ajuste por pendiente del acceso

$f_p$ : Factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles

$f_{bb}$ : Factor de ajuste por bloque de autobuses que paran en el área de la intersección

$f_a$ : Factor de ajuste por tipo de área

$f_{LU}$ : Factor de ajuste por utilización de carriles

$f_{RT}$ : Factor de ajuste por vueltas a la derecha

$f_{LPb}$ : Factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la izquierda

$f_{RPb}$ : Factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la derecha

En la tabla 2 se muestra las expresiones y las variables definidas para determinar los diferentes factores de ajuste para el cálculo de la tasa del flujo de saturación.

### **Paso 5. Determinación de la capacidad y la relación volumen a capacidad.**

La capacidad de una infraestructura vial es el número máximo de vehículos que razonablemente pueden pasar por un punto o una sección uniforme de una vía o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control.

Por lo tanto, la capacidad se determina en términos de la relación entre el volumen ( $v$ ) y la capacidad ( $c$ ), mientras el Nivel de Servicio (NS) se calcula en base en la demora controlada por el vehículo en (s/veh) que es la porción de la demora total de la operación de los semáforos, lo cual incluye demoras por desaceleración, colas, tiempo de rojo y arranque.

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$c_i = s_i \frac{g_i}{C} \quad (3)$$

Donde:

$c_i$  : Capacidad del grupo de carriles (vehículos/hr)

$s_i$ : Tasa de flujo de saturación del grupo de carriles (vehículos/hora/verde)

$g_i$ : Intervalo de verde efectivo para el grupo de carriles

$C$ : ciclo del semáforo (segundos)

$\frac{g_i}{C}$ : Relación de verde efectivo para el grupo de carriles

**Tabla 2**

*Fórmulas de factor de ajuste para determinar la tasa de flujo de saturación para cada grupo de carriles de la intersección.*

Factor	Fórmula	Tipo de variable
Ancho de carriles	$f_w = 1 + \frac{W - 3.6}{9}$	W: ancho de carril (m)
Vehículos pesados	$f_{HV} = \frac{100}{100 + \%HV(E_t - 1)}$	%HV: porcentaje de vehículos pesados $E_t = 2 \text{ autos}/HV$
Pendiente	$f_g = 1 - \frac{\%G}{200}$	%G pendiente en el acceso
Estacionamiento	$f_P = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N}$	$N_m$ : número de maniobras de estacionamiento
Bloqueo de buses	$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4N_B}{3600}}{N}$	$N_B$ = número de buses que paran en una hora
Tipo de área	$f_a = 0.900 \text{ en CBD}$ $f_a = 1.000 \text{ en otras áreas}$	CBD: distrito central de negocios
Utilización de carriles	$f_{LU} = \frac{v_g}{v_{g1}N}$	$v_g$ =tasa de flujo de demanda no ajustada, $v_{g1}$ =tasa de flujo no ajustada del carril con el volumen más alto del grupo, N número de carriles del grupo
Vueltas a la izquierda	Carril exclusivo: $f_{LT} = 0.95$ Carril compartido: $f_{LT} = 1/(1 + 0.05P_{LT})$	$f_{LT}$ : proporción de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles $P_{LT}$ : proporción de flujo a la izquierda
Vueltas a la derecha	Carril compartido $f_{RT} = 1.0 - 0.15 P_{lt}$	$f_{RT}$ : proporción de vueltas a la derecha en el grupo de carriles
Bloqueo por peatones y bicicletas	Ajuste LT $f_{Lpb} = 1.0 - P_{lt}(1 - A_{pbT})$ Ajuste RT $f_{Rpb} = 1.0 - P_{Rt}(1 - A_{pbT})$	$f_{LT}$ = proporción de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles $f_{RT}$ = proporción de vueltas a la derecha en el grupo de carriles

Nota. Elaboración propia con referencia en la figura 16-7, página 16-11 del Highway Capacity

Manual HCM (2000).

### Relación volumen a capacidad

La relación volumen a capacidad, propiamente llamada grado de saturación, se expresa con una  $X$  para el análisis de la intersección, para un grupo de carriles  $i$ , se obtiene  $X_i$ , con la siguiente ecuación:

$$X_i = \frac{v_i}{c_i} \quad (4)$$

Donde

$X_i$ : es la relación de flujo del grupo de carriles  $i$

$v_i$ : es la tasa de flujo de la demanda actual o proyecto de grupo de carriles  $i$  (veh/hr)

$c_i$ : es la capacidad de grupo de carriles  $i$  (veh/hr)

### **Tasa de flujo de los grupos de carriles críticos**

Otra medida de desempeño de la operación de la intersección es la relación  $v/c$  crítica también conocida como grado de saturación crítico de la intersección,  $X_c$ , la cual considera los grupos carril con la razón  $v/s$  más alta; se obtiene con la siguiente ecuación:

$$X_c = \sum \left( \frac{v}{s} \right)_{ci} \left( \frac{c}{c-L} \right) \quad (5)$$

Donde:

$X_c$ : Relación volumen a capacidad crítico de la intersección

$\sum \left( \frac{v}{s} \right)_{ci}$  : Sumatoria de las relaciones de flujo de todos los grupos carril críticos  $i$

$C$ : ciclo del semáforo (s)

L: tiempo total perdido por ciclo (s)

### Paso 6. Determinación de las demoras.

Los indicadores de desempeño derivados del cálculo de la demora son: la demora media por control experimentada por todos los vehículos que llegan en el periodo de análisis, incluidas las demoras cuando el grupo carril está saturado, por grupo carril, por acceso y en toda la intersección. La demora por control incluye los movimientos a velocidades bajas y las detenciones en los accesos en la intersección.

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (6)$$

**Donde:**

$d$ : Demora media por control (s/veh)

$d_1$ : Demora uniforme (s/veh)

$$d_1 = \frac{0.50 * C \left[ 1 - \left( \frac{g}{C} \right) \right]^2}{\left[ 1 - \left( \min(1, X) * \left( \frac{g}{C} \right) \right) \right]} \quad (7)$$

Donde:

$d_1$  = demora por control uniforme asumiendo llegadas uniformes (s/veh)

$C$  = Duración del Ciclo

$g$  = Tiempo de verde efectivo para cada grupo carril (s)

$X$  = Relación  $v/c$

$d_2$ : Demora incremental (s/veh)

$$d_2 = 900T \left[ (X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8klX}{cT}} \right] \quad (8)$$

Donde:

T: duración del período de análisis (h)

k: factor de demora incremental que depende del tipo de controlador de semáforo (figura 16-13, página 16-21 del HCM, 2000)

l: factor de ajuste por filtro o ingreso de corrientes vehiculares corriente arriba de la intersección

c: capacidad del grupo carril

X: razón volumen a capacidad

$d_3$ : Demora por cola inicial (s/veh)

$PF$ : Factor de ajuste por coordinación; depende del tipo de arribo o la distribución de llegada de los vehículos a la intersección

$$PF = \frac{(1-P)*f_{PA}}{1-\left(\frac{g}{C}\right)} \quad (9)$$

Donde:

P: es la proporción de vehículo que llega en el intervalo de verde

$\frac{g}{C}$ : Razón verde efectivo a ciclo

$f_{PA}$ : Factor de ajuste por tipo de arribo, AT, del grupo de vehículo o pelotón durante el intervalo de verde (tablas 16-11, 16-12 página 16-20 del HCM,2000)

Demora por acceso,  $d_A$ :

Las demoras en cualquier acceso se determinan como un promedio ponderado de las demoras totales de todos los grupos de carriles del acceso, utilizando los flujos ajustados de los grupos de carriles.

$$d_A = \frac{\sum_{j=1}^A (d_i V_i)}{\sum_{j=1}^A V_i} \quad (10)$$

Donde:

A: número de grupo de carriles en el acceso A

$d_A$ : Demora en el acceso A (s/veh)

$d_i$ : Demora en el grupo de carriles i, en el acceso A (s/veh)

$V_i$ : Volumen ajustado en el grupo de carriles ii (veh/hr)

Demora de la intersección  $d_I$ :

Las demoras en la intersección se determina como un promedio ponderado de la demoras en todos los accesos de la intersección.

$$d_I = \frac{\sum_{A=1}^I (d_A V_A)}{\sum_{A=1}^I V_A} \quad (11)$$

Donde:

I: número de accesos de la intersección I

$d_I$ : Demora en la intersección I (s/veh)

$d_A$ : Demora en el acceso A (s/veh)

$V_A$ : Volumen ajustado del acceso A (veh/h)

## **Paso 7 Determinación del nivel de servicio.**

El nivel de servicio, NS, es una medida cualitativa de las condiciones de operación del flujo de usuarios de una intersección vial y depende de la demora por control media con referencia en el auto particular HCM (2000). El HCM (2000) establece seis niveles: A, B, C, D, E y F; siendo el nivel de servicio A la condición de demora más baja, hasta el nivel F la condición saturada.

Los detalles de los pasos antes mencionados de la metodología se encuentran en el capítulo 16 Highway Capacity Manual (Transportation Research Board, TRB, HCM, 2000). Los indicadores antes explicados proporcionan información para un análisis detallado sobre la operación de la intersección; sirven para medir el nivel de efectividad y servicio relacionados con las condiciones prevalecientes en la intersección de interés.

Otros recursos de análisis de operación de intersecciones controladas con semáforo para definir el nivel de servicio son programas computarizados que realizan algoritmos con base en la metodología de manual de capacidad, así como rutinas de simulación. Con estas herramientas es posible analizar las condiciones actuales de una intersección reguladas con semáforo, simular con los datos existentes y revisar nuevas soluciones que mejoren el desempeño del sistema.

### **1.3.3 Programas de cómputo**

Existen herramientas de cómputo comerciales que ofrece la metodología del HCM (2000) para la planeación, operación y revisión de intersecciones controladas con semáforos; además de procesos de simulación del tráfico. A continuación se enlistan algunas que ofrece el mercado, entre otras:

**HCS (Highway Capacity Software).** Este software puede realizar modelos de análisis de nivel operativo y de planificación para calles de superficie, incluidas intersecciones,

autopistas, arterias, etc., con las metodologías del HCM 2000. Evalúa y mejora la sincronización de la señalización mediante algoritmos para el dimensionamiento y el adecuado análisis de la circulación de la infraestructura de transporte. (Highway Capacity Software; Cal y Mayor y Cárdenas, 2018).

**SYNCHRO STUDIO (Synchronization).** Synchro es un software de micro simulación de sistemas de tránsito vehicular que permite diseñar y optimizar señales de tráfico, corredores y redes para mejorar la movilidad, reducir la congestión y mejorar la seguridad. Además, permite simular los ambientes más comunes de tránsito con alto nivel de detalle, las distintas configuraciones de vías, cambios de carril, intersecciones semaforizadas y no semaforizadas, intersecciones de dos o más vías, entre otros, algunas ventajas que ofrece son (Cal y Mayor y Cárdenas, 2018; Cubic Transportation Systems Inc, 2023):

- Interacción, de tal manera, que cuando se efectúan cambios en los datos de entrada, los resultados se actualizan automáticamente, y los planes de operación son mostrados en diagramas de tiempo-espacio de fácil interpretación.
- Modela eficientemente redes de tráfico complejas
- Proporciona múltiples métodos de análisis
- Simula las condiciones de tráfico existentes en una red vial contando con una variedad de parámetros ligados a un reporte gráfico que permite valorar de manera directa qué tan aproximados son los resultados respecto de los datos de campo.

**PTV VISTRO (Vision Traffic Optimization).** Es un software de ingeniería que permite realizar análisis de tránsito complejos con metodologías y herramientas necesarias para completar estudios de ingeniería de tráfico e impacto vial. Optimiza la programación de los

semáforos, calcula niveles de servicio de la intersección, maneja de múltiples escenarios, entre otros. (Cal y Mayor y Cárdenas, 2018; PTV Planning Transport Verkehr GmbH, 2023).

**SIDRA INTERSECTION (Signalized and Unsignalized Intersection Design and Research Aid).** Es una herramienta de modelación de tráfico utilizada en el área de planificación, gestión, diseño y operación del tráfico y el transporte, modela intersecciones, calles y redes de transporte, también analiza el impacto del tráfico, diseño geométrico de rotondas y operaciones eficientes de sistemas de control de señales de tráfico. (Cal y Mayor y Cárdenas, 2018; Akcelik& Associates PTY LTD, 2023).

**TRANSYT-7F (Traffic Network Study Tool).** Es un programa de simulación de tráfico que optimiza la sincronización de señales de semáforos, la duración de ciclo y la secuencia de fases semaforicas; permite un análisis detallado del progreso del flujo de tráfico en periodos de tiempos actuados. (Cal y Mayor y Cárdenas, 2018; University of Florida, McTrans Center, 2023).

**TSIS (Traffic Software Integrate System).** Es un simulador de tráfico microscópico capaz de modelar calles, autopistas y redes urbanas complejas, básicamente compuestas por arterias con o sin semáforos. El programa reproduce en forma aproximada la realidad, facilitando así la comparación de diferentes alternativas de solución a un mismo problema específico, de una manera rápida, económica y eficiente. (Cal y Mayor y Cárdenas, 2018; University of Florida, McTrans Center, 2023).

Los softwares tienen alto costo y son de difícil acceso, por lo que una de las herramientas que se utiliza para los cálculos de este trabajo de investigación es la programación de la metodología (HCM 2000) para el análisis de capacidad y nivel de servicio en la hoja de cálculo Excel. Tiene ventajas como su fácil acceso, funciones matemáticas y de graficas, útiles para

analizar datos de campo. Los análisis son explicados en el capítulo. Permite simular varios escenarios y observar la sensibilidad del modelo.

#### **1.4 Antecedentes**

Dentro de las características del sistema de transporte se encuentran las externalidades, tal como, la accidentalidad y el congestionamiento, que ocasionan graves problemas de salud, impactos al ambiente, la economía y la calidad de vida de los habitantes. Los accidentes de tránsito ocasionan bajas entre la población, de acuerdo con las estadísticas de muertos y heridos, además de los daños a la salud y pérdidas económicas, entre otros problemas. (Cal y Mayor y Cárdenas, 2007).

La Ciudad de México ha tenido en los últimos años un crecimiento acelerado de edificaciones para vivienda, oficinas y centros comerciales, que no ha ido acompañado de servicios, espacios públicos e infraestructura para la movilidad y el transporte.

La demanda se incrementó y el patrón de viajes-persona se diversifica, aumentando las distancias y la red de destinos finales. Llegando tarde al compromiso. (La crisis del transporte en la Ciudad de México, Islas R. V. 2000, pg. 13).

Los problemas de tránsito, los accidentes viales, la demanda no atendida, pérdida de tiempo por las colas que se forman en los accesos de la intersección, la contaminación y otros factores que imperan en las grandes ciudades, dentro de un sistema vial, se presentan como externalidades que impactan de forma negativa la movilidad de los usuarios y los modos de transporte. Es por ello, que el gobierno de la Ciudad de México pone en marcha proyectos de alto costo que logren una solución óptima en la infraestructura vial.

Parte de la gestión y la planeación del tránsito y la movilidad se presenta por el gobierno de la Ciudad de México en el documento *Plan Estratégico de Movilidad* (Gobierno de la Ciudad de México, 2019), donde plantea como eje principal, la seguridad y la integridad de los usuarios.

“El Plan Estratégico de Movilidad de la Ciudad de México, (2019)” plantea ejes estructurales con los siguientes objetivos:

- Integrar una imagen física y operacional de los distintos sistemas de transporte de la Ciudad.
- Mejorar el estado de abandono y deterioro de la infraestructura y servicios de transporte existentes, con el objetivo de aumentar las condiciones de accesibilidad y viaje de los ciudadanos de los distintos sistemas de movilidad de la ciudad y
- Proteger la integridad de las personas que utilizan los distintos sistemas de transporte, por medio de provisión de infraestructura y servicios incluyentes, dignos y seguros.

En México los accidentes de tránsito son la séptima causa de muerte más común de la población en general, mientras en la población entre 5 y 29 años los accidentes de tráfico de vehículos representan la segunda causa de muerte sólo después de las agresiones (homicidios) (Programa Integral de Seguridad Vial, Gobierno CDMX, 2021-2024).

Este tipo de accidentes se han incrementado últimamente, de tal forma que la tasa de mortalidad se ha mantenido constante en 18 muertes por cada 100,000 habitantes. En consecuencia, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) proclama el periodo 2011-2020 como el Decenio de Acción para la Seguridad Vial (ONU, 1 de marzo del 2010). En ésta se establece como objetivo general reducir las cifras previstas de víctimas mortales en accidentes de tránsito en todo el mundo aumentando así las actividades en los planos, tanto nacional, regional, como a nivel mundial.

Estas muertes están relacionadas con los accidentes de tránsito en México que representan una tasa de 12.98 fallecimientos por cada 100,000 habitantes, valor que se encuentra por debajo del promedio mundial. (Programa Integral de Seguridad Vial 2021-2024, Gobierno CDMX).

En la tabla 3 se observa que las muertes en accidentes de tránsito ya ocupan el séptimo lugar en importancia, respecto a otro tipo de decesos.

**Tabla 3**

*Principales causas de muerte*

No	Causa de muerte	Defunciones
1	Diabetes mellitus	101,257
2	Infarto agudo de miocardio	100,552
3	Agresiones (homicidios)	36,685
4	Neumonía	27,936
5	Otras enfermedades del hígado	25,339
6	Enfermedades pulmonares obstructivas crónicas	23,414
7	Accidentes de tráfico de vehículos de motor	15,569
8	Enfermedad alcohólica del hígado	13,948
9	Insuficiencia renal	13,845
10	Los demás accidentes y efectos tardíos	10,763

Nota: elaboración propia con referencia en el Programa Integral de Seguridad Vial 2021-2024 (Gobierno CDMX).

Para mitigar los accidentes de tránsito y minimizar los riesgos de usuarios vulnerables se requiere de infraestructura segura y accesibilidad universal para caminar y moverse en medios no motorizados como la bicicleta.

Dentro de las estadísticas de accidentalidad mencionadas anteriormente el gobierno y las entidades involucradas de la CDMX analizan esas causas como un elemento de prioridad que, por medio del plan estratégico de movilidad estudian y llevan a cabo una serie de intervenciones en 100 intersecciones (vías principales) con hechos de tránsito.

Para esta tesis se elige para el caso de estudio el Eje 10 Sur y Av. Cerro del Agua, donde el gobierno presenta propuestas de mejora y seguridad vial por medio del plan estratégico de movilidad. Sin embargo no presenta medidas de capacidad y nivel de servicio por lo tanto, en el contenido de la tesis se desarrollan los estudios necesarios para obtener las medidas de desempeño en términos del análisis de la operación de la intersección.

Asimismo, SEMOVI, SOBSE y SSC llevan a cabo las obras correspondientes, para (Intersecciones Seguras, Gobierno de la Ciudad de México, 2019 – 2020):

- Mejorar las condiciones de seguridad vial para todas las personas usuarias
- Dotar de accesibilidad universal y mejorar criterios para las personas con discapacidad motriz, visual y auditiva.
- Reducción de demoras en recorrido para los diferentes tipos de personas usuarias en las intersecciones más peligrosas y conflictivas ubicadas en la red vial primaria de la Ciudad de México.

Las obras de mejora en la intersección E10 – CA emitidas por el Gobierno de la CDMX, a través de SOBSE son:

- Reacomodo de la infraestructura vial, geometría y el equipamiento urbano.
- Alineaciones geométricas de banquetas y guarniciones
- Mantenimiento de la superficie de rodamiento
- Retiro de obstáculos.
- Se interviene y se modifica la programación y la operación de nuevos semáforos vehiculares
- Se adaptan semáforos peatonales en cada zona de los camellones y esquinas de cada acceso de la intersección

- Se realiza la canalización y adecuación geométrica de isletas y áreas de espera específicas para los peatones y ciclistas, pensadas para reducir distancias y tiempo de exposición a los conflictos de tránsito
- Adecuación de aceras y camellones
- Obras de modificación en la geometría de las vías para facilitar las maniobras de giro en U para disminuir los conflictos en la intersección.
- Construcción de jardineras, guarniciones, relleno de tierra y siembra de nuevas plantas
- Instalación de dispositivos de seguridad peatonal (bolardos) para los pasos peatonales.
- Instalaciones para iluminación, balizamiento de superficie y trayectorias de vehículos que hacen sus maniobras de giro izquierdo en cada acceso de la vialidad
- Señalización para la circulación de tránsito de accesibilidad universal para todos los usuarios de forma cómoda y segura.

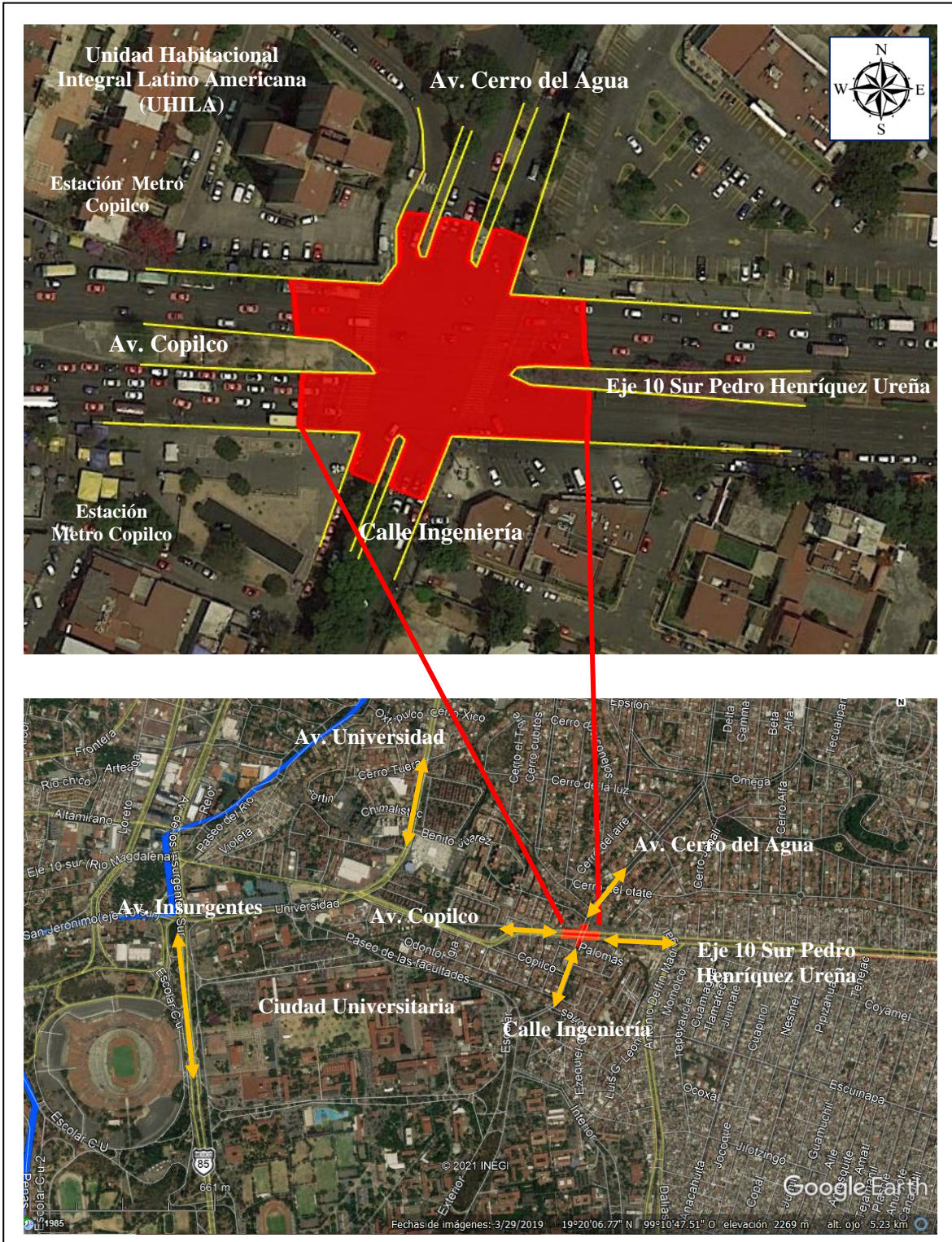
Por todo lo mencionado anteriormente y a partir de los antecedentes, las problemáticas y situaciones de accidentes de tránsito se elige a la intersección Eje 10 Sur y Av. Cerro del Agua para su intervención y su mejora.

En este documento de investigación se desarrollan los conceptos teóricos, así como el enfoque de sistemas y la metodología del manual de capacidad del HCM (2000) para la intersección, caso de estudio Eje 10 Sur y Av. Cerro del Agua.

En la figura 5 se presenta la localización de la intersección como caso de estudio.

**Figura 5**

*Localización de la intersección Eje 10 Sur y Av. Cerro del Agua*



Nota: elaboración propia imágenes obtenidas de Google Earth, 10 Marzo 2021.

## **Capítulo 2 Proceso CLIOS: descripción de componentes, relaciones y elementos emergentes del sistema vial intersección Eje 10 Sur y Cerro del**

### **Agua**

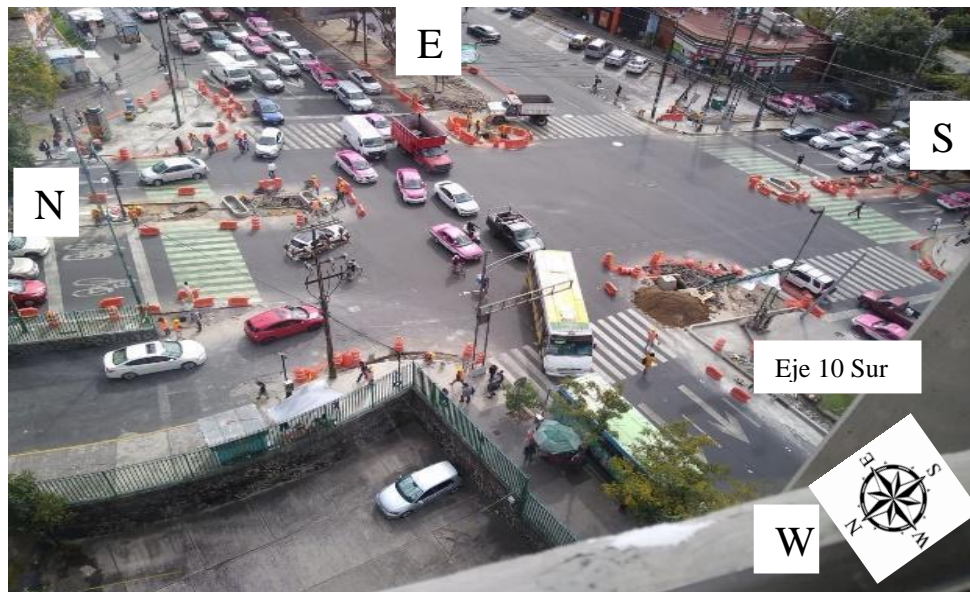
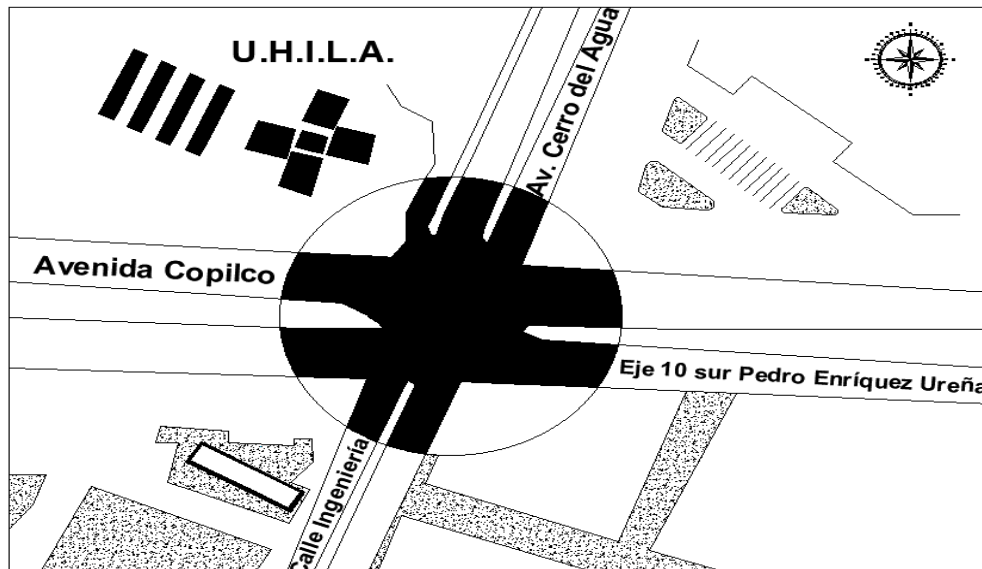
A partir de la metodología descrita en forma general en el diagrama del proceso CLIOS, figura 3, adaptado de Dodder y Sussman (2002), enfocado a responder la pregunta de investigación, en este capítulo se lleva a cabo la descripción detallada de los componentes del sistema de transporte y tránsito, mostrados en la figura 1, sus relaciones y los elementos emergentes que señalan los problemas e incertidumbres de su operación. Para ello se identifican capas de información relacionada, tales como: uso de suelo, la red vial, la red de transporte colectivo de pasajeros, la infraestructura de control, la gestión, así como las condiciones de operación del sistema intersección Eje 10 Sur y Av. Cerro del Agua (E10 - C.A.). Luego se delimita la zona de estudio considerando los usos de suelo, las actividades económicas y zonas habitacionales entre otros. Se realiza el inventario de las rutas de transporte público que circulan dentro de la intersección, ya que es un nodo de transferencia modal, cuya operación influye en las problemáticas que se presentan dentro de la zona de estudio y la vialidad.

Se presentan los estudios de condiciones existentes, las observaciones de los problemas de tránsito relacionados con: la ocupación e invasión de espacios para estacionamiento, el transporte público, la señalización, por mencionar algunos.

En la figura 6 se presenta la intersección Eje 10 Sur y Avenida Cerro del Agua, tomada caso de estudio en esta tesis.

**Figura 6**

*Intersección de estudio Eje 10 Sur y Avenida Cerro del Agua*



Nota: imagen propia de la intersección eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña y Av. Cerro del Agua,

24 noviembre 2019

## 2.1 Alcaldía Coyoacán

El nombre de Coyoacán proviene del origen del náhuatl, que deriva de los vocablos Coyotl coyote y se traduce como *Lugar de los dueños de Coyotes*. Se ubica en el centro de la Ciudad de México, posee una superficie de 54.12 kilómetros cuadrados. Colinda al norte con Benito Juárez, al oriente con Iztapalapa, al suroeste con Xochimilco, al sur con Tlalpan y al poniente con Álvaro Obregón (Coyoacán, Alcaldía, 2021).

Cuenta con equipamientos metropolitanos entre los que destaca la colonia Ciudad Universitaria, donde se ubica la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). También, el Hospital Nacional de Pediatría, el Instituto Mexicano de Psiquiatría y el Centro Comercial Perisur al suroeste, al norte se localizan la Escuela Nacional de Música, el Centro Nacional de las Artes y la central de Autobuses del Sur y, al sureste se encuentra la Secretaría de Marina y la Universidad Metropolitana de Xochimilco. El radio de influencia de estos equipamientos es de alcance metropolitano, regional y nacional (Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Coyoacán, PDDUC, 2013, pg. 16).

La demarcación ha jugado un papel importante en el desarrollo urbano del sector suroriente de la Ciudad de México, pues por cerca de dos décadas se consideró una zona apta para el crecimiento habitacional. Se ha caracterizado por tener una tendencia al equilibrio en cuanto a su dinámica de crecimiento y forma parte del área consolidada de la CDMX junto con su función habitacional predominante y la ubicación del centro educativo más importante del país, Ciudad Universitaria.

La intersección E10 - C.A. se encuentra ubicada al noroeste de la demarcación territorial. Coyoacán, entre el Eje 10 Sur Pedro Henríquez Ureña y Av. Cerro del Agua, donde se identifica

como punto de acceso e intercambio modal la estación de la línea 3 del metro Copilco y el acceso noreste a la UNAM.

Otro aspecto de importancia es conocer las vialidades principales entre ellas se encuentran, en dirección norte-sur: Av. División del Norte, Calzada de Tlalpan, Calzada Miramontes, Avenida Insurgentes, Avenida Aztecas y Avenida Universidad; en dirección este-oeste, los ejes viales 10 Sur Pedro Henríquez Ureña, Sur la Avenida Miguel Ángel de Quevedo y Avenida Taxqueña, Las Bombas, Calzada Del Hueso y Calzada De la Virgen. En la figura 7 se observa las vialidades principales y la zona de influencia.

## **2.2 Uso de suelo (habitacional, habitacional con comercio, equipamiento)**

Para la descripción de los usos de suelo en la intersección se realizan recorridos donde se logra identificar zonas habitacionales (residenciales), equipamiento (zonas escolares) y zonas habitacionales con comercio (actividades principales de establecimientos de comercio, de servicios público y privado). Sin embargo, estos usos de suelo son considerados mixtos porque dada su actividad económica influye en una problemática de espacio urbano, la cual se concentra dentro de los alrededores de la intersección vial. La figura 8 muestra el plano de uso del suelo tomado del Programa Delegacional de Desarrollo Urbano (PDDU, 2013), actualmente vigente (Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, SEDUVI, de la Ciudad de México, 2013). En la tabla 4 se explica la simbología de los usos del suelo.

Con el incremento de la población los problemas de vialidad, la carencia de infraestructura y de servicios comenzaron a agudizarse. A pesar de contar con arterias que integran la red vial principal de la Ciudad de México, la concentración masiva y prolongada de la población ha tendido a saturar las redes de infraestructura. (Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Coyoacán, PDDUC, 2013, pg. 5).

## Figura 7

*Vialidades principales que colindan con el Eje 10 sur y Av. Cerro del Agua*



Nota: elaboración propia en Google Earth.

Existen actividades que predominan dentro de la zona de estudio y se identifican como establecimientos de comercio y servicios, además se concentran zonas habitacionales que forman parte del uso mixto. En la figura 9 se muestra la zona de interés identificando los usos de suelo

En la figura 10 se presentan algunas imágenes donde se puede observar los usos de suelo de comercios y servicios.

### **2.3 Servicio de transporte público de pasajeros**

El uso del transporte público es un bien común que facilita el acceso a todas las actividades de la Ciudad. Actualmente, padece de desarticulaciones entre los diferentes modos y sistemas que lo componen, por lo que su expansión y reconfiguración en un sistema integrado y que involucre ambientes seguros, es una tarea fundamental para reducir impactos negativos en

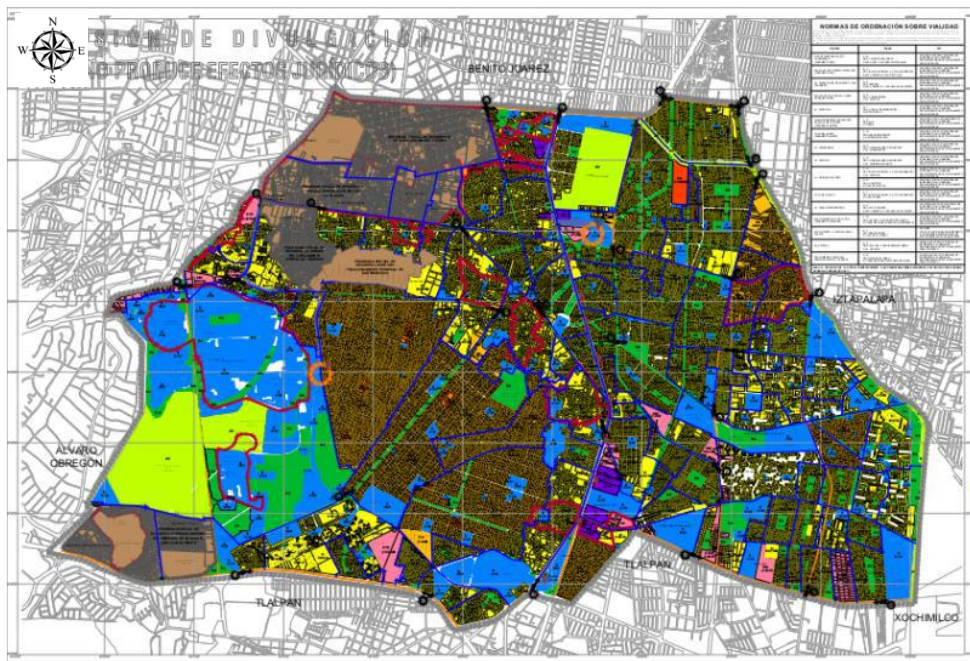
los tiempos y la calidad de los traslados (Programa General de Desarrollo del Distrito Federal, PGDDF, 2013, p. 95).

En ciudades grandes, en ciertos periodos del día, se presentan congestionamientos viales, invasión de estacionamientos públicos y privados por parte de vehículos particulares, camiones de transporte público de pasajeros y de carga; por tales motivos existe congestión en la vialidad, falta de infraestructura urbana y control de tránsito, entre otros.

Los servicios de transporte público de pasajeros como: el sistema de transporte colectivo metro, los taxis particulares, los microbuses son esenciales para los usuarios que realizan sus viajes a zonas de trabajo, centros educativos, comerciales, así como sus espacios de recreación.

### Figura 8

*Diferentes tipos de uso de suelo en la intersección de estudio*



Nota: Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, SEDUVI, de la Ciudad de México, 2013

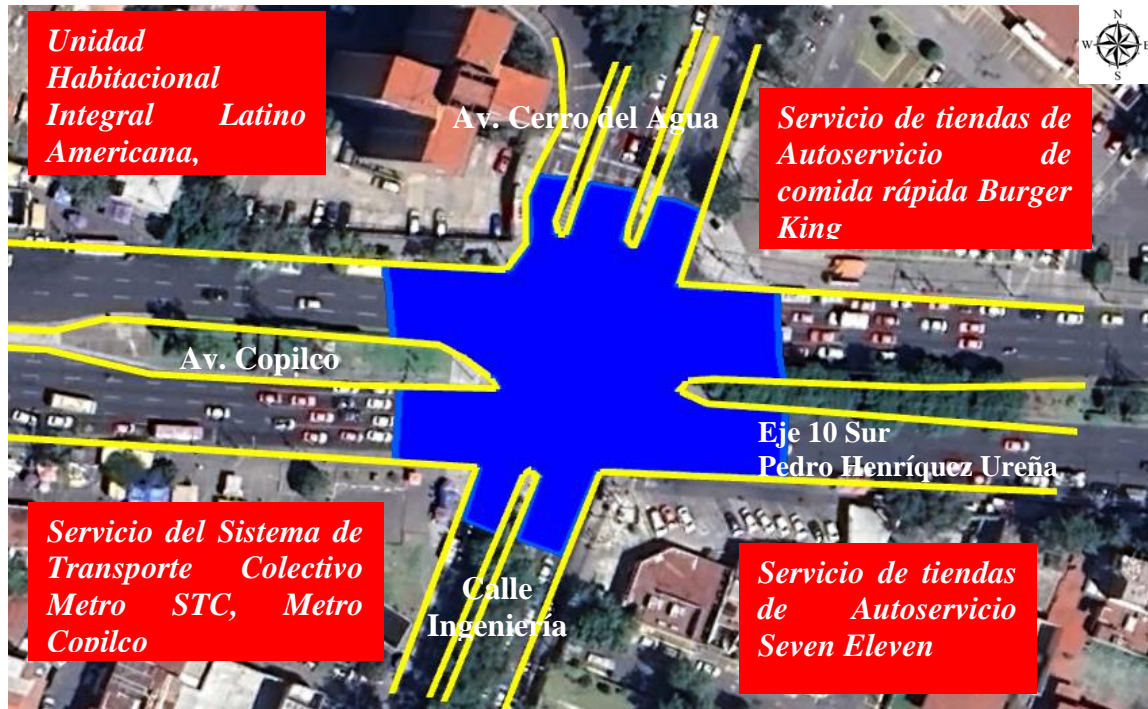
**Tabla 4***Lista de los tipos de suelo en la zona de estudio*

<b>TIPOS DE USO DE SUELO</b>		
<b>Habitacional</b>	<b>H</b>	Predomina la zona habitación en forma individual o en conjunto de dos o más viviendas.
<b>Habitacional con Comercio</b>	<b>HC</b>	Predomina la mezcla de comercio al por menor en minisúper y servicios básicos con el objeto de impulsar el crecimiento económico
<b>Habitacional Mixto</b>	<b>H</b>	Permite la mezcla de uso de suelo habitacional combinado con comercio y servicios.
<b>Equipamiento</b>	<b>E</b>	Se permiten todo tipo de servicios públicos o privados con el propósito principal de dar atención a la población mediante los servicios de salud, educación y cultura.
<b>Espacios Abiertos</b>	<b>EA</b>	Se incluye plazas, parques, juegos infantiles, jardines públicos, instalaciones deportivas y áreas verdes en vialidades como espacios que deben conservarse
<b>Habitacional con Oficinas</b>	<b>HO</b>	Predios con frente a corredores urbanos existentes con presencia de edificios y oficinas
<b>Áreas Verdes</b>	<b>AV</b>	Espacios no aptos para urbanizarse y que forman parte de los elementos de valor ambiental que deben conservarse
<b>Centros de Barrio</b>	<b>CB</b>	Se ubican en los centros de las zonas habitacionales, cuentan con equipamientos, actividades comerciales y de servicio básico cuyo rango de influencia es el barrio y se consideran de bajo impacto

Nota: elaboración propia con datos al Programa Delegacional de Desarrollo Urbano (SEDUVI, PDDU Coyoacán, 2013).

## Figura 9

Principales actividades en la zona de interés.



Nota: elaboración propia intersección eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña y Av. Cerro del Agua,  
24 noviembre 2019.

Adicionalmente, algunas de las rutas de transporte público que operan sobre la intersección E10 - C.A. son un factor relevante en la operación del tránsito en la zona. A continuación, en la tabla 5 se listan las rutas de transporte público que transitan diariamente en la intersección de estudio.

## Figura 10

*Diversidad de comercios y servicios en los accesos de la intersección Eje 10 Sur.*



Nota: elaboración propia intersección eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña y Av. Cerro del Agua,

24 noviembre 2019.

**Tabla 5**

*Lista de las rutas de transporte público que se encuentran en la zona de estudio.*

<b>Modo de Transporte</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>ORIGEN</b>	<b>DESTINO</b>
RTP	Ruta 123 <sup>a</sup>	Metro Universidad	Pedregal De San Nicolás
	Ruta 128	Metro Universidad	San Bernabé/Oyamel
Autobús	Ruta 112	Cerro del judío	San Lorenzo
	R 212	Metro Tasqueña	Ciudad Universitaria
Microbús	Ruta 49	Av. Aztecas	Av. Rey Tepalcatzin
	Ruta 12	Metro Taxqueña	Ciudad Universitaria
	Ruta 87	Metro Copilco	Zacatón Por Bosques
	Ruta 45	Nezahualpilli	San Ángel
	Ruta 87	Lomas de Padierna	Metro Taxqueña
	Ruta 30	Av. Aztecas	Cerro Del judío
Taxis	Sitio	Calle ingeniería	Ciudad Universitaria
			Universidad Latina

Nota: elaboración propia, datos obtenidos en campo 24 noviembre 2019

## **2.4 Gestión del sistema de transporte por el gobierno de la CDMX**

Dentro de la gestión del sistema de transporte y de tránsito en la intersección de estudio, las dependencias de gobierno se encargan de la organización, la planeación y el control operativo para llevar a cabo las adecuaciones necesarias para la mejora del flujo de las corrientes vehiculares. A continuación se mencionan algunas de las funciones que realizan.

### **2.4.1 Planeación del sistema**

La SEMOVI se encarga de la planeación y el desarrollo de la movilidad del sistema de tránsito y del sistema de transporte en la CDMX, le corresponde la regulación, programación, organización y supervisión de los servicios de transporte público, además de la mejora en infraestructura vial, incluyendo la creación de ciclovías, vías de acceso controlado, carriles de transporte público, entre otros.

### **2.4.2 Gestión del tránsito**

La SSC implementa estrategias para gestionar y mejorar el flujo de tránsito en zonas urbanas y en carreteras, así como la seguridad vial en la CDMX; también realiza operaciones de tránsito, tal como la regulación y control con elementos de señalización fija, variable y temporizada como los semáforos, acciones para prevenir accidentes y campañas de educación vial.

### **2.4.3 Gestión del transporte**

En la intersección se oferta diversos servicios de transporte tanto público como privado regulados por SEMOVI y monitoreados por la SSC; entre ellos se encuentra el transporte público de los autobuses, como sistema concesionado, el transporte individual, como los taxis, el transporte de empresas de carga de mercancías y también se encuentra el sistema de transporte colectivo metro.

#### **2.4.4 Ejecución de las obras**

Por su parte, SOBSE se encarga de planear, organizar y regular las obras públicas para garantizar la accesibilidad. Justamente en la intersección E10 - C.A. se lleva a cabo la construcción, el mantenimiento y la remodelación de aceras y camellones, entre otras relacionadas con el desarrollo y los equipamientos urbanos.

#### **2.5 Sistema de control de tránsito**

De la misma manera la SSC se encarga de la coordinación, monitoreo, sistematización y control del personal policía de tránsito. La SSC tiene a su cargo el control para mejorar la movilidad y reducir el tiempo de espera en los semáforos. Además es responsable de las 3200 intersecciones semaforizadas en la CDMX. (Programa Integral de Movilidad de la CDMX, 2019 – 2024)

El control semafórico en la intersección E10 - C.A. se realiza mediante 4 fases:

- Primera fase corresponde al acceso norte Av. Cerro del Agua, donde el giro derecho entra en conflicto con el cruce peatonal y con los giros en U
- Segunda fase corresponde al acceso este, Pedro Henríquez Ureña, donde el giro derecho entra en conflicto con el cruce peatonal
- Tercera fase corresponde al acceso sur calle Ingeniería y al acceso UHILA; en este caso estas corrientes vehiculares entran en conflicto, ya que se presenta el cruce de los movimientos directos con los giros izquierdos, respectivamente.
- Cuarta fase corresponde al acceso oeste, Av. Copilco, donde el giro derecho entra en conflicto con el cruce peatonal.

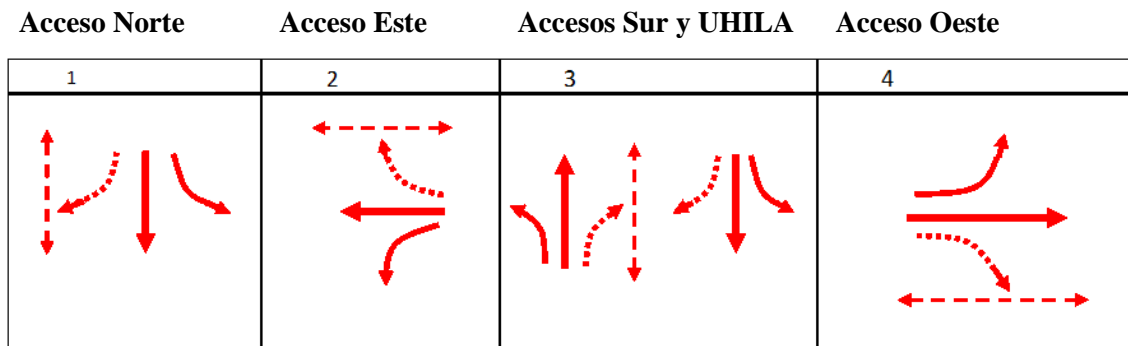
Se analizan las condiciones de operación de los flujos motorizados y no motorizados así como, los conflictos vehiculares por fase mediante videograbaciones tomadas (por el autor) desde la terraza de uno de los edificios de la UHILA.

En la figura 11 se muestran las cuatro fases que integran el control con semáforo en la intersección E10 – C.A. Las líneas punteadas bidireccionales representan los movimientos peatonales y de bicicletas, los cuales, están en conflicto con las maniobras de giro a la derecha del flujo vehicular de cada acceso de la intersección.

Los conflictos de tránsito entre corrientes de flujos motorizados y no motorizados, para cada una de las fases en la intersección E10 – C.A., son del tipo: confluencia, divergencia y de cruce. Estos se detallan en las figuras 12, 13, 14 y 15.

**Figura 11**

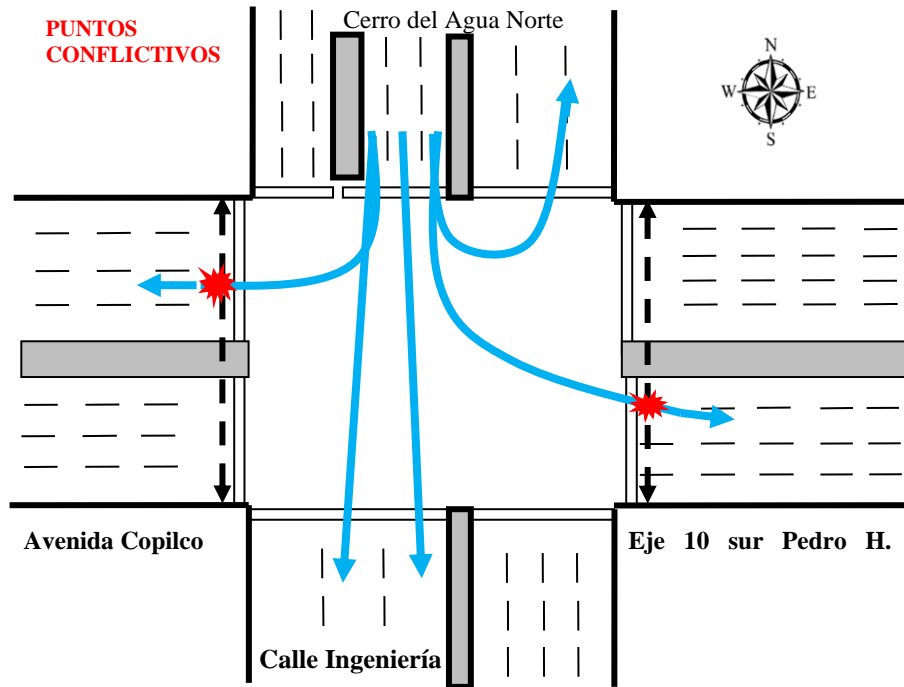
*Diagrama de plan de fases*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019.

**Figura 12**

*Conflictos vehiculares, acceso I Norte*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019.

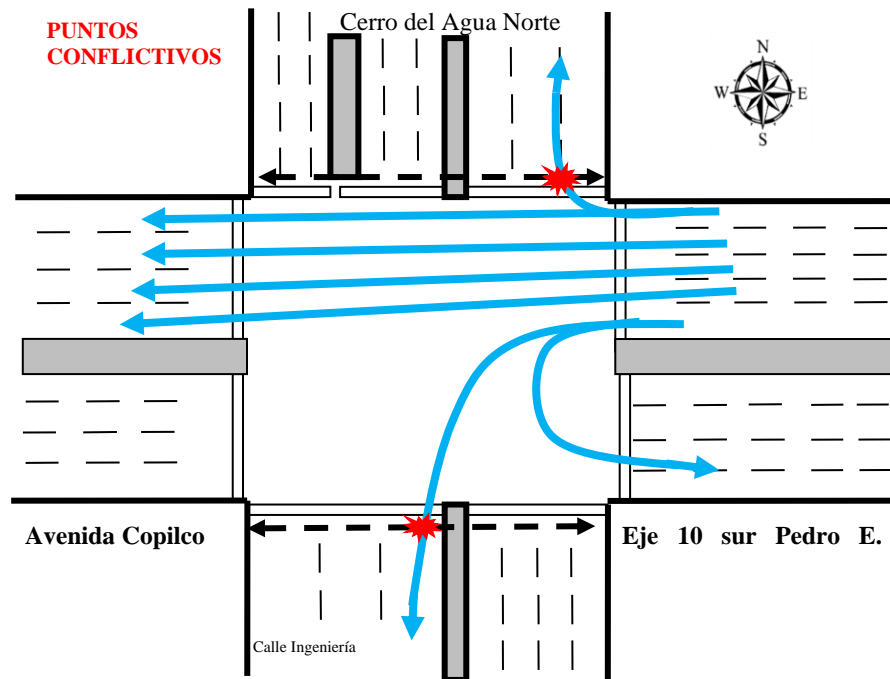
## 2.6 Operación del tránsito

### 2.6.1 El transporte público

Existen diversas rutas de transporte público sobre la intersección donde circulan diversos modos de transporte. El Eje 10 Sur con Cerro del Agua es un nodo de transferencia modal, en el que se realiza el transbordo de las diferentes modos de transporte público, entre ellos, microbuses, autobuses y taxis donde la mayor parte de las paradas para los ascensos y descensos de los pasajeros se realizan sobre las salidas del Norte, Avenida Cerro del Agua, ya que parte de los microbuses ofrecen el servicio para los usuarios que viajan hacia la zona norte de la demarcación dirigiéndose a la Avenida Miguel Ángel de Quevedo y a la zona de Viveros; ver figura 16. No obstante, las paradas ahí no están establecidas porque invaden carriles laterales y afectan la circulación del tránsito. Asociado a estas problemáticas se identifica que esto genera

### Figura 13

*Conflictos vehiculares, acceso 2 Este*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019.

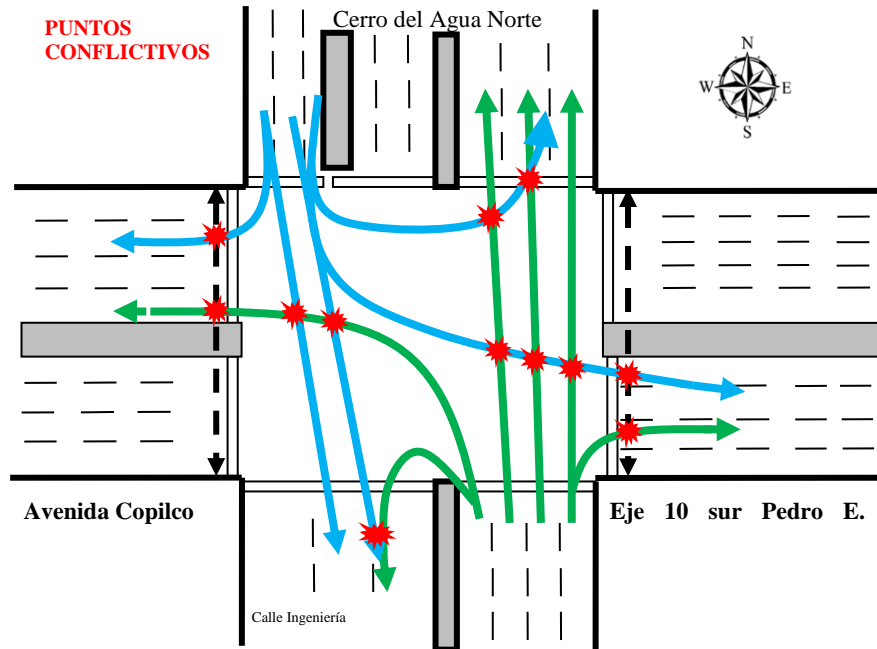
que se formen hasta dos o tres filas de autos particulares y microbuses que quieren dar vuelta a la derecha, desde el acceso este y hacia el norte, lo que provoca obstrucción del flujo vehicular y cuellos de botella.

En la figura 17 se muestra la obstrucción a la circulación por parte del transporte público realizando paradas no establecidas sobre la salida hacia el Norte de la intersección, restringiendo la circulación de este-norte.

Por otro lado, también se identifica el sitio de taxis que se encuentran sobre la salida Sur, Calle Ingeniería en sentido de circulación Norte-Sur ocupando un carril para el flujo vehicular; ellos ofrecen el servicio de traslado a la zona escolar de Ciudad Universitaria etc. Este tipo ocupación tiene como resultado la afectación de espacio público y la deficiente funcionalidad operativa de la vialidad, esto se torna problemático para los usuarios, peatones y

**Figura 14**

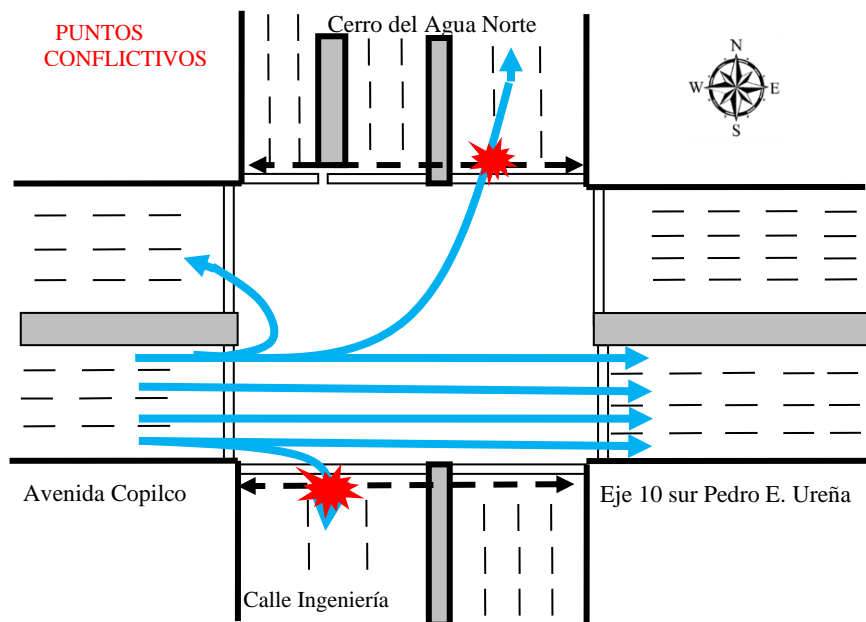
*Conflictos vehiculares, acceso 3 Sur y UHILA*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019.

**Figura 15**

*Conflictos vehiculares, acceso 4 Oeste*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019.

## Figura 16

*Problemática del transporte público en la salida hacia el norte de la intersección*



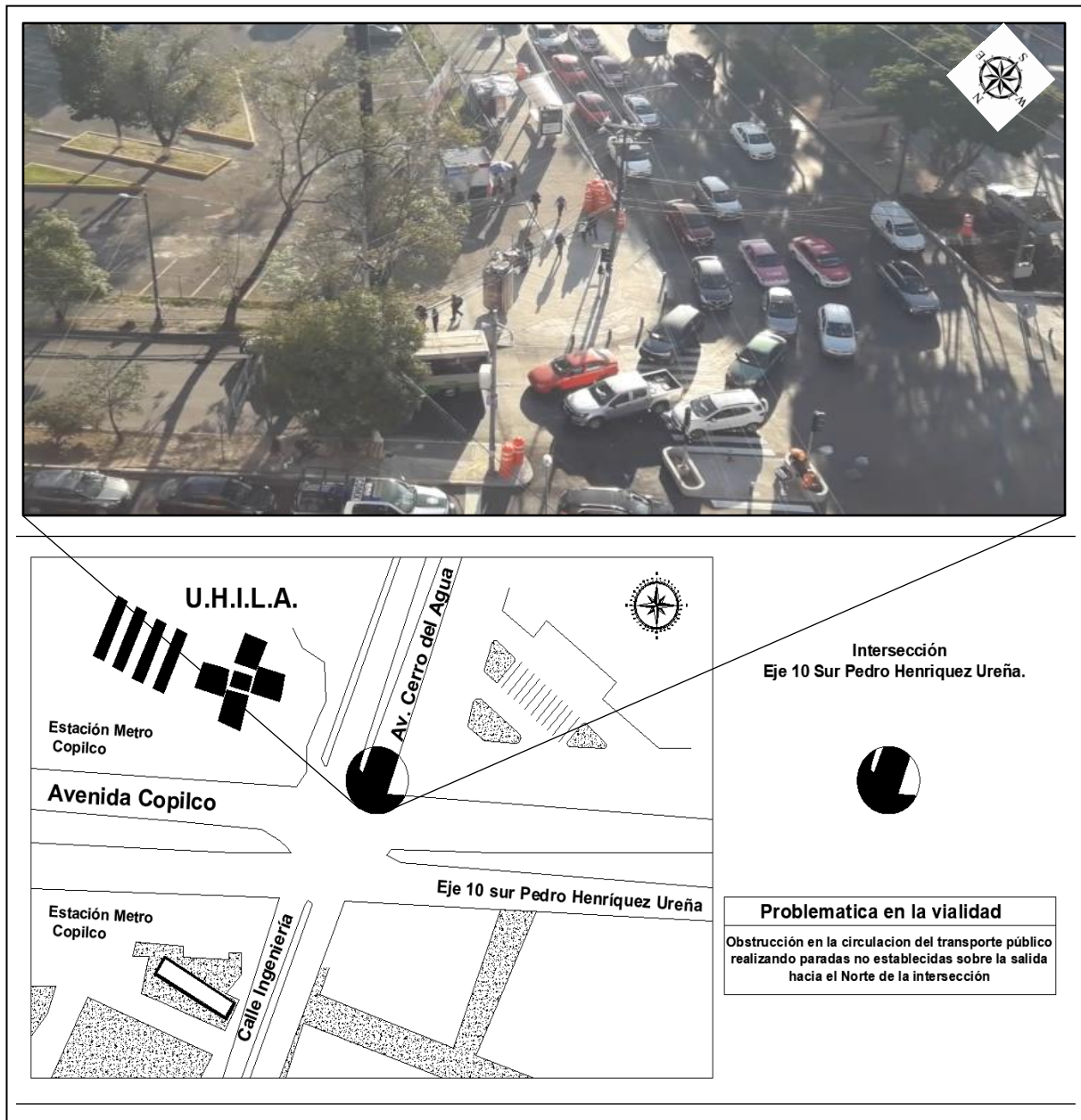
Nota: elaboración propia intersección eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña y Av. Cerro del Agua,

24 noviembre 2019.

automovilistas que transitan por esta salida de la intersección. En la figura 18 se observa el sitio de los taxistas.

**Figura 17**

*Obstrucción del transporte público en la salida Norte de la intersección*



Nota: elaboración propia intersección eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña y Av. Cerro del Agua,

24 noviembre 2019.

## Figura 18

*Ocupación de la base de taxis en la salida Sur de la intersección*



Nota: elaboración propia intersección eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña y Av. Cerro del Agua,  
24 noviembre 2019.

Continuando con estas problemáticas en la salida Sur de la intersección el transporte de autobuses de pasajeros en sentido este – sur, bloquea e invade esta misma vialidad realizando maniobras no permitidas de ascenso y descenso de los pasajeros en el segundo carril que se dirigen a las instalaciones del Sistema de Transporte Colectivo Metro, estación Copilco; esto ocasiona que se formen colas en doble fila de vehículos que obstaculizan la circulación de los peatones y que se generen riesgos de accidentes para los usuarios que transitan por esa salida de la intersección. En la figura 19 se muestra el bloqueo por parte de los autobuses de transporte público.

## Figura 19

*Bloqueo del transporte público (camiones) en la vialidad del acceso Sur*



Nota: elaboración propia intersección eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña y Av. Cerro del Agua,  
24 noviembre 2019.

### 2.6.2 Estacionamiento no permitido

El crecimiento de los vehículos privados en nuestra ciudad tiene como consecuencia la invasión de centros urbanos y recreativos, asimismo ha superado la capacidad de la infraestructura vial existente por lo que se genera afectación en la circulación del tránsito, esto provoca demandas elevadas de espacio público para estacionarse. Los estacionamientos en la calle es el que se hace en las vías públicas, destinadas, comúnmente, al tránsito de vehículos. (Cal y Mayor y Cárdenas, 2007, pg. 488).

Los estacionamientos en la vialidad pública generan graves problemas, debido a los vehículos que buscan un espacio para estacionarse. Una de las problemáticas comunes que existe en la vialidad son los congestionamientos que genera el tránsito, porque al utilizar un carril como estacionamiento se está reduciendo el número de carriles de circulación considerando que se está afectando el carril que le sigue y, por lo tanto, se afecta de manera significativa la capacidad de la vialidad, así como de la circulación del tránsito.

Dentro de la intersección de estudio se lleva a cabo un recorrido para obtener información sobre los estacionamientos que son ocupados e invadidos por camiones transporte público y camiones de transporte de mercancías y que hacen uso indebido de la vialidad obstruyendo los carriles del flujo vehicular.

En la figura 20 se muestra en áreas coloreadas (franjas y puntos) de color azul la utilización de los estacionamientos que ocupan los autobuses de transporte público de pasajeros, taxis y transporte de mercancías, estos realizan maniobras de carga y descarga para sus

### **2.6.3 Relacionadas con el control con semáforos**

En diversas visitas, videograbaciones y recorridos en campo el día 24 de noviembre del 2019 se detectaron los siguientes problemas en la operación de los semáforos: luces intermitentes en color rojo, los semáforos apagados, se presencié también la mala sincronización entre semáforos, periodos prolongados de tiempo de espera en los semáforos de los accesos que provoca formación de colas de autos, principalmente en los accesos Este y Oeste de la intersección. En las figuras 21 y 22 se presenta la problemática antes mencionada.

## Figura 20

*Ocupación de Estacionamientos en la vía pública dentro de la intersección*



Nota: Elaboración propia imagen obtenida de Google Earth.



Nota: Elaboración propia intersección eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña y Av. Cerro del Agua,  
24 noviembre 2019

## **Figura 21**

*Filas de autos en el acceso Oeste*



Nota: elaboración propia intersección eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña y Av. Cerro del Agua,  
24 noviembre 2019.

## **Figura 22**

*Filas de autos en el acceso Este*



Nota: elaboración propia intersección eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña y Av. Cerro del Agua,  
24 noviembre 2019

En el siguiente capítulo se detalla las condiciones existentes la situación actual de la zona de estudio y se amplía a detalle la operación de la intersección Eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña y Avenida Cerro del Agua.

## **Capítulo 3 Estudios de tránsito y análisis de resultados en la intersección Eje**

### **10 Sur y Cerro del Agua**

En este capítulo se presentan los estudios de tránsito de la intersección y el análisis de resultados. Se explica el levantamiento de los tiempos de semáforo y la revisión de los tiempos de semáforo para vehículos y peatones requeridos. Se describen las condiciones existentes de infraestructura de la intersección, las obras de intervención y de mejora por parte de las dependencias encargadas del Gobierno de la CDMX. Se analizan las condiciones de operación de los flujos vehiculares y se realizan estudios de movimientos direccionales de tránsito y se presentan los resultados obtenidos del aforo vehicular de tránsito el día 26 de noviembre del 2019, en horario matutino de 07:30 a 08:30 horas por intervalos de 15 minutos. Se obtienen indicadores de desempeño como la Hora de Máxima Demanda (HMD), así como el Factor de Hora de Máxima Demanda (FHMD). Estos resultados son representados por medio de diagramas de volúmenes direccionales y su clasificación por tipo de vehículo (liviano, mediano y pesados) que circulan en la intersección. Además, se obtiene la matriz origen – destino de los movimientos de tránsito de cada acceso de la intersección y la variación de los volúmenes de tránsito cada 15 minutos en horas de máxima demanda.

Después se realiza el cálculo de tiempos de semáforo para los flujos vehiculares y, se revisan los requerimientos de tiempo peatonales con los flujos obtenidos de los estudios de volúmenes direccionales para contrastar con los reales.

Asimismo, se anexa información que se recabó en campo de los días miércoles 27 y jueves 28 de noviembre del mismo año de: los cálculos de los tiempos de señal de semáforo para cada fase de la intersección, los movimientos direccionales de tránsito, la matriz origen – destino, la variación de los volúmenes de tránsito en horas de máxima demanda, entre otros.

### 3.1 Estudio de condiciones existentes de la intersección

La intersección Eje 10 Sur con Cerro del Agua (E10-CA) posee 5 accesos, al considerar la vía de acceso a la Unidad Habitacional Integral Latino Americana (UHILA), esto se observa en la figura 23.

#### Figura 23

*Acceso Unidad Habitacional Integral Latino Americana UHILA*



Nota: Acceso Norte de la intersección imagen obtenida de Google Earth vista hacia el Norte 24 noviembre 2019 14:00 h

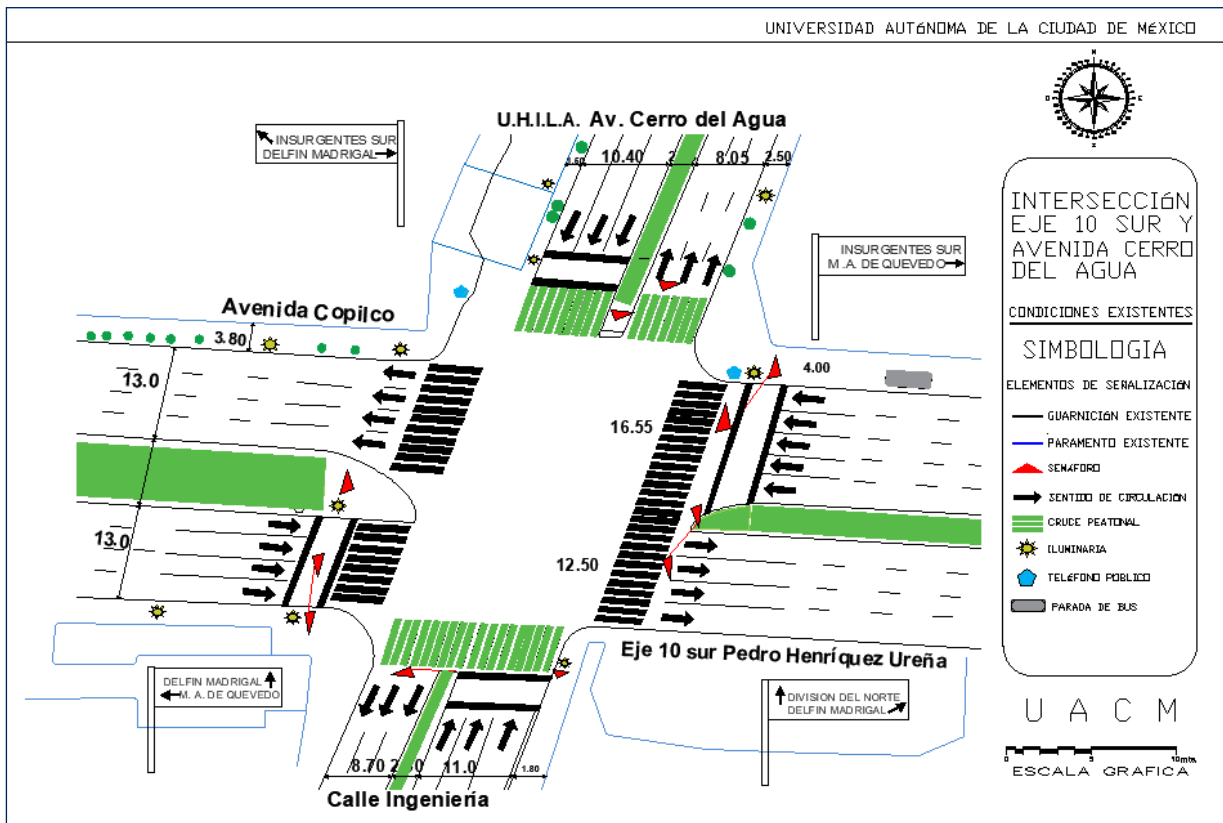
El día 10 de noviembre del año 2019, antes de la ejecución de las obras de mejora lideradas por SOBSE, se realiza el levantamiento de las condiciones existentes de la intersección; a esa fecha se observan riesgos en la circulación de peatones y ciclistas, en las maniobras de giro izquierdo del movimiento de salida de los vehículos de la UHILA. También se observa que los intervalos de tiempo de señal de cada semáforo no otorgan seguridad a la circulación de los usuarios en bicicleta y a los peatones que cruzan. Además, la superficie de rodamiento y las condiciones de equipamiento urbano de la intersección presenta deterioro, lo que impacta en

cambios de velocidad e inestabilidad de la circulación. Lo anterior, se muestra en las figuras 24 y 25.

Posteriormente, en noviembre del 2019 la SOBSE realiza la delimitación de ciertas áreas, como parte de la señalización de obras en la vía, porque a esa fecha se contempla la demolición parcial de banquetas, guarniciones, jardineras, el cambio de la carpeta asfáltica, las condiciones

**Figura 24**

*Condiciones de equipamiento urbano antes de las obras en la intersección Eje 10 Sur*



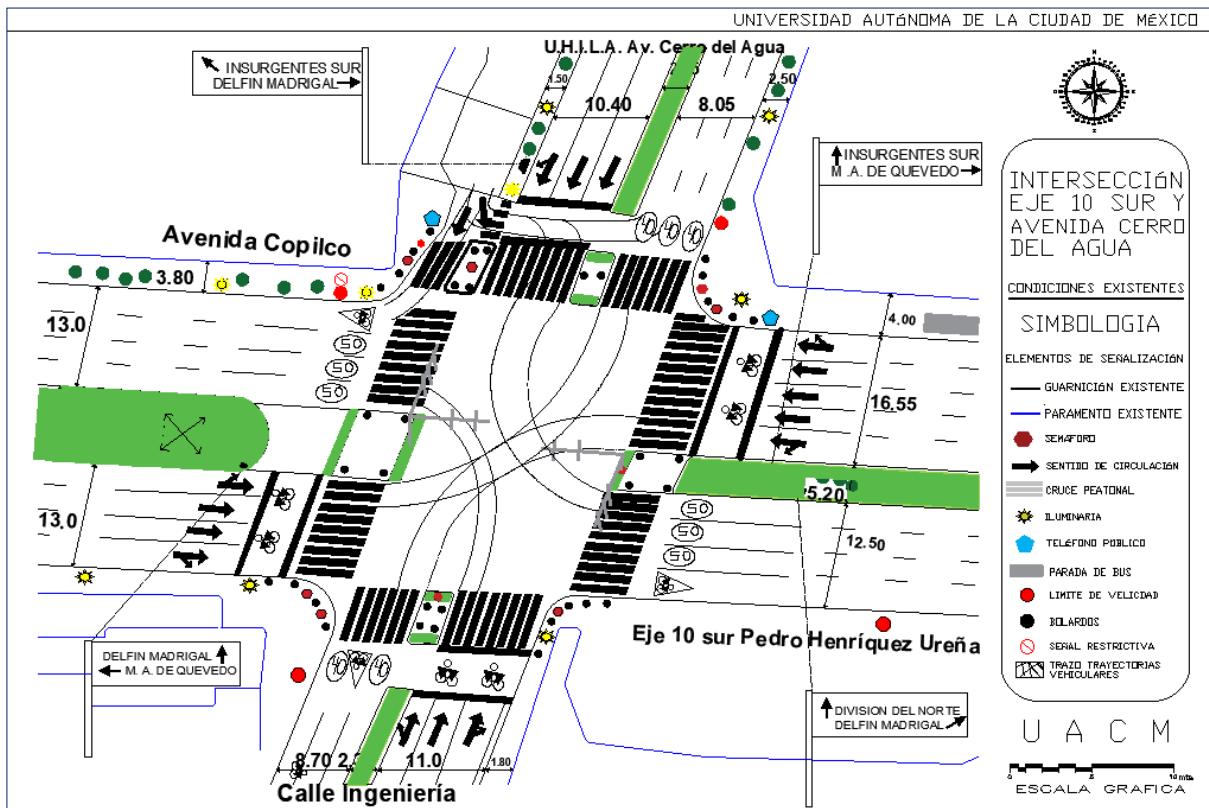
Nota: elaboración propia perspectiva de la intersección Unidad Habitacional Integral Latinoamericana vista hacia el Oriente 24 de noviembre 2019

de desgaste del señalamiento horizontal como, la pintura de las cebras del cruce peatonal y las líneas de alto para los vehículos; además de que no se cuenta con indicadores para limitar la velocidad a la que viajan los vehículos.

En la figura 25 se presenta el diagrama con las condiciones existentes después de la mejora realizada por SOBSE en los cinco accesos de la intersección E10-CA.

**Figura 25**

*Condiciones de equipamiento existentes después de las obras en la intersección Eje 10 Sur*



Nota: elaboración propia perspectiva de la intersección Unidad Habitacional Integral

Latinoamericana vista hacia el Oriente 24 de noviembre 2019.

Las mediciones se realizan con flexómetro y lienzo para obtener el ancho de calles, carriles, camellones, banquetas, entre otros elementos de la infraestructura vial.

### **3.2 Estudios de movimientos direccionales**

El estudio acerca de los volúmenes vehiculares de tránsito se realiza con el objetivo de adquirir información detallada de los movimientos de personas y vehículos que circulan sobre un tramo de la intersección vial. Cabe mencionar que los estudios analizados de volúmenes de tránsito en horario pico o de máxima demanda, proporciona información del comportamiento del flujo vehicular en la intersección, a fin de determinar la eficiencia de operación y calidad del servicio de esta infraestructura vial.

Se estudian las maniobras de vehículos particulares, ciclistas, motociclistas, peatones, autobuses de transporte público de pasajeros, transporte de camiones pesados y de carga en cada uno de los accesos de la intersección, durante el periodo horario establecido de máxima demanda por la EOD 2017.

Para esto se requiere de información detallada orientada a las condiciones de la vialidad, a la geometría, al conteo de volúmenes vehiculares, a las condiciones de los dispositivos de control y los tiempos señal y ciclo de los semáforos.

### **3.3 Diagrama de volúmenes direccionales**

A continuación se presentan los resultados del estudio de volúmenes direccionales, tal como: el diagrama de volúmenes direccionales para cada acceso, la composición vehicular y el factor horario de máxima demanda (FHMD), del día martes 26 de noviembre de 2019, que representa el flujo más alto entre los tres días aforados, 26, 27, 28 de noviembre, martes miércoles y jueves, respectivamente, entre las 7:30 a 8:30 h.

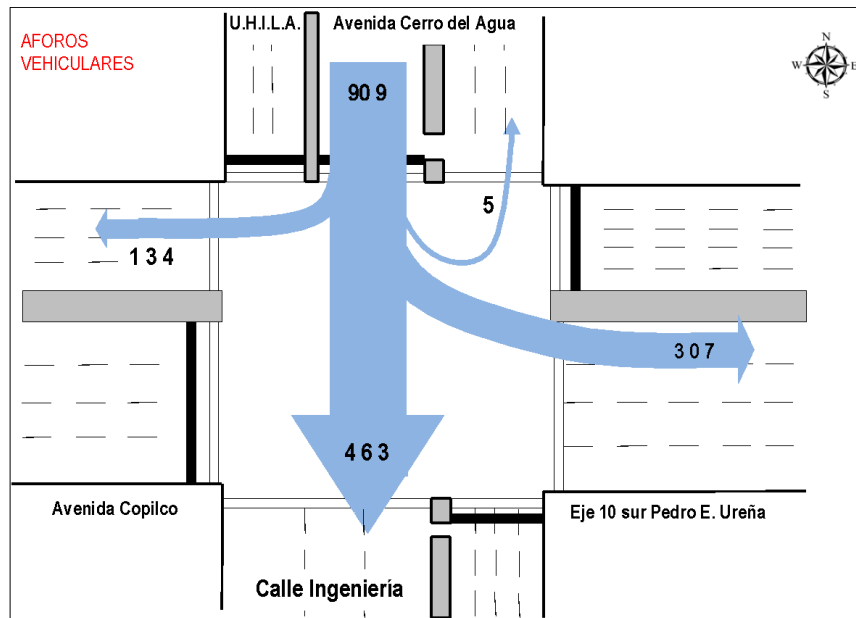
La figura 26 corresponde al acceso 1 o ramal Norte de la intersección E10 – C.A. Además, la tabla 6 indica la cantidad de flujo por cada 15 minutos entre las 07:30 a 08:30 y el FHMD. Este factor se calcula considerando la relación entre el volumen horario de máxima

demanda (VHMD) y la tasa de flujo máximo  $Q_{max}$  en la misma. La tasa de flujo máxima se deduce de los 15 minutos más intensos de los cuatro cuartos de hora del VHMD (Cal y Mayor y Cárdenas, 2018).

$$FHMD = \frac{VMHD}{N(Q_{max})} \quad (12)$$

**Figura 26**

*Acceso Norte– Avenida Cerro del Agua*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

**Tabla 6**

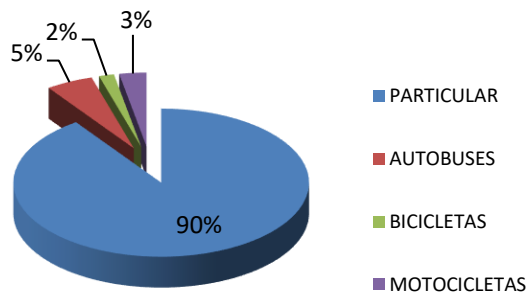
*Factor de hora de máxima demanda, acceso Norte– Avenida Cerro del Agua*

FACTOR DE HORA DE MAXIMA DEMANDA		
HORA		TOTAL
07:30	07:45	233
07:45	08:00	189
08:00	08:15	295
08:15	08:30	192
		909
<b>FHMD</b>	0.77	

Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

En la figura 27 se observa la composición vehicular del acceso 1, donde el porcentaje mayor son vehículos particulares con el 90%, autobuses con un 5%, motocicletas con 3% y bicicletas con un 2%. No hay presencia de camiones pesados.

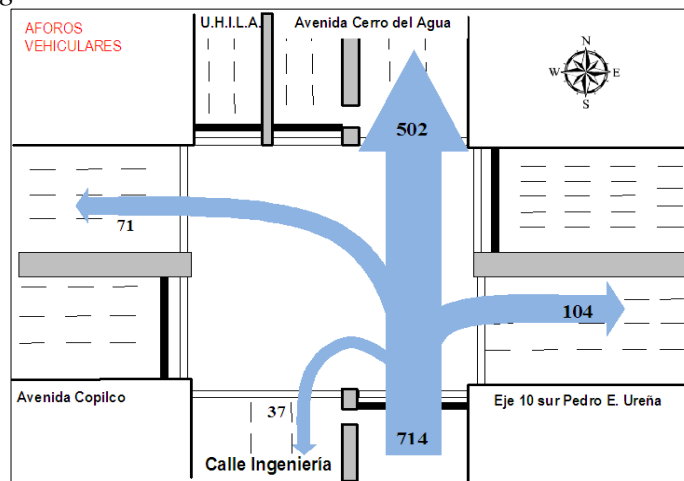
**Figura 27**  
Composición vehicular, acceso Norte– Avenida Cerro del Agua



Nota: Elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

La figura 28 corresponde al acceso 2 o ramal Sur de la intersección E10 – C.A. Además, la tabla 7 indica la cantidad de flujo por cada 15 minutos entre las 07:30 a 08:30 y el FHMD.

**Figura 28**  
Acceso Sur– Calle Ingeniería Volúmenes direccionales de tránsito



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

**Tabla 7**

*Factor de hora de máxima demanda, acceso Sur– Calle Ingeniería*

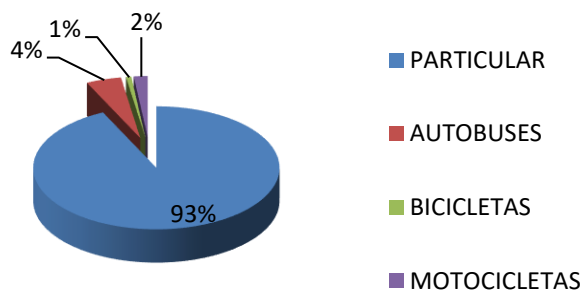
FACTOR DE HORA DE MÁXIMA DEMANDA		
HORA		TOTAL
07:30	07:45	155
07:45	08:00	186
08:00	08:15	187
08:15	08:30	186
		714
FHMD	0.95	

Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

La figura 29 corresponde al acceso 2 o ramal Sur de la intersección E10 – C.A.

**Figura 29**

*Composición vehicular, acceso Sur– Calle Ingeniería*

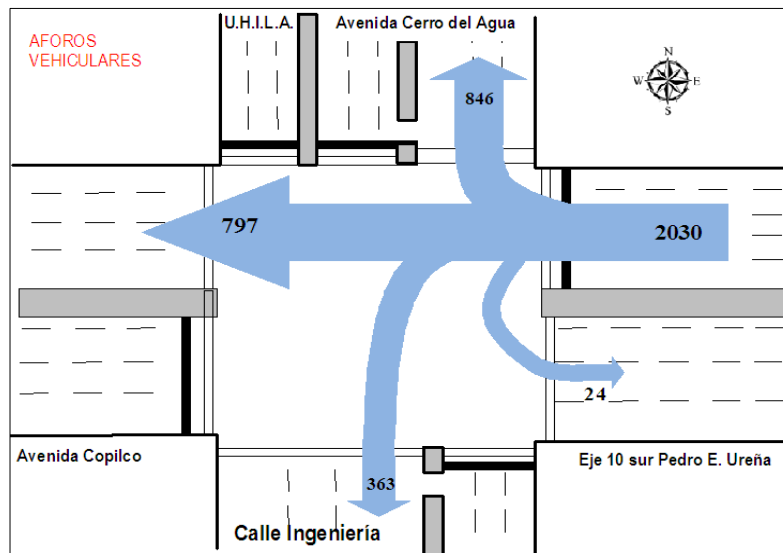


Nota. Elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

La figura 30 muestra la composición vehicular del acceso 3, con el 93% de vehículos particulares, seguido de los autobuses de transporte público con un 5%, 2% de motocicletas y 1% de bicicletas. Además, la tabla 8 indica la cantidad de flujo por cada 15 minutos entre las 07:30 a 08:30 y FHMD.

**Figura 30**

*Acceso Este– Eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

La figura 31 muestra la composición vehicular del acceso 3, con 89% de vehículos particulares, seguido de los autobuses de transporte público con un 3%, 6% de motocicletas y 2% de bicicletas.

**Tabla 8**

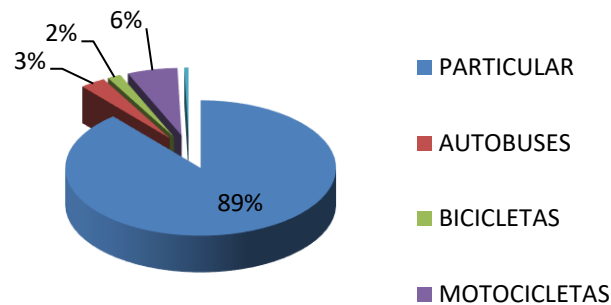
*Factor de hora de máxima demanda, acceso Este– Eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña*

FACTOR DE HORA DE MÁXIMA DEMANDA		
HORA		TOTAL
07:30	07:45	490
07:45	08:00	542
08:00	08:15	442
08:15	08:30	556
		2030
<b>FHMD</b>	0.91	

Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

**Figura 31**

*Composición vehicular, acceso Este– Eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña*

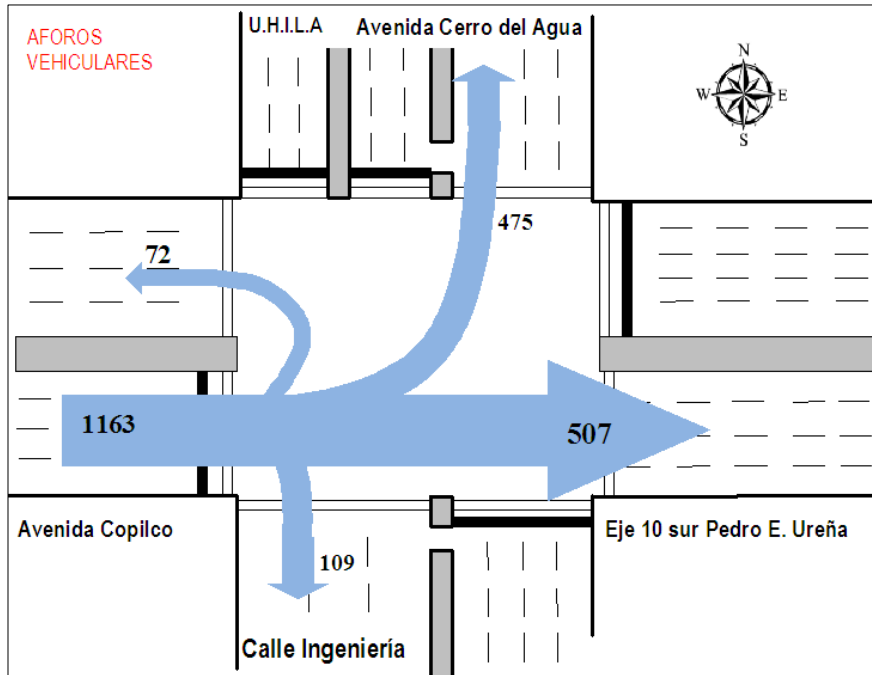


Nota. Elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

La figura 32 corresponde al acceso 4 o ramal Oeste de la intersección E10 – C.A. Además, la tabla 9 indica la cantidad de flujo por cada 15 minutos entre las 07:30 a 08:30 y FHMD.

**Figura 32**

*Acceso Oeste– Avenida Copilco*



Nota. Elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

**Tabla 9**

*Factor de hora de máxima demanda, acceso Oeste– Avenida Copilco*

FACTOR DE HORA DE MÁXIMA DEMANDA		
HORA		TOTAL
07:30	07:45	281
07:45	08:00	224
08:00	08:15	362
08:15	08:30	296
		1163
<b>FHMD</b>	0.80	

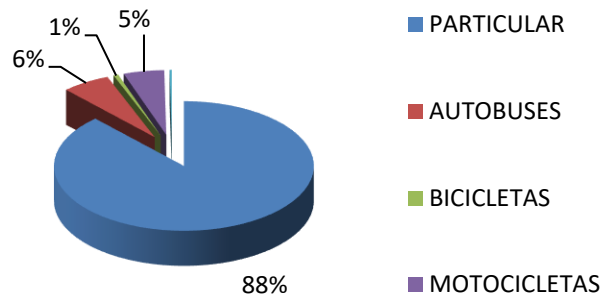
Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

El factor de hora de máxima demanda es de 0.80, que se obtiene de dividir el volumen de 1163 vehículos y la tasa de flujo máxima, es decir cuatro veces el flujo de 362, que es el más alto de los 4 periodos de 15 minutos, entre 8:00 a 8:15 horas.

La figura 33 muestra la composición vehicular del acceso 4, con 88% de vehículos particulares, seguido de los autobuses de transporte público con un 6%, 5% de motocicletas y 1% de bicicletas.

### Figura 33

*Composición vehicular, Acceso Oeste–Avenida Copilco*



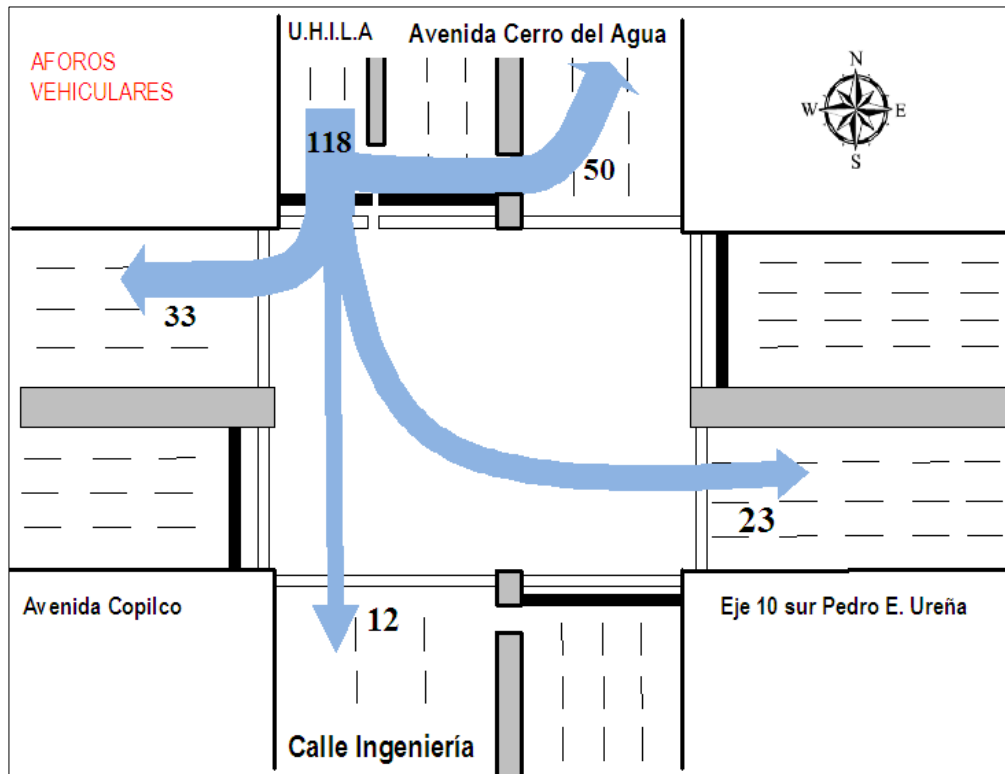
Nota. Elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019.

Por otra parte, la salida de la Unidad Habitacional Integral Latino Americana (UHILA) genera un quinto acceso a la intersección E10-CA; la cual es exclusiva de los residentes y visitantes. La figura 34 presenta los volúmenes direccionales en el los cuales se distingue la maniobra de giro en U, que representa situaciones de riesgo para la operación de la intersección.

La figura 34 corresponde al acceso 5 de la intersección E10 – C.A. Además, la tabla 10 indica la cantidad de flujo por cada 15 minutos entre las 07:30 a 08:30 y FHMD.

**Figura 34**

*Acceso 5 o salida de la UHILA*



Nota: Elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

**Tabla 10**

*Factor de hora de máxima demanda del acceso 5 o salida de la UHILA*

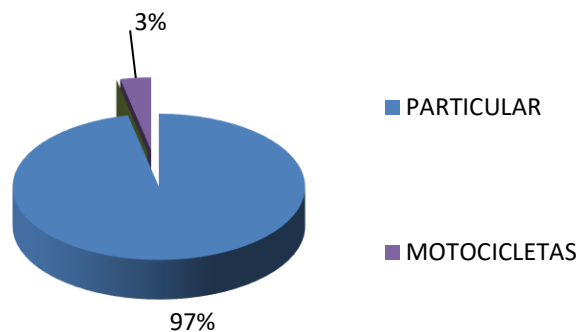
FACTOR DE HORA DE MÁXIMA DEMANDA		
HORA		TOTAL
07:30	07:45	36
07:45	08:00	31
08:00	08:15	29
08:15	08:30	22
		118
FHMD	0.82	

Nota. Elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

Para el acceso 5 de la intersección o vía de salida de la UHILA la composición vehicular es de 97% de vehículos particulares y 3% de motocicletas. En la figura 35 se presenta la composición de este acceso.

### Figura 35

*Composición vehicular, Acceso 5 o salida de la UHILA*



Nota. Elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

#### 3.3.1 Matriz Origen – Destino

La matriz Origen – Destino muestra la cantidad de vehículos y el volumen de tránsito que se registran en cada uno de los accesos dentro de la intersección, Avenida Copilco, eje 10 Pedro Henríquez Ureña, Avenida Cerro del Agua. La tabla 11 presenta la matriz que integra los movimientos direccionales antes presentados, considerando cada acceso y salida de la intersección. Las filas corresponden a los accesos (origen del movimiento) y las columnas las salidas (destino de los movimientos).

**Tabla 11**

*Matriz Origen – Destino intersección E10 – C.A (Avenida Copilco, eje 10 Pedro Henríquez Ureña, Avenida Cerro del Agua)*

<b>MATRIZ O-D</b>	<b>Cerro del Agua</b>	<b>Eje 10 Sur</b>	<b>Calle Ingeniería</b>	<b>Av. Copilco</b>	<b>UHILA</b>	<b>Total Accesos</b>
<b>Cerro del Agua</b>	-	307	463	134	5	909
<b>Eje 10 Sur</b>	846	-	363	797	24	2030
<b>Calle Ingeniería</b>	502	104	-	71	37	714
<b>Av. Copilco</b>	475	507	109	-	72	1163
<b>UHILA</b>	50	23	12	33	-	118
<b>TOTAL</b>	1873	941	947	1035	138	4934

Nota. Elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019.

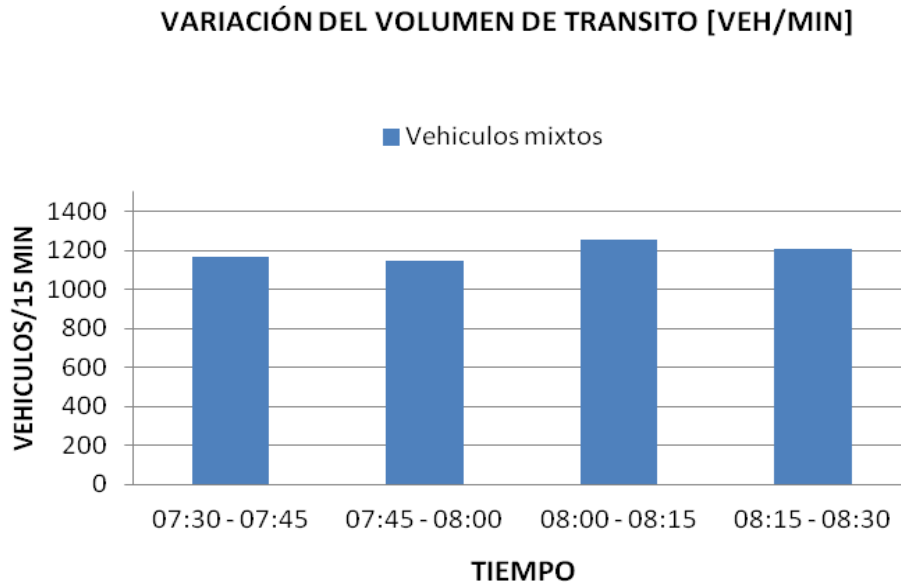
### **3.3.2 Patrones de volúmenes de tránsito**

La figura 36 muestra la frecuencia cada 15 minutos de volúmenes de tránsito que cruza la intersección E10 – CA.

Las figuras 36a, 36b, 36c, 36d, 36e, presentan la frecuencia cada 15 minutos de volúmenes de tránsito que ingresan a la intersección por cada acceso norte, sur, este, oeste y U.H.I.L.A., respectivamente.

**Figura 36**

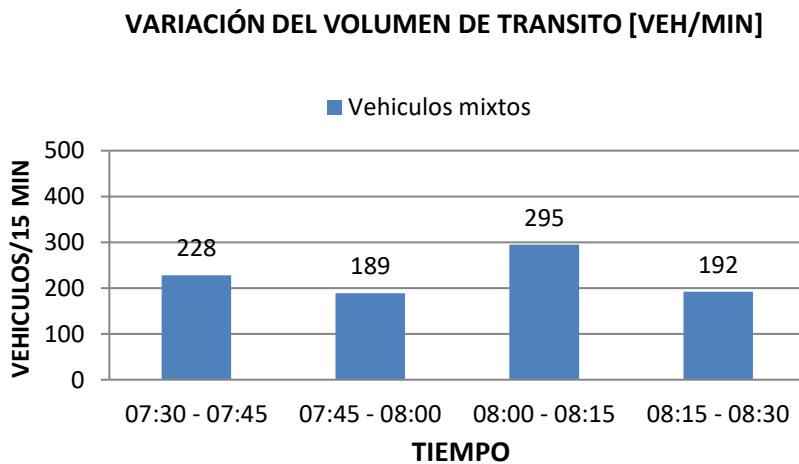
*Variación del volumen de tránsito intersección E10 – CA cada 15 minutos*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

**Figura 36a**

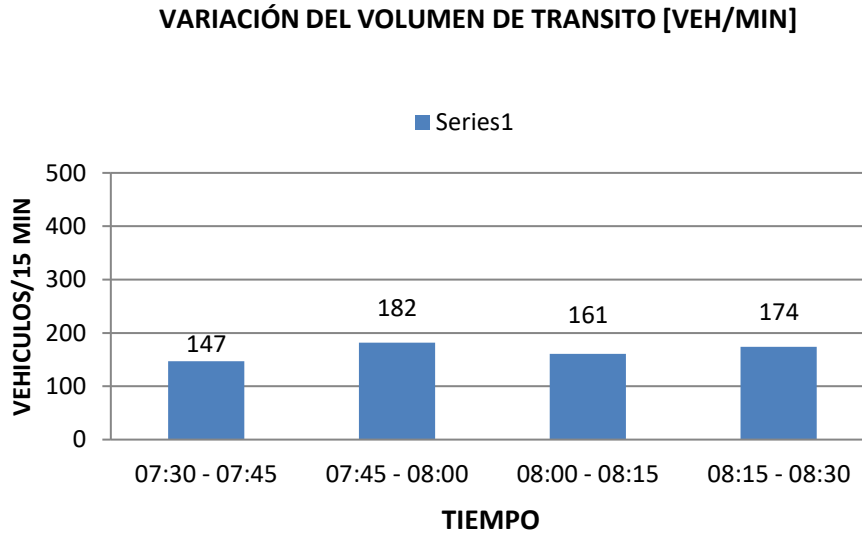
*Acceso 1, Norte, Avenida Cerro del Agua intersección E10 – CA*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

**Figura 36b**

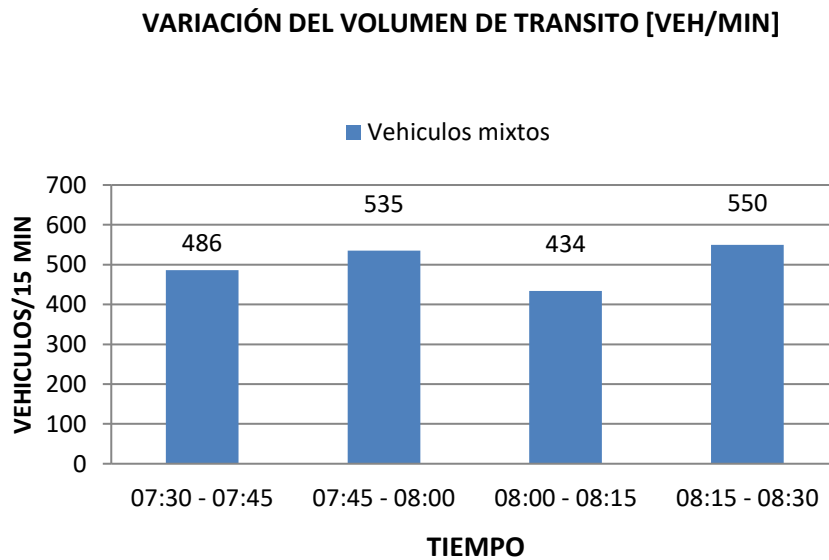
*Acceso 2, Sur, Calle Ingeniería intersección E10 – CA*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

**Figura 36c**

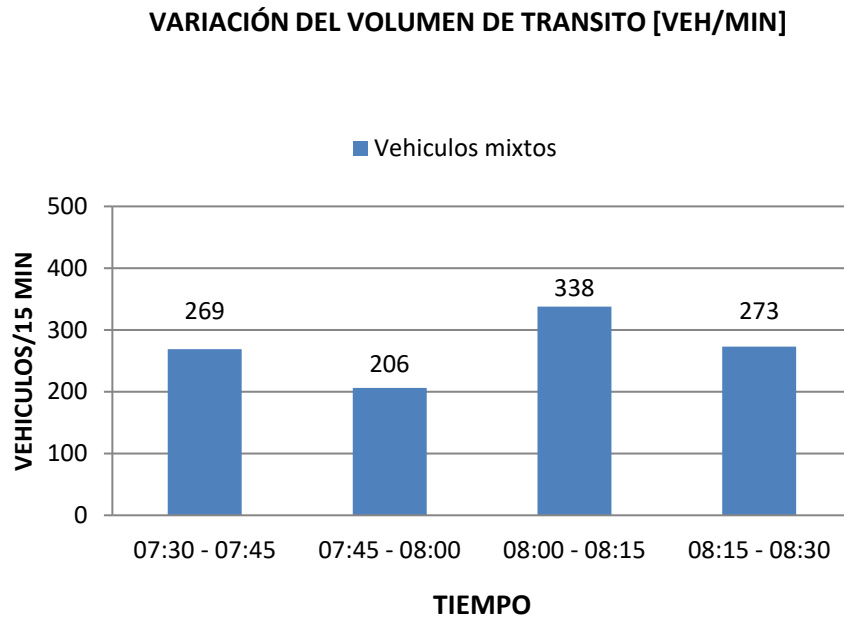
*Acceso 3 Este, Eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña intersección E10 – CA*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

**Figura 36d**

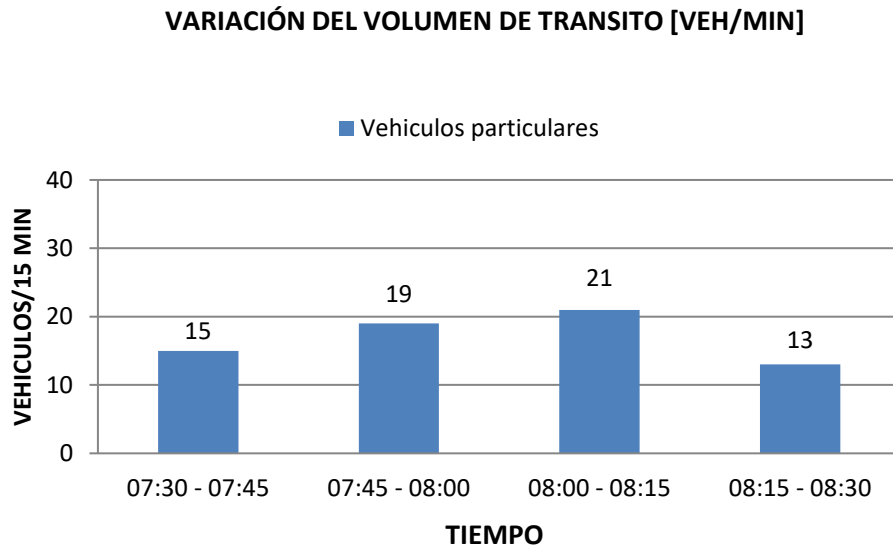
*Acceso 4, Oeste, Avenida Copilco intersección E10 – CA*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

### Figura 36e

Acceso 5, salida de la U.H.I.L.A. intersección E10 – CA



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

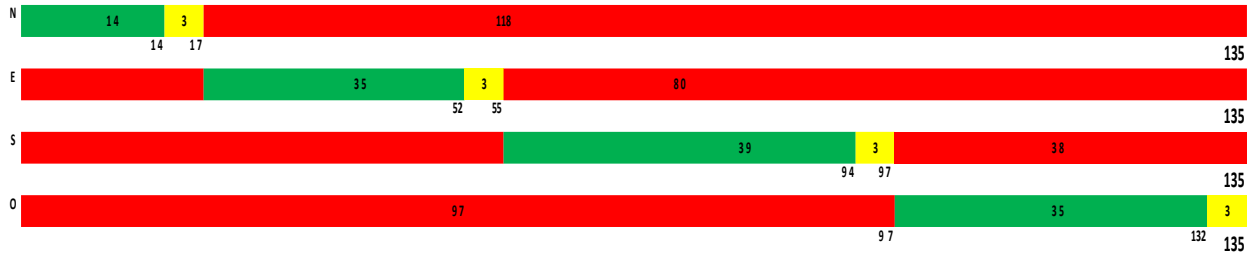
### 3.4 Tiempos de semáforo con base en los estudios de volúmenes de tránsito

El diseño de los tiempos de señal de semáforo para cada acceso de la intersección de estudio en carriles individuales se muestra mediante el diagrama de tiempos de semáforo para las cuatro fases medidas en la zona de estudio bajo condiciones existentes con un ciclo de 135 segundos.

La figura 37 presenta el diagrama de tiempos de señal de semáforo de las cuatro fases.

**Figura 37**

*Diagrama de tiempos de intervalo de señal de semáforo vehiculares en la intersección E10 – C.A.*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019.

### 3.5 Tiempos de semáforo peatonales requeridos

Los semáforos tienen la función de regular los movimientos y desplazamientos de los peatones que transitan por las calles y avenidas.

Para el estudio de los intervalos de señal de semáforos peatonales, en la zona de estudio, se revisa el tiempo necesario de recorrido del peatón en el ancho de la vía o acceso a la intersección. Para ello, se revisan los tiempos de cruce peatonal de cada una de las fases semaforicas (Roess et al., 2011).

Los tiempos de verde para los peatones se diseñan con base en tres elementos: el tiempo de acción-reacción del peatón, el tiempo necesario para recorrer el ancho de la vía y el componente por cantidad de peatones en la cebra peatonal, que para el caso es de 3 m de ancho; lo anterior se presenta mediante la siguiente ecuación (ecuación 21-15, página 508, Roess et al., 2011).

$$Gp = 3.2 + \frac{L}{sp} + (0.27 Nped) \text{ [s]} \tag{13}$$

Donde

$G_p$  = es el tiempo mínimo de verde (s)

$L$  = longitud del cruce peatonal (m)

$S_p$  = velocidad media peatón (1.2 m/s)

$N_{ped}$  = número de peatones que cruzan durante un intervalo de señal

El número de peatones  $N_{ped}$  se obtienen mediante el estudio de volúmenes de tránsito con el recurso de la videograbación.

En la tabla 12 se presenta los aforos de la longitud que recorre el peatón de un lado a otro de las calles de cada acceso, resultado del estudio de condiciones existentes. Además, se presenta la velocidad peatonal,  $S_p$  de 1.2 m/s, que es el valor estándar de la velocidad peatonal; el aforo del número de peatones que cruzan por fase, a partir de los datos obtenidos en campo de la videograbación y,  $G_p$  que es el resultado del cálculo de los tiempos peatonales con la ecuación 13.

**Tabla 12**

*Tiempos peatonales Intersección E10 – C.A.*

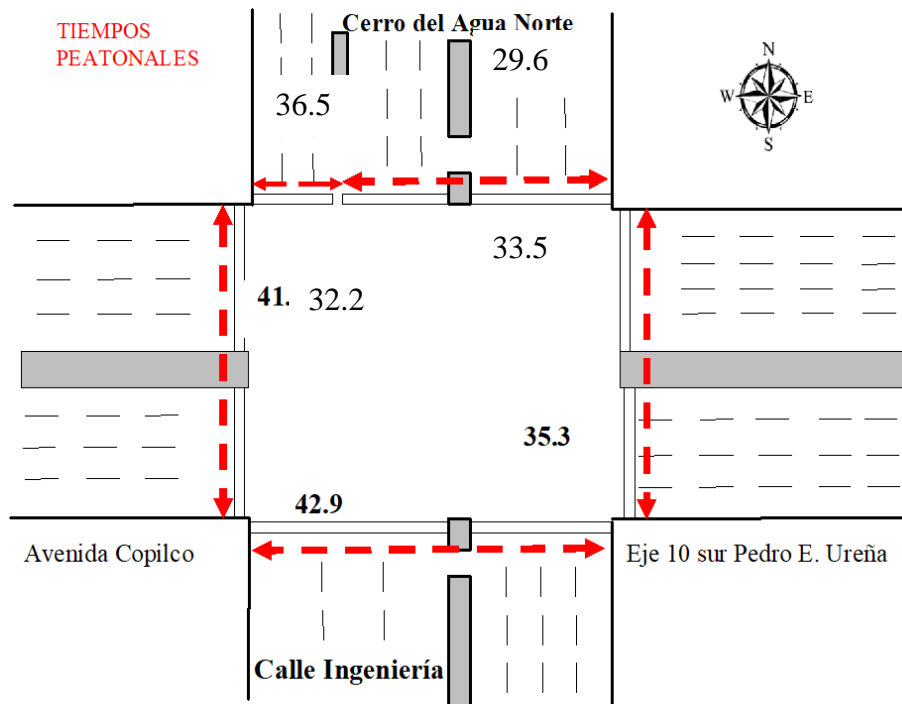
Acceso	L longitud del cruce peatonal (m)	$S_p$ velocidad peatonal (m/s)	$N_{ped}$ número de peatones que cruzan por fase	$G_p$ Tiempo mínimo de verde (s)	Tiempo por fase compartido: derecha/ izquierda (s)	Tiempo exclusivo de esquina al camellón, acceso/salida de la intersección (s)
OESTE	34.7	1.2	328	36.5	17/42	(17+38+42)/0
ESTE	34.25	1.2	131	33.5	42/17	(42+38+17)/0
NORTE	20.9	1.2	667	29.6	38/38	(38+38+42)/0
SUR	22	1.2	791	32.2	38/38	(38+38+17)/0

Nota: elaboración propia

En la figura 38 se presenta el diagrama de los tiempos peatonales expresados en segundos para cada acceso de la intersección, para ello, se toma en cuenta el volumen peatonal durante nuestro periodo de análisis.

**Figura 38**

*Diagrama de tiempos peatonales en la Intersección E10 – C.A.*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 26 noviembre 2019

Los peatones cruzan en la misma dirección de la circulación vehicular. Es decir, los peatones del acceso este y oeste cruzan en la fase 1 y fase 3; los peatones de los accesos norte y sur cruzan en las fases 2 y 4. No obstante, el peatón cruza en dos tramos cuando hay presencia de camellón, con suficiente espacio de resguardo: en el acceso a la intersección, los vehículos están detenidos y el peatón dispone de tiempo exclusivo para cruzar; pero en la salida de la intersección, el peatón tiene conflicto con los vehículos que giran a la derecha o a la izquierda.

Esto puede observarse en el análisis de conflictos que se presentan en las figuras 12 a 15. En el caso del acceso norte, fase 1, figura 12, los peatones que cruzan van por los accesos este y oeste; como se observa, hay conflicto peatonal en las salidas este (giro izquierdo) y oeste (giro a la derecha); por lo tanto, el tiempo de verde disponible se comparte entre el peatón y el vehículo. El reglamento de tránsito exige que el flujo vehicular debe ceder el paso al peatón, pero la demanda vehicular y peatonal es alta, entonces no hay tiempo suficiente para que el peatón, que es el más vulnerable pueda pasar; pero el conflicto hace que los vehículos experimenten retraso. De la misma forma se interpreta en la figura 13, fase 2, acceso este, los peatones cruzan por los accesos norte y sur; allí se ve el conflicto peatonal de la salida norte con el giro vehicular a la derecha y el conflicto peatonal con el giro vehicular izquierdo en la salida sur de la intersección.

En la columna seis se presenta el intervalo de tiempo en segundos, verde más amarillo, que dispone el flujo peatonal para cruzar de forma compartida con los correspondientes giros a la derecha e izquierda vehicular. Este tiempo se compara con  $G_p$  que es el tiempo mínimo necesario para que se pueda cruzar tanto el acceso como la salida de cada uno de los cuatro ramales de la intersección. En general,  $G_p$  es menor que los intervalos de tiempo disponibles; en un análisis rápido no parecería haber problemas. Además, en la columna siete se señalan los intervalos de tiempo exclusivos con los que cuentan los flujos peatonales, tanto en el tramo de acceso como de salida. En las figuras 12 y 13 se observa que el flujo peatonal que cruza la salida hacia el norte puede aprovechar el tiempo de verde de las fases 1, 2 y 4, compartido con el flujo vehicular, resguardarse en el camellón y esperar las fases 2, 3 y 4 para cruzar al acceso norte, de forma exclusiva; es decir puede cruzar en dos tramos. No obstante, el camellón es estrecho y solo algunos peatones podrán esperar con seguridad. El mismo análisis se hace para los flujos peatonales del acceso oeste y este. Sin embargo el flujo peatonal del acceso sur tiene el camellón

muy estrecho y pocos peatones pueden cruzar en dos fases o tres fases. Adicionalmente, cuenta con las fases 2, 3 y 4 compartida con los flujos vehiculares que son intensos, por lo que se observa en el aforo la dificultad y riesgo que padecen los peatones.

## **Capítulo 4 Análisis de capacidad vial y nivel de servicio de la intersección E10**

### **– CA**

Siguiendo la metodología descrita en el capítulo 1 y representada en la figura 4, en forma general, en el presente capítulo se lleva a cabo el análisis operacional de la intersección detallado, dividido por módulos, con base en los procesos de análisis de capacidad y nivel de servicio del Highway Capacity Manual HCM (2000) del Transportation Research Board (TRB), explicados en el aparte 1.3.2 y cuyos resultados se resumen mediante el formato de figura 16-20 del capítulo 16, página 16-29 del HCM (2000). En cada uno de estos módulos se indica los elementos de entrada, los factores que afectan la operación del tránsito y los cálculos que representan la condición del tránsito bajo las condiciones prevalecientes o imperantes en noviembre de 2019. Se presentan los resultados de los indicadores de desempeño operativo de la intersección del caso de estudio en su situación “actual”, es decir, de acuerdo con la información de los aforos en noviembre del 2019, estos son: la tasa de flujo de saturación, la capacidad, la relación volumen a tasa de flujo de saturación, la relación flujo a capacidad, las demoras, para determinar el nivel de servicio de la intersección vial controlada con semáforos.

La determinación de la capacidad depende de la tasa de flujo de saturación bajo condiciones prevalecientes y de la relación verde a ciclo, para movimientos críticos en carriles simples, mientras el análisis del nivel de servicio se basa en la demora media de los vehículos detenidos por acción de los semáforos. Específicamente, el nivel de servicio se expresa en términos de la demora media por vehículo debido a las detenciones para un periodo de análisis de 15 minutos, considerado como periodo de máxima demanda (Cal y Mayor y Cárdenas, 2007). En la tabla 13 se describen los seis niveles de servicio que define el HCM (2000), se explican sus características principales y el rango de demora en segundos.

La figura 39 corresponde al módulo de datos de entrada tomados en campo y analizados en el capítulo 3. Los datos de entrada son los hallados en la hora de máxima demanda; éstos son los requeridos para la evaluación del caso de estudio, en condición o escenario “actual”, tal como: la geometría de la intersección, el volumen vehicular de la hora de máxima demanda, porcentaje de vehículos, factor de hora de máxima demanda, el número de paradas de los autobuses dentro de la intersección, las fases de cada acceso, los tiempos de los semáforos, entre otros. Todo ello bajo estudios e información obtenida en campo.

**Tabla 13**

*Criterios de nivel de servicio en intersecciones con semáforos*

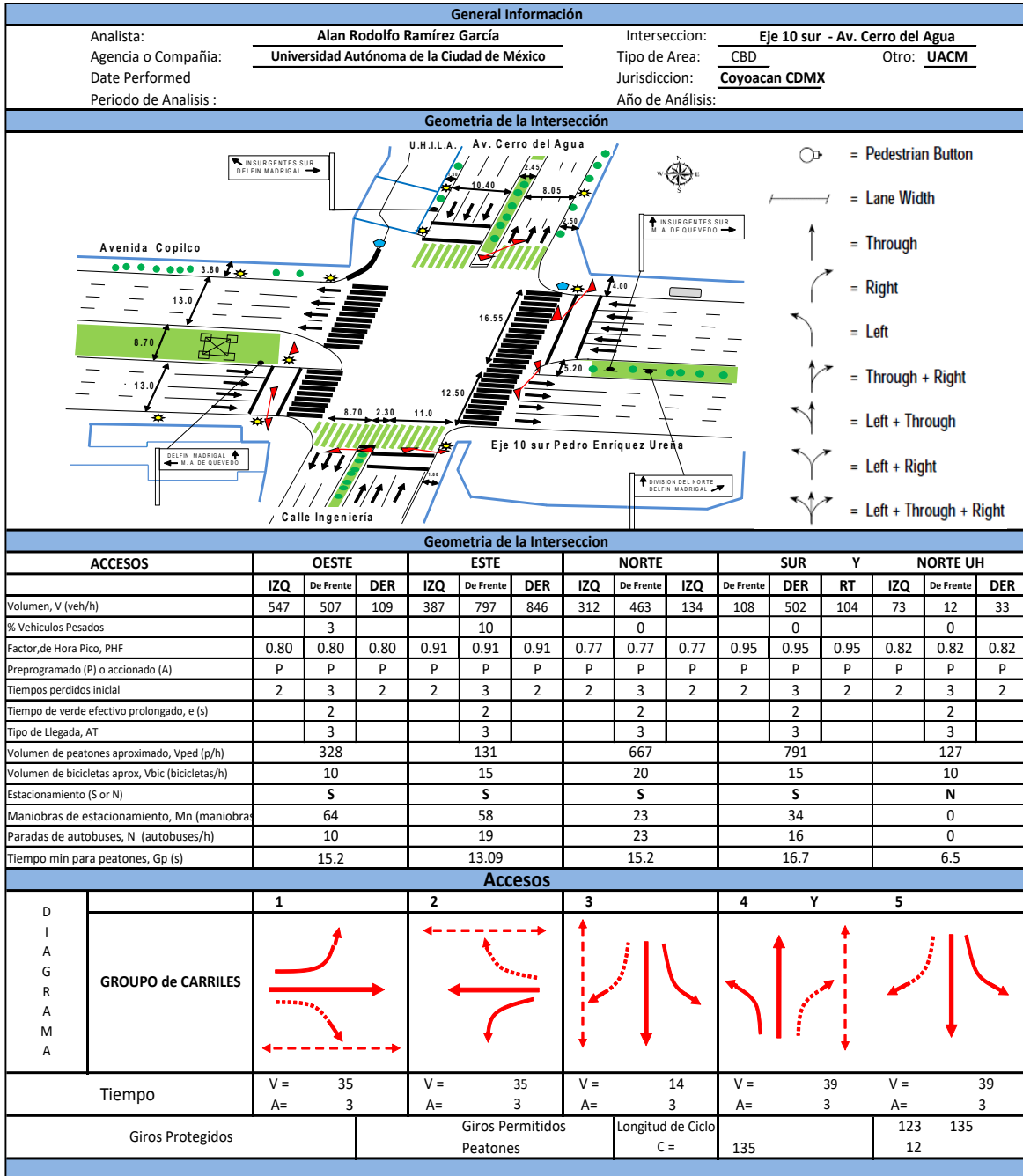
<b>NIVEL DE SERVICIO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE LA OPERACIÓN</b>	<b>DEMORA (seg/veh)</b>
<b>A</b>	Baja demora, los vehículos no se detienen, sincronía extremadamente favorable y ciclos cortos.	$\leq 10$
<b>B</b>	Los vehículos empiezan a detenerse, tiene buena sincronía y ciclos cortos.	$> 10 - 20$
<b>C</b>	Los ciclos de manera individual empiezan a fallar, ocurre una sincronía regular y/o ciclos largos.	$> 20 - 35$
<b>D</b>	Comienzan a notarse la influencia de congestionamiento ocasionados por un ciclo largo y/o una sincronía desfavorable o relaciones v/c altas, muchos vehículos se detienen	$> 35 - 55$
<b>E</b>	Indica una sincronía muy pobre, grandes ciclos, relación v/c mayores, límite aceptable de la demora y las fallas de los ciclos son frecuentes.	$> 55 - 80$
<b>F</b>	El tiempo de la demora es inaceptable para la mayoría de los conductores, ocurre cuando los valores de flujo exceden a la capacidad de la intersección o cuando las relaciones v/c son menores a 1 pero con una sincronía muy pobre y/o ciclos demasiado largos.	$> 80$

Nota. Elaboración propia, Highway Capacity Manual HCM (2000).

En la figura 39 se muestran los datos de entrada requeridos para el análisis.

**Figura 39**

*Datos de entrada del tránsito*



Nota. Elaboración propia con datos obtenidos en campo 26 de Noviembre de 2019, con referencia en la figura 16-20 del capítulo 16, página 16-29 del HCM (2000).

#### **4.1 Módulo de ajuste de volúmenes**

Mediante este módulo se convierten los volúmenes horarios ( $V$ ) representados por tasas de flujo de saturación, utilizando el factor de hora de máxima demanda (FHMD), se obtienen los grupos de carriles asociados con las tasas de flujo y su correspondiente proporción de giros a la izquierda, derecha y de frente; a continuación se describe simbología:

- IZQ: movimientos de vehículos que giran a la izquierda
- DE FRENTE: movimientos de vehículos que van de frente
- DER: movimientos de vehículos que giran a la derecha

Para el caso de estudio, el análisis se centra en los ajustes de los volúmenes para cada movimiento en hora pico y en el periodo más intenso de 15 minutos establecido para cada grupo de carriles.

#### **4.2 Módulo de flujo de saturación**

En la figura 40 se presentan los volúmenes de tránsito y su conversión a tasa de flujo, con la ecuación 1 y, la determinación de la tasa de flujo de saturación con la ecuación 2, ambos explicados en el capítulo 1, pasos 1 y 2. Los factores de ajuste descritos en la tabla 2 son las variables independientes que describen las condiciones prevalecientes de la intersección, explicados en el paso 4 del capítulo 1. Para el cálculo de la tasa de flujo de saturación de cada grupo de carriles, en cada fase y para cada acceso de la intersección, se tienen en cuenta, además: las maniobras de estacionamiento (acceso y salida del carril de estacionamiento), las paradas de autobuses, ancho de carriles, el uso de carriles incluyendo los usados para estacionamiento, las corrientes vehiculares de las maniobras de giro izquierdo, de frente, derecha.

Para el análisis del caso de estudio, el manual de capacidad asume un flujo de saturación de 1900 vehículos ligeros por hora de luz verde por carril, bajo condiciones ideales ( $s_0$ ). La tasa

de flujo de saturación por grupo de carriles de cada fase y acceso se obtiene mediante la ecuación 2. En la figura 40 se muestran los resultados de las tasas de flujo de saturación convertidos a vehículos personales (tipo sedan) por hora verde en el grupo de carriles bajo condición “actual”, noviembre de 2019.

**Figura 40**

*Resultado de los volúmenes del Flujo de Saturación*

Ajuste de Volumen															
ACCESOS	OESTE			ESTE			NORTE			SUR			Y NORTE UHILA		
	IZQ	DE FRENTE	DER	IZQ	DE FRENTE	DER	IZQ	DE FRENTE	DER	IZQ	DE FRENTE	DER	IZQ	DE FRENTE	DER
Volumen, V (veh/h)	547	507	109	387	797	846	312	463	134	108	502	104	73	12	33
Factor de Hora Pico, PHF	0.80	0.80	0.80	0.91	0.91	0.91	0.77	0.77	0.77	0.95	0.95	0.95	0.82	0.82	0.82
Ajuste de la tasas de flujo, $V_p = V/PHF$ (veh/h)	684	634	136	425	876	930	405	601	174	114	528	109	89	15	40
Grupo Carril															
Ajuste de tasa de flujo en el grupo carril, v (veh/h)	1,454			2,231			1,181			752			144		
Proporcion de giros a la Izquierda (PLT)	0.470			0.19			0.34			0.15			0.62		
Proporcion de giros a la derecha (PRT)	0.09			0.417			0.15			0.15			0.28		
Tasa de Flujo de Saturación															
Flujo de Saturacion Base, $S_0$ (pc/h/ln)	1,900			1,900			1,900			1,900			1,900		
Numero de carriles, N	4			5			3			4			1		
Ancho de Carriles, W	0.96			0.97			0.99			0.91			0.99		
Vehiculos Pesados, f	0.97			0.91			1			1			1		
Pendiente, fg	1			1			1			1			1		
Estacionamiento, fp	0.75			0.73			1			0.79			1		
Bloqueo de Autobuses, fbb	0.99			0.98			0.97			0.98			1		
Tipo de Área	0.9			0.9			0.9			0.90			0.9		
Utilización de Carriles	1.00			1.00			1			1.00			1		
Vueltas a la Izquierda	0.98			0.99			0.98			0.99			0.97		
Vueltas a la Derecha	0.986			0.94			0.98			0.98			0.96		
Bloqueo Peatones/Ciclistas Vueltas Izq	1			1			1			1			1		
Bloqueo Peatones/Ciclistas Vueltas Der	1			1			1			1			1		
Ajuste Flujo de Saturación, s (veh/h)	4565			4987			4710			4645			1571		






Nota. Elaboración propia con datos obtenidos en campo 26 de Noviembre de 2019, con referencia en la figura 16-21 del capítulo 16, página 16-31 del HCM (2000).

### 4.3 Módulo de análisis de capacidad

En la figura 41 se presenta el módulo de capacidad explicado en el paso 5. La capacidad es una medida de la oferta del control con semáforo para el grupo carril que se evalúa. La ecuación 3 expresa la dependencia de la capacidad de la relación verde efectivo a ciclo. Además, la relación entre la capacidad y la tasa de flujo de saturación ( $c_i/s_i$ ) bajo condiciones prevalecientes es equivalente a la proporción del verde de la fase con respecto al ciclo; en los resultados se observa diferencias considerables entre estos. También, se obtiene la relación volumen a capacidad ( $X_i$ ), ecuación 4, que expresa el desempeño del grupo carril o relación demanda a oferta; en los resultados se observa que los accesos este, oeste y norte tienen valores de  $X_i > 1$ , esto implica que el intervalo de verde no alcanza a evacuar la demanda.

**Figura 41**

*Resultados obtenidos del Análisis de Capacidad*

Análisis de Capacidad															
ACCESOS	OESTE			ESTE			NORTE			SUR			NORTE UHILA		
	IZQ	DE FRENTE	DER	IZQ	DE FRENTE	DER	IZQ	DE FRENTE	DER	IZQ	DE FRENTE	DER	IZQ	DE FRENTE	DER
Grupo Carril															
Ajuste Tasa de Flujo, v (veh/h)		1,454			2,231			1,181			752			144	
Flujo de Saturación, s (veh/h)	0	4565	0	0	4987	0	0	4710	0	0	4645	0	0	1571	0
Tiempo Perdido	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2
Ganancia		1			1			1			1			1	
Amarillo (todo rojo = 0)		3			3			3			3			3	
Todo Rojo Tr		0			0			0			0			0	
Verde Real G seg		35			35			14			39			39	
Tiempo Verde Efectivo, g(s)		35			35			14			39			39	
Ciclo		135			135			135			135			135	
Relación de Verde, g/C		0.26			0.26			0.10			0.29			0.29	
Capacidad Grupo Carril		1184			1293			488			1342			454	
Relacion v/c , X		1.23			1.73			2.42			0.56			0.32	
Tiempo Perdido por Fase		5.00			5.00			5.00			5.00			5.00	
Relacion de Flujo, v/s		0.32			0.447			0.251			0.162			0.092	
Grupo Carril Crítico por fase		0.32			0.447			0.251			0.162			0.092	
Suma de grupo de carriles criticos	1.18														
Tiempos Perdidos Totales, L (s)	20.00														

Nota. Elaboración propia con datos obtenidos en campo 26 de noviembre de 2019, con referencia en la figura 16-22 del capítulo 16, página 16-32 del HCM (2000).

#### **4.4 Módulo de nivel de servicio**

La figura 42 presenta el análisis y los resultados del paso 6. Mediante este módulo se determina el nivel de servicio que depende de las demoras de control por vehículo y se calcula con las fórmulas 6 a 11 del capítulo 1, que se estiman para cada grupo de carriles de cada acceso y para la intersección completa.

El nivel de servicio específicamente es expresado en términos de las demoras incrementales y demoras medias de los vehículos en la intersección; para este caso, el periodo de análisis fue de 15 minutos, en condición de máxima demanda en día laboral. (Cal y Mayor y Cárdenas, 2007).

El resultado de la demora por grupo carril, por acceso y del total de la intersección se evalúa con la tabla 13 para designar el Nivel de Servicio. Se observa que los accesos oeste, este y norte ofrecen nivel de servicio F o congestionado; los accesos sur y la UHILA ofrecen nivel de servicio E, es decir casi congestionado.

De acuerdo con la metodología del manual de capacidad de carretas del HCM (2000) y a la simulación realizada en la hoja de cálculo del software Excel, el nivel de servicio de la intersección es de tipo F, lo que significa, que hay un exceso de la demanda sobre la capacidad en la intersección, es decir, el diseño del control semaforizado es ineficiente, con altas demoras, presencia de filas, congestión, entre otras consecuencias relacionadas con el impacto ambiental, social y económico.

## Figura 42

### Diagrama Módulo de Nivel de Servicio

Capacidad Grupo Carril, Control por Demora y Nivel De Servicio															
ACCESOS	OESTE			ESTE			NORTE			SUR			Y NORTE UHILA		
	IZQ	DE FRENTE	DER	IZQ	DE FRENTE	DER	IZQ	DE FRENTE	DER	IZQ	DE FRENTE	DER	IZQ	DE FRENTE	DER
Grupo Carril															
Ajuste Tasa de Flujo, v (veh/h)	1,454			2,231			1,181			752			144		
Capacidad Grupo Carril	1184			1293			488			1342			454		
Relación v/c	1.23			1.73			2.42			0.56			0.32		
Proporcion de Verde Total	0.26			0.26			0.10			0.29			0.29		
Demora Uniforme	50			50			61			48			48		
Duracion Periodo Analisis (h) T	0.25			0.25			0.25			0.25			0.25		
Factor de Demora Incremental K	0.5			0.5			0.5			0.5			0.5		
Factor de Ajuste de Demora Incremental I	1			1			1			1			1		
Demora Incremental	109			328			640			3			6		
Rpi relacion grupo de llegadas	1			1			1			1			1		
Prop de veh que llegan en el intervalo de verde, P	0.26			0.26			0.10			0.29			0.29		
Factor de Ajuste por tipo de arribo en verde, f PA	1			1			1			1			1		
Progression adjustment factor, PF	1			1			1			1			1		
Demora media por el control del grupo, d (s/veh)	159			378			701			51			54		
Nivel De Servicio por grupo carril	F			F			F			E			E		
Demora por Acceso, dA (s/veh)	159			378			701			51			54		
Nivel De Servicio	F			F			F			E			E		
Demora en la Intersección, DI (s/veh)							1,940,523								
Nivel De Servicio global intersección							F								

Notas

Nota. Elaboración propia con datos obtenidos en campo 26 de noviembre de 2019, con referencia en la figura 16-22 del capítulo 16, página 16-32 del HCM (2000).

## Capítulo 5 Análisis de resultados

Los resultados del análisis en el área de influencia de la intersección E10 - C.A. de capacidad y nivel de servicio bajo condiciones prevalecientes, con información tomada el 26 de noviembre de 2019, indican que la solución diseñada por SEMOVI no atiende la demanda de forma eficiente y segura.

A continuación se hace un resumen de los hallazgos en la investigación:

- Además, el análisis de conflictos revela que los accesos sur y de la UHILA presentan conflictos entre de corrientes vehiculares de cruce en cada uno de sus movimientos con riesgos de colisión y situaciones de accidentes.
- Se presenta un análisis de tiempos requeridos para el cruce de peatones en cada acceso de la intersección donde se debe de tener tiempo suficiente para que puedan cruzar de manera segura y así evitar entrar en conflicto con las maniobras de giro de las corrientes vehiculares.
- En el análisis del módulo de la tasa de flujo de saturación del manual de capacidad del HCM (2000) no se incluye el factor por el número de peatones y de bicicletas que entran en conflicto con los vehículos que giran, tanto a la derecha como a la izquierda, por la complejidad de la toma de información. Sin embargo, con el análisis de conflictos vehículos y peatones se evidencia que la tasa de flujo de saturación sería más baja y, por lo tanto, la capacidad baja, la relación volumen a capacidad aumenta, mayor demora, lo que empeora el nivel de servicio; es decir, mayor nivel de congestión.
- Los niveles de servicio como el tipo E y F presentan características de operación desfavorables para transitar en la intersección de estudio como: ciclos demasiado largos

que ocasionan demoras y sincronía muy pobre de los semáforos lo que causa que se genere congestionamiento y que se obstruyan las salidas de los accesos corriente arriba y corriente abajo de la intersección y por ello, el sistema no ofrece la suficiente oferta para atender la demanda del tránsito vial.

- Además de los resultados presentados en el capítulo 4, con el ciclo de 135 s, se realiza un análisis de sensibilidad, rediseñando el programa de fases, aumentando el ciclo a 180 s y de forma proporcional al volumen se aumenta el verde de cada fase. En los resultados se observa que el nivel de servicio se mantiene en tipo F en los accesos Este y Oeste; sin embargo, los accesos Sur y UHILA mejoran con NDS D. El análisis es complejo pues la demanda es alta en todos los accesos y las colas obstruyen accesos y salidas corriente arriba.

En este capítulo se describen tres propuestas de solución para la mejora de la capacidad vial de la intersección E10 - C.A. y su nivel de servicio en términos de los indicadores de desempeño de la metodología del Highway Capacity Manual HCM (2000). Para ello se hace un balance de los intervalos de verde de cada acceso de la intersección para hacer más eficiente el servicio. Se aprovecha el algoritmo realizado en la hoja de cálculo de Excel para hacer un análisis de sensibilidad de la demora, cambiando el intervalo de verde, pero conservando el ciclo de 135 s. Además, se cambiarán parámetros de llegada y de llegadas de pelotón durante la indicación de verde del semáforo.

### **5.1 Alternativa 1. Se Aumenta el Tiempo de Verde Real en el Accesos Este y Oeste**

La relación volumen a capacidad mayor que 1 indica el exceso de demanda respecto de la oferta. Por ello se analizan los accesos Este y Oeste. Por lo tanto, se hace un cambio en el reparto del intervalo de verde real, pero se deja el ciclo constante. Entonces, a los intervalos de tiempos

de verde real de 35 segundos, en los accesos Este y Oeste, se le suman 7s y 22 s, quedando de 42 y 57 segundos respectivamente. No obstante, el intervalo de verde del acceso Sur debe disminuir en 29 s, para conservar el tamaño de ciclo.

En la tabla 14 se presentan los resultados obtenidos, en color azul se muestra la comparación y los cambios de los intervalos de verde levantados en campo e intervalos de verde propuestos para cada acceso, así como el resultado final del tipo de nivel de servicio que ofrece cada acceso en la intersección.

En la siguiente tabla 14 se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 14**

*Resultados de la Alternativa 1*

Tiempos de verde a Noviembre de 2019			Propuesta de intervalos de verde		
Acceso	Tiempo de verde (s)	N D S	Tiempo aumentado (s)	Cambio tiempo de verde (s)	N D S
<b>OESTE</b>	<b>35</b>	<b>F</b>	<b>+7</b>	<b>42</b>	<b>E</b>
<b>ESTE</b>	<b>35</b>	<b>F</b>	<b>+22</b>	<b>57</b>	<b>E</b>
NORTE	14	F	14	14	F
SUR	39	D	-29	10	F
NORTE U.H.	39	D	-29	10	F

Nota. Elaboración propia con datos obtenidos en campo 26 de Noviembre de 2019.

La capacidad que presenta cada grupo carril es de 1420 y 2106vehículos por hora, por lo que se obtiene una demora uniforme de 47 y 39 s/veh y una demora incremental de 30 y 37 s/veh para cada acceso y una demora media por control de grupo carril de 76 y 76 s/veh.

Por lo tanto, los resultados arrojados de la simulación por la hoja de cálculo Excel es de un nivel de servicio tipo E, donde se tienen límites aceptables en la demora en la intersección. Sin embargo, los accesos Norte y Sur tienen NDS F. Con esto se logra balancear los intervalos de verde y equilibrar los niveles de servicio.

## **5.2 Alternativa 2 Aplicar Parámetros de tipo de llegada del grupo de carriles AT**

Para el segundo escenario de mejora en nuestro análisis, se toma en cuenta solo el acceso Oeste que considera una buena progresión en el semáforo para vehículos que llegan con luz verde, así por ejemplo, se modifica el valor de tipo de llegada que tienen los vehículos al llegar a la intersección, valor propuesto por el Highway Capacity Manual HCM (2000), el cual estima que la calidad de progresión del tipo de arribo a la intersección es *Altamente Favorable*.

Para este análisis de resultados se propone aumentar a 50 segundos de verde real al acceso Oeste para obtener un nivel de servicio tipo C.

Otros parámetros importantes que se ingresan a la simulación de la hoja de cálculo Excel y que se consideran dentro de la metodología del manual de capacidad es, el factor de ajuste suplementario de indicación de verde,  $f_{PA}$  su valor es de 1 y el factor del tipo de llegadas del grupo carril,  $R_p$  que tiene como valor 1.667.

En la tabla 15 se muestran los valores propuestos por el Highway Capacity Manual HCM (2000).

Con el ajuste que se modifica a los factores de relación de llegadas y factor suplementario de verde, la solución que se obtiene en la metodología del manual de capacidad es más favorable, porque se logra una demora media por el control de grupo carril para el acceso Oeste de 31 s/veh.

**Tabla 15***Datos para determinar el tipo de llegadas de la Alternativa 2*

Relación de verde $* \frac{g}{C}$	TIPO DE LLEGADAS (AT)					
	AT 1	AT 2	AT 3	AT 4	<b>AT 5</b>	AT 6
0.20	1.167	1.007	1.000	1.000	0.833	0.750
0.30	1.286	1.063	1.000	0.986	0.714	0.571
0.40	1.445	1.136	1.000	0.895	0.555	0.333
0.50	1.667	1.240	1.000	0.767	0.333	0.000
0.60	2.001	1.395	1.000	0.576	0.000	0.000
0.70	2.566	1.653	1.000	0.256	0.000	0.000
$f_{PA}$	1.00	0.93	1.00	1.15	<b>1.00</b>	1.00
$R_P$	0.333	0.667	1.000	1.333	<b>1.667</b>	2.000

Nota. Elaboración propia, Highway Capacity Manual HCM (2000).

A continuación, en color azul de la tabla 16 se muestran los resultados obtenidos con el algoritmo de simulación para la segunda propuesta.

El resultado para esta propuesta de mejora es significativo, ya que al aplicar las modificaciones en los factores antes mencionados y cambiando el valor del tiempo de verde real para este acceso, se logra alcanzar un Nivel de Servicio tipo C, lo cual, quiere decir que se comienza a notar un congestionamiento vehicular por la sincronía regular del ciclo de los semáforos.

**Tabla 16***Resultados del tipo de llegadas de la Alternativa 2*

Acceso	Tiempos de verde		Factores propuestos del HCM (2000)		
	N D S	Cambio del Tiempo de Verde Seg	Factor de ajuste suplementario en verde $f_{PA}$	Tipo de llegas del grupo carril $R_p$	N D S
<b>OESTE</b>	<b>E</b>	<b>50</b>	<b>1</b>	<b>1.667</b>	<b>C</b>
ESTE	F	49	1	1	F
NORTE	F	14	1	1	F
SUR	F	10	1	1	F
NORTE U.H.	F	10	1	1	F

Nota. Elaboración propia con datos obtenidos en campo 26 de noviembre de 2019

Con el ajuste que se modifica a los factores de relación de llegadas y factor suplementario de verde, la solución que se obtiene en la metodología del manual de capacidad es más favorable, porque se logra una demora media por el control de grupo carril para el acceso Oeste de 31 s/veh.

### 5.3 Alternativa 3 Mejoramiento en los Accesos Norte y Oeste

En la tercera alternativa de mejora en la intersección de estudio es necesario realizar el ajuste en el Módulo de Flujo de Saturación en aumentar a un carril en los accesos Oeste y Norte con el objetivo de tener mayor capacidad de descarga del tránsito vehicular, mientras que en el módulo del nivel de servicio se modifican los tiempos de verde real de, 54 seg para el acceso Oeste y 49 seg para el Norte.

La tabla 17 representa cada uno de los accesos de la intersección, así como el número de carriles y el tiempo de verde de cada acceso, el color azul indica el aumento de carriles y el aumento del tiempo en los accesos.

**Tabla 17**

*Datos para el Ajuste en el Flujo de Saturación y análisis de Capacidad*

Acceso	Número de carriles y tiempos de verde en campo					Modificación de los carriles y tiempos de verde real				
	Oeste	Este	Norte	Sur	UH	Oeste	Este	Norte	Sur	UH
No. Carriles	<b>4</b>	5	<b>3</b>	4	1	<b>5</b>	5	<b>4</b>	4	1
Tiempo de verde	<b>35</b>	35	<b>14</b>	39	39	<b>54</b>	10	<b>49</b>	10	39

Nota. Elaboración propia con datos obtenidos en campo 26 de Noviembre de 2019

Con este cambio, en el número de carriles y en los tiempos de verde de cada módulo se asume un flujo vehicular considerable y significativo ya que, la descarga vehicular es más eficiente, la demanda puede atenderse de manera rápida y su capacidad y nivel de servicio no se verá rebasada por la demanda vehicular.

Por otro lado, en el módulo del nivel de servicio las demoras uniformes que presentan estos accesos son de 33 s/veh y 34 s/veh, mientras que sus demoras incrementales disminuyen a 2 s/veh para cada acceso.

Para las demoras medias se tiene una disminución en el tiempo por vehículo de cada grupo de carriles, así, por ejemplo, el acceso Oeste cuenta con 35s/veh y el acceso Norte con 35 segundos por vehículo.

Por lo tanto, los cálculos y las modificaciones realizadas en el algoritmo de la simulación de la hoja de cálculo Excel para la tercera alternativa de mejora, arrojan resultados favorables para cada acceso donde se logra obtener una progresión del tránsito regular.

En la tabla 18 se observan los resultados arrojados de las demoras y el tipo de Nivel de Servicio de cada acceso de la intersección.

**Tabla 18**

*Resultados obtenidos del Nivel de Servicio Alternativa 3*

Tipo de demora	Cálculo de las demoras con datos en campo					Cálculo de las demoras, modificación tiempos de verde				
	Oeste	Este	Norte	Sur	UH	Oeste	Este	Norte	Sur	UH
Demora uniforme seg/veh	<b>50</b>	50	<b>61</b>	41	38	<b>33</b>	63	<b>34</b>	63	38
Demora incremental seg/veh	<b>109</b>	328	<b>640</b>	3	6	<b>2</b>	2268	<b>2</b>	537	6
Demora media seg/veh	<b>159</b>	378	<b>701</b>	44	43	<b>35</b>	2331	<b>35</b>	600	43
Nivel de servicio	<b>F</b>	F	<b>F</b>	D	D	<b>C</b>	F	<b>C</b>	F	F

Nota. Elaboración propia con datos obtenidos en campo 26 de noviembre de 2019.

De acuerdo con los resultados arrojados por la metodología del Highway Capacity Manual del HCM (2000), realizando comparaciones de los módulos de la metodología y las propuestas hechas, se observa que se puede tener la ventaja de contar con más tiempo de verde en los semáforos y un aumento de carriles en ciertos accesos de la intersección para la descarga del flujo vehicular que transita en la zona. Por ejemplo, en la propuesta 3 el flujo vehicular podría ser aceptable si se llegará a considerar la habilitación de un carril más en el acceso Oeste.

Asimismo, tener en cuenta una prolongación corta y que exista una óptima regulación en los tiempos de los semáforos para cada acceso de la intersección para evitar demoras y colas largas de vehículos en los accesos con mayor demanda, que es el caso de los accesos Este y Oeste de la zona de estudio.

## Conclusiones

La red vial urbana y, en particular, las intersecciones semaforizadas son sistemas complejos que operan con corrientes motorizadas y no motorizadas, donde intervienen múltiples factores internos y externos, tal como, elementos de infraestructura, sistemas de señalización, control, normas y reglas, donde operadores y usuarios interactúan con desequilibrios e incertidumbres. La metodología de enfoque de sistemas, específicamente el proceso CLIOS, orientan la visión sistémica del ingeniero para identificar su estructura, los subsistemas, sus interrelaciones, funcionalidades, los participantes, los elementos emergentes que afectan el desempeño del sistema. Esto permite jerarquizar los aspectos que determinan el funcionamiento del sistema, sus indicadores cuantitativos y cualitativos apropiados para evaluar el sistema y establecer juicios de valor que respondan la pregunta de investigación, entre otros cuestionamientos.

Con el fundamento en la teoría general de los sistemas, la metodología del enfoque de sistemas y considerando el proceso CLIOS, se identifican las relaciones entre los elementos del sistema de tránsito y sus subsistemas en vías principales de la CDMX, donde se evidencian problemas de accidentes de tránsito, congestionamiento vial, invasión a los espacios de estacionamientos, entre otros. A partir de estas relaciones se lleva a cabo la conceptualización de cada elemento que se explica y se desarrolla para entender el funcionamiento dentro del sistema como parte de los problemas de transporte y del tránsito y conocer sus posibles causas como elementos principales que representan en general a un sistema vial urbano.

Los accidentes en intersecciones a nivel son los sitios más complejos de los sistemas viales e influyen de manera negativa en gran medida entre peatones y ciclistas y a un gran

número de factores tales como, la disponibilidad del uso de transporte público, transporte privado y al uso exclusivo de una vialidad.

La interacción entre los vehículos, peatones y ciclistas que van en distintas direcciones en una corriente vehicular discontinua generalmente presentan conflictos con peatones especialmente los vehículos que hacen las maniobras de giro, por ello, los accidentes de tránsito constituyen una de las externalidades de mayor impacto en el transporte y en sistemas viales.

La ingeniería de tránsito integra recursos matemáticos, físicos y aplicaciones sistemáticas, tecnológicas, de programación y comunicación para estudiar, diseñar, operar y controlar las corrientes, motorizadas y no motorizadas, que circulan en la red vial, de viajes personales y de carga, que se mueven de acuerdo con sus necesidades, intereses y satisfactores. Mediante procesos sistemáticos se realizan estudios y se aplican metodologías para obtener medidas apropiadas de elementos emergentes del sistema vial, por ejemplo: los accidentes, los viajes de personas y carga, la demanda de personas y vehículos en la oferta vial, las emisiones de partículas por el consumo de combustibles, la demora para cruzar una intersección, entre otros.

Los controladores de semáforos son productos de la cibernética, elementos de la infraestructura de transporte, que regulan el paso de los flujos en la intersección, por los accesos y salidas, según sus rutas, origen y destino. Esto se realiza mediante programas de semáforo compuestos por fases. Cada fase otorga el derecho de paso mediante los intervalos de tiempo de luz verde, de la forma más eficiente y con mínimo riesgo. Sin embargo, existen elementos de incertidumbre, dados los múltiples factores que se presentan y que se describen en esta tesis.

Los factores se identifican mediante estudios de tránsito tales como: los estudios de condiciones existentes, estudio de volúmenes direccionales, estudios de estacionamiento,

estudios de operación del servicio público, accesos y salidas al uso del suelo, estudios de intervalos de tiempo de semáforo, uso de suelo, entre otros.

Aunque hay varios métodos y tecnologías para realizar los estudios y aforos de tránsito, el método de recolección de información con cámara de video es económico y eficiente; permite captar detalles de operación de la infraestructura vial, en el tiempo y el espacio; ayuda a identificar factores claves para el desempeño del sistema, por la ubicación estratégica y la experiencia de quien opera la cámara. Esta información es valiosa pues se conserva en archivo digital, para su reuso en estudios de antes y después. Adicionalmente, el material grabado fue indispensable para la elaboración de la tesis en los años 2020, 2021 y primer semestre del 2022, tiempo de confinamiento por la emergencia sanitaria causada por el COVID-19.

La identificación de usuarios y vehículos, sus características, condición de circulación, conflictos por fase, medidas de demanda, oferta; así como los parámetros que participan en los métodos de diseño, operación y nivel de servicio, son determinantes para la evaluación de la seguridad, la eficiencia y efectividad del sistema de tránsito. Esto constituye la principal aportación de esta tesis.

La metodología del HCM (2000) combina algunos de los factores que crean incertidumbre en la operación de la intersección semaforizada, tales como: la demanda compuesta por el factor humano, los vehículos motorizados y no motorizados que se mueven en la red vial con reglas de operación; y la capacidad que depende de parámetros, tal como la tasa de flujo de saturación y la razón intervalo de verde a ciclo, además de la razón volumen a tasa de flujo de saturación y la demora. A su vez, el parámetro tasa de flujo de saturación depende de la forma como se usan los carriles de acceso y salida de la intersección, metodológicamente identificados como los grupos carril de mayor demanda, la proporción de vehículos pesados, la

pendiente, las paradas del transporte de pasajeros, las maniobras de estacionamiento, el uso del suelo, el balance de los flujos entre los carriles, la interacción entre los flujos de peatones y bicicletas con los flujos de vehículos en los accesos y salidas, según se programan las fases y sus intervalos de verde exclusivos o compartidos.

Sin embargo, el HCM (2000) asume que hay educación vial, cultura ciudadana y respeto a las normas de tránsito; por lo tanto, los usuarios, operadores y residentes cumplen las normas y reglamentos del tránsito. Además, la infraestructura tiene buenas condiciones básicas de circulación, geometría, condición de pavimento, señalización y elementos tecnológicos necesarios para garantizar condiciones seguras y eficientes. Como se demuestra en el capítulo 2, tales condiciones no se cumplen, por lo tanto, existen situaciones eventuales, riesgo e incertidumbre, que se manifiestan en peligro latente, accidentes, formación de cuello de botella, congestión, etc. Esto implica que los resultados que entrega la metodología del HCM (2000) pueden ser más graves, dados los problemas que se presentan por la falta de cultura vial, los múltiples conflictos, reducción de carriles efectivos de circulación, entre otros.

Aunque existen softwares comerciales, de alto costo, la metodología estudiada cuidadosamente, se puede programar mediante módulos, que sistemáticamente permite hallar los parámetros e indicadores apropiados para evaluar la operación del sistema. La sensibilidad del algoritmo otorga al ingeniero una buena guía de intervención de los factores que tienen más efecto en los indicadores de desempeño del sistema y por lo tanto de su intervención. Así es como surgen las alternativas de mejora del sistema y su impacto en el nivel de servicio de la intersección.

No obstante, no todos los factores de operación se incluyen en la metodología del HCM (2000). El estudio de corrientes peatonales y vehiculares y sus conflictos, en la intersección y sus

fases, permite identificar incertidumbres y riesgos que padecen los usuarios y viajeros. En horas de máxima demanda, los intervalos de tiempo de semáforo no son suficientes para que peatones, ciclistas y vehículos crucen los ramales de salida de la intersección. Además, la fase que otorga el paso del acceso de la calle Ingeniería (salida de CU) y la salida de la U.H.I.L.A. tiene conflicto de cruce que se resuelve por brechas; situación que no se cuantifica en la metodología del HCM (2000). Varias quejas se manifiestan por los residentes de la cita unidad habitacional y los directivos de la UNAM.

La condición de uso del suelo de Ciudad Universitaria, durante los días laborales y de actividad escolar, implica alta demanda de viajes sometidos a situaciones de riesgo e incertidumbre que merecen soluciones inmediatas y robustas que disminuyan la emergencia sistémica de accidentes.

Hay alternativas para controlar este tipo de externalidades, conflictos vehiculares, congestionamiento, entre otras condiciones operativas que afectan el flujo de tránsito vehicular de la intersección. Se puede hacer uso de sistemas de control avanzados, tal como los llamados semáforos inteligentes, que pueden controlar la demanda vehicular y peatonal de manera más eficiente, de tal forma que puedan manipular y controlar altos volúmenes de vehículos que generan congestión vial y, además, que sean útiles para que descarguen las colas de vehículos de acuerdo con la oferta de la red vial.

Mediante el caso de estudio de la intersección *Eje 10 Sur (Av. Copilco) y Cerro del Agua, en Coyoacán, Ciudad de México*, donde se aplican los recursos metodológicos del enfoque de sistema con el proceso CLIOS, así como los métodos de estudio, evaluación y seguimiento de la operación de la infraestructura vial, se responden preguntas y se proponen soluciones tendientes a ofrecer un mejor servicio de tránsito, eficiente y seguro.

Identificados los conflictos de tránsito se procede a medir o calcular las medidas de desempeño necesarias para definir los niveles de servicio, todo ello con base al proceso de observación que se llevó a cabo en la zona de estudio, al análisis y la aplicación de la teoría general de los sistemas.

Por otra parte, para el flujo de los usuarios que se presenta en la intersección se realiza el estudio de tiempo de semáforo peatonal, el cual, permite identificar en que acceso de la intersección se debe de tener mayor tiempo de cruce peatonal.

En la intersección E10 – C.A. se perciben las malas condiciones prevalecientes, se observa que tiene deficiencias y poca visibilidad en la señalización horizontal donde se identifica el desgaste de pintura en las letras y símbolos de tránsito, en cuanto a términos de dispositivos de señalización vertical restrictiva de estas señales como: *límite máximo de velocidad, prohibido estacionarse, solo vuelta a la izquierda, prohibido el retorno, paradas prohibidas*, entre otros, no existía la presencia donde su principal propósito es prevenir, regular los problemas de tránsito y disminuir los accidentes viales de los contrario, se presentan problemas y riesgos para todos los usuarios que transiten por la zona.

También se realiza estudios de volúmenes direccionales donde se obtiene información relacionada con los movimientos de cada vehículo y de cada acceso de la intersección, así como el comportamiento de los patrones de volúmenes de tránsito, lo cual, permite analizar los flujos y conocer qué tanta es la demanda que pasa durante el periodo de análisis, así como determinar la capacidad de cada acceso y de la intersección.

La herramienta empleada para la programación del algoritmo de capacidad y nivel de servicio del HCM (2000) es la hoja de cálculo Excel de Microsoft.

Después de realizar el análisis de la capacidad de cada acceso de la intersección los resultados obtenidos se presentan en cada uno de los módulos de la metodología del manual de capacidad HCM (2000) “*Módulo de ajuste de volúmenes, Módulo de flujo de saturación, Módulo de análisis de capacidad y Modulo de Nivel de Servicio*”,

En el análisis de capacidad y nivel de servicio se utiliza como indicador de efectividad la demora que es la suma de la demora uniforme y la demora incremental, que define el nivel de servicio.

Con los cálculos y resultados se obtiene el nivel de servicio de tipo F para los accesos y de toda la intersección; este nivel de servicio representa para los conductores: tiempos de demoras excesivas, sincronización pobre de los semáforos, flujos vehiculares que exceden la capacidad de la intersección. Lo anterior se da porque existen factores como: *el bloqueo de autobuses* de transporte público que interrumpen el flujo vehicular, la invasión y *utilización de carriles* como estacionamientos por parte de los camiones de carga que ocasionan reducción de carriles para el tránsito, *vueltas a la izquierda y vueltas a la derecha*, entre otros, que hacen que disminuya la tasa de flujo de saturación, ya que ésta afecta la capacidad de la intersección y por lo tanto aumentan las demoras.

Este resultado en condiciones operativas es desfavorable, ya que se presenta flujos vehiculares con congestionamiento y demoras superiores a los 80 segundos por vehículo, situación que se le atribuye a la formación de cuellos de botella, ya sea por las operaciones del transporte público, la presencia de camiones de transporte de carga y a su actividad que realizan en la zona.

Por lo tanto, el indicador de capacidad en el análisis de la intersección E10 – CA muestra que la demanda supera la oferta, en períodos de máxima demanda; esto representa una operación

saturada con congestamiento vehicular y poco eficiente para la circulación del tránsito, lo que quiere decir que, a baja capacidad mayores demoras, como se observa en los accesos Norte, Este y Oeste los cuales, tienen una demora de 701 s/veh, 159 s/veh y 378 s/veh y sus niveles de servicio fueron de tipo F, por lo que son accesos poco favorables para el tránsito vehicular.

Finalmente, con base al análisis de los resultados obtenidos que se describen en el capítulo 5 y mediante la aplicación de la metodología del manual de capacidad HCM (2000), se analizan y se presentan tres posibles alternativas de solución.

- ❖ En la tabla 14 se presenta la primera propuesta de mejora, donde se muestra que se debe tener un aumento en el tiempo de verde para los accesos Este y Oeste con 42 seg y 57seg. (franja sombreada en color azul), por lo tanto, el nivel de servicio que resulta es de tipo E.
- ❖ Para la segunda propuesta de mejora se presenta la tabla 16, donde se considera el parámetro de tipo de llegada (AT) de 5 en el grupo de carril para el acceso Oeste de la intersección, el cual, se considera que es altamente favorable, en este caso su nivel de servicio es de tipo C.
- ❖ Por último, la tercera propuesta en la tabla 18 se toma en cuenta aumentar a un carril a los accesos Norte y Oeste, ya que se tendrá más capacidad para desalojar el tránsito vehicular y con ello mejora de manera eficiente la operación del tránsito contando con un nivel de servicio de tipo C para ambos accesos.

Es importante recalcar que dentro del alcance de la tesis no se incluye el análisis peatonal en los conflictos vehiculares descritos en el capítulo 3 establecido por el manual de capacidad HCM (2000), porque se observa que los peatones cuentan con poco tiempo de verde para cruzar en los intervalos de verde de las señales de los semáforos, porque los giros a la derecha son muy demandantes y comparten el verde con el peatón, por lo tanto, la solución de compartir ese

tiempo de verde no beneficia en nada a la seguridad peatonal. Por tal motivo, se recomienda hacer un análisis más profundo para que los peatones como los vehículos tengan tiempo y seguridad al cruzar y transitar en la vialidad.

Asimismo, por la falta de información detallada es complicado incorporar el análisis peatonal, dado que se obtiene un nivel de servicio tipo F, por lo que las demoras crecerían aun teniendo en cuenta el estudio de los peatones en la intersección.

## Recomendaciones

Las problemáticas de accidentes viales en la intersección E10 – C.A. se manifiestan principalmente por la congestión del tráfico, la pérdida de tiempo, los conflictos de tránsito y la mala operación en el transporte urbano. Esto se debe a diversos factores, como la planificación urbana, el diseño inadecuado de las vías, el crecimiento del parque vehicular y el uso de controladores de tránsito obsoletos.

Lo anterior mencionado, reduce el espacio para transitar en las vialidades tanto para peatones y ciclistas como para vehículos motorizados y no motorizados.

Por otra parte, existen conflictos graves entre vehículos, peatones y ciclistas que comparten el mismo espacio en la vialidad, en la misma fase de semáforo; por ejemplo, de acuerdo con lo que se muestra en el diagrama de fases del capítulo 3, donde se ilustran las maniobras de salida desde la U.H.I.L.A. y el giro a la izquierda que se realiza desde la calle ingeniería, ambos accesos comparten el mismo tiempo de verde y no es suficiente el tiempo para los dos al momento de cruzar. Esto crea altos riesgos de atropellamiento entre peatones y también genera riesgos de conflictos entre los vehículos, por lo tanto, este tipo de situaciones debe de atenderse. En la metodología del HCM (2000) para el estudio de la fase 3 mencionada anteriormente donde existen conflictos vehiculares de giros izquierdos y maniobras de frente, se resuelven por medio de brechas, este tipo de observaciones es una situación de riesgo de accidentes que no la incluye la metodología y que, por lo tanto, se recomienda ser estudiada.

Para resolver los conflictos vehiculares en la intersección se deben hacer estudios y análisis más profundos del comportamiento de las corrientes vehiculares, así como, sus maniobras de giros. Por lo que se debe incorporar soluciones más eficientes para:

- ❖ Evitar los conflictos viales.

- ❖ Que se tenga más protección hacia los peatones y ciclistas
- ❖ Que los vehículos puedan hacer sus maniobras de giros con mayor seguridad

Cabe mencionar que en la intersección de estudio aún existen graves problemas de tránsito vial, ya que:

- ❖ La solución que el gobierno y las entidades encargadas de la CDMX implementaron en el año 2020 – 2021 no fue suficiente porque aún existen riesgos de accidentes entre vehículos, vehículos y peatones y por lo tanto se debe seguir analizando y profundizando en las soluciones.
- ❖ Incorporar un sistema de gestión más eficiente para que los autobuses ya no realicen las maniobras en doble fila y que generen los cuellos de botella y para que ya no haya estacionamientos.

Otra recomendación de importancia es aprovechar los adelantos de la cibernética de control con semáforo. Los recientes desarrollos en la tecnología de controladores de semáforo utilizan sistemas adaptables a las condiciones prevalcientes del tránsito; en el argot popular conocidos como semáforos inteligentes, que optimizan la fluidez del tráfico y mejoran la movilidad en los corredores viales, de esa manera establecen un mejor equilibrio entre la demanda y la oferta.

También, permite la selección de planes de semáforos adaptados a las condiciones del tráfico (SEMOVI, SSC).

Se deben de tener en cuenta tres factores que deben ser analizados antes de la instalación de un dispositivo de control adecuado en una intersección: *el análisis de tráfico, movimientos de los peatones y estudio de los accidentes.*

Sistemas inteligentes de transporte y el control adaptable con semáforos en intersecciones tienen por objeto resolver de manera segura y eficiente los conflictos entre las corrientes vehiculares y la circulación de los peatones, dando suficiente tiempo de verde para cruzar.

Por lo tanto, los sistemas inteligentes de transporte ayudan a identificar

- ❖ En el ordenamiento de los autobuses de transporte público
- ❖ Que se controle el tiempo de carga y descarga del transporte de carga y evitar el congestionamiento en horas pico, fuera de la hora pico
- ❖ Que los taxistas se estacionen en los lugares adecuados para que no generen cuellos de botella

Todo esto necesita del apoyo de la gestión del control de tránsito.

Por otro aspecto que se debe recomendar es que, se utilice sistemas tecnológicos para la aplicación de sanciones por violación al reglamento de tránsito vigente; así como supervisar los procedimientos de elaboración y envío de infracciones electrónicas donde se les informe a los infractores que se generó su multa por un mal uso de la vialidad. (Gobierno de la Ciudad de México, SSC, Dirección General de Aplicación de Normativa de Tránsito, 2025).

De la misma manera, mediante sistemas de cámaras de video y sistemas inteligentes de transporte automatizados se puede realizar la gestión del tránsito para:

- ❖ Evitar los cuellos de botella ocasionados por los autobuses de transporte público que realicen maniobras de ascenso y descenso de pasajeros ya que ocupan dos carriles en doble fila sobre los accesos norte y sur de la intersección.
- ❖ Formular y aplicar las normas y sistemas con que deberá operar el estacionamiento vehicular en la vía pública y que no afecten la circulación del tránsito en la intersección.

- ❖ Identificar actividades de carga y descarga por parte de camiones de carga en espacios prohibidos, principalmente en el acceso Oeste.

## Referencias

Lindberg, G. (2001), "*Traffic Insurance and Accident Externality Charges*", Journal of Transport Economics and Policy, 35: 399-416.

Rizzi, L. I. (2005). *Diseño de instrumentos económicos para la internalización de externalidades de accidentes de tránsito*. Cuadernos de economía, 42(126), 283-305.

La Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) y Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). 2023. Manual de señalización y Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras. Diario Oficial de la Federación el 19 de septiembre de 2023. México.

Radelat, G. (2003). *Principios de ingeniería de tránsito*. Institute of Transportation Engineers.

Von Bertalanffy, L. (1968). *General system theory*. New York, 41973(1968), 40.

Sánchez, B. (2006) *Introducción a la Ingeniería en Sistemas 2006-II*. Notas de clase. Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Sánchez, Benito. 2006. *Introducción a la ingeniería en Sistemas de Transporte Urbano. Treinta puntos para entender los sistemas de transporte*. Cuadernos de divulgación No. 1. Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Sussman. Joseph (2000) *Introducción to transportation systems*. Artech House

Roess, R. P., Prassas, E. S., & McShane, W. R. (2011). *Traffic Engineering—Fourth Edition* “. International Edition, Pearson.

Dodder, R. y Sussman, J. (2002). *The concept of a CLIOS analysis illustrated by the Mexico city case*. Working paper series ESD-WP-2003-01.07-ESD Internal Symposium. Massachusetts Institute of Technology Engineering Systems Division.

Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones*. Novena edición. Alpha Editorial.

Cal y Mayor, Rafael y Cárdenas, James. *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones*. Octava edición, Alfaomega Grupo Editor, México, D.F., 2007.

Transportation Research Board (TRB) (2000) *Highway Capacity Manual*. National Research Council (NRC), Washington DC.

Bertalanffy. L. V. (1976). *Teoría General de los Sistemas*. <https://fad.unsa.edu.pe/bancayseguros/wp-content/uploads/sites/4/2019/03/Teoria-General-de-los-Sistemas.pdf>

Secretaría de Movilidad. (2010 - 2020). *Espacios Peatonales Emergentes*. [https://semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/00.%20LINEAMIENTOS\\_PEATONALES%20EMERGENTES\\_SEMOVI.pdf](https://semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/00.%20LINEAMIENTOS_PEATONALES%20EMERGENTES_SEMOVI.pdf)

United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023: Edición especial*. UN.

Organización Mundial de la Salud. (2021). *Plan Mundial Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2021-2030*

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2006). *Análisis de los datos cuantitativos*. Metodología de la investigación, 6, 270-335

Secretaría de Movilidad. (2021- 2024). *Programa Integral de Seguridad Vial de la Ciudad de México*. <https://semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programa-integral-de-seguridad-vial-de-la-ciudad-de-mexico-2021-2024docx.pdf>

Institute of Transportation Engineering. 2010. *Manual of Transportation Engineering Studies 2nd Edition*.

<https://ciudadasaludable.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/03/3-2-5-programa-pasos-seguros-aep-agosto-2015.pdf>

Baeza Martínez, A., & Martínez Ambriz, E. R. (2012). *Metodología para el análisis de capacidad y nivel de servicio en intersecciones semaforizadas de acuerdo al manual de capacidad HCM 2000: Caso Cerro del Agua/Ingeniería.*

Alcaraz Evaristo, J. C. (2014). *Microsimulación en una intersección de flujo continuo: caso de estudio: Eje 10 Sur Copilco y Cerro del Agua.*

Secretaría de desarrollo urbano y vivienda. *Programa Delegacional de Desarrollo Urbano en Coyoacán.*  
[http://www.data.seduvi.cdmx.gob.mx/portal/docs/programas/PDDU\\_Gacetas/2015/PDDU\\_COYOAC%C3%81N.pdf](http://www.data.seduvi.cdmx.gob.mx/portal/docs/programas/PDDU_Gacetas/2015/PDDU_COYOAC%C3%81N.pdf)

Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda de la Ciudad de México. (1 de Marzo de 2024). *Programa General de Desarrollo del Distrito Federal, PGDDF.*  
[http://www.data.seduvi.cdmx.gob.mx/portal/docs/programas/programasdelegacionales/PLANO-DIVULGACION\\_PDDU\\_COYOAC%C3%81N.pdf](http://www.data.seduvi.cdmx.gob.mx/portal/docs/programas/programasdelegacionales/PLANO-DIVULGACION_PDDU_COYOAC%C3%81N.pdf)

Alcaldía Coyoacán. (16 de Abril del 2021).  
<http://www.coyocan.df.gob.mx/portal/index.php/tu-delegada/geografia>

Programa General de Desarrollo del Distrito Federal. 2013 – 2018.  
[https://servidoresx3.finanzas.cdmx.gob.mx/documentos/ProgGralDesarrollo\\_2013\\_2018.pdf](https://servidoresx3.finanzas.cdmx.gob.mx/documentos/ProgGralDesarrollo_2013_2018.pdf)

Secretaria de Movilidad. (18 de Agosto del 2021). *Programa integral de movilidad de la CDMX 2019-2024.* [https://www.semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/PIM-2019-2024\\_.pdf](https://www.semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/PIM-2019-2024_.pdf)

Secretaria de Movilidad. (2019 – 2020). *Programa Intersecciones Seguras.*

<https://semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Intersecciones%20Seguras%202019-20.pdf>

Secretaría de Movilidad. (28 de Noviembre del 2019). *Plan Estratégico de Movilidad de la CDMX*. <https://www.movilidad-integrada.tianguisdigital.cdmx.gob.mx/docs/plan-estrategico-de-movilidad-2019.pdf>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. *Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México, EOD 2017*. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/eod/2017/doc/resultados\\_eod\\_2017.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/eod/2017/doc/resultados_eod_2017.pdf)

Highway Capacity Software. (HCS). <https://store.mctrans.ce.ufl.edu/highway-capacity-software-1-office>

Cubic Transportation System.SYNCHRO STUDIO. Synchronization. <https://www.cubic.com/transportation/synchro-studio>

Planning Transport Verkehr GmbH. PTV VISTRO. Vision Traffic Optimization. <https://www.ptvgroup.com/en/products/traffic-engineering-software-ptv-vistro>

Akelik & Associates PTY LTD, SIDRA INTERSECTION. Signalised and Unsignalised Intersection Design and Research Aid. <https://www.sidrasolutions.com/software>

University of Florida, McTrans Center. TRANSIT-7F22. TRANSYT-7F Traffic Network Study Tool. <https://mctrans.ce.ufl.edu/highway-capacity-software-hcs/transyt-7f/>

University of Florida, McTrans Center. TSIS. Traffic Software Integrate System. <https://mctrans.ce.ufl.edu/tsis-corsim/>

Islas Rivera, V. (2000). Llegando tarde al compromiso: la crisis del transporte en la ciudad de México. El Colegio de México.

*Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011- 2020.* Organización de las Naciones Unidas. ONU.2010. <https://www.who.int/groups/united-nations-road-safety-collaboration/decade-of-action-for-road-safety-2011-2020>

Chias, L. *Diagnostico Espacial de los Accidentes de Tránsito en la Ciudad de México.* [http://www.institutoivia.com/cisev-ponencias/analisis\\_accidentes\\_aa/Luis\\_Chias.pdf](http://www.institutoivia.com/cisev-ponencias/analisis_accidentes_aa/Luis_Chias.pdf)

Organización de las Naciones Unidas. (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible.* <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>

Universidad Nacional Autónoma de México. (03 de Septiembre del 2019). *Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad.* <https://www.puec.unam.mx/index.php/component/content/article/820-presenta-el-puec-prediagnostico-del-cruce-de-cerro-del-agua-y-eje-10-sur-para-mejorar-el-acceso-a-ciudad-universitaria.html?catid=39&Itemid=101>

Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo. Externalidades Negativas Asociadas el Transporte Terrestre en México. <https://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/2023/01/Externalidades-negativas-asociadas-al-transporte-terrestre-Reporte-completo.pdf>

Subsecretaría de Control de Tránsito. (15 de Mayo del 2025), *Dirección General de Aplicación de Normativa de Tránsito de la CDMX.* <https://www.ssc.cdmx.gob.mx/organizacion-policia/subsecretaria-de-control-de-transito>

## ANEXO

En este apartado se presenta información relacionada al capítulo 3 donde se muestran los aforos realizados en campo de los días miércoles 27 de noviembre de 2019 y jueves 28 de noviembre de 2019, con dicha información que se obtiene se realizó el cálculo de tiempos de semáforo por medio del modelo de Webster, el volumen vehicular y la distribución de los flujos vehiculares que transita en los accesos, así como la variación del tránsito en un horario de máxima demanda, se realiza también la matriz Origen – Destino correspondientes a esos días y se presenta el diagrama de las condiciones existentes de la intersección.

### Tiempos de semáforo con base al Modelo de Webster

Mediante el modelo de Webster se realiza el diseño de los tiempos de semáforo para los accesos de la intersección de estudio.

Con las siguientes fórmulas que se presentan en la tabla 19 se hace el cálculo para determinar los tiempos de verde y el ciclo óptimo de semáforo para cada fase.

**Tabla 19**

*Fórmulas para determinar el ciclo óptimo de cada fase del semáforo.*

Fórmulas para el modelo de Webster	
Tiempos perdidos por fase	$t_L = l_1 + l_2$
Tiempos perdidos totales	$L = \sum_i^n t_{Li}$
Tiempo de ciclo óptimo	$C = \frac{1.5 L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\phi} Y_i}$
Tiempo de verde efectivo	$g_{TOT} = C - L$
Tiempos de verde reales	$G_i = g_i - Y_i + t_{Li}$

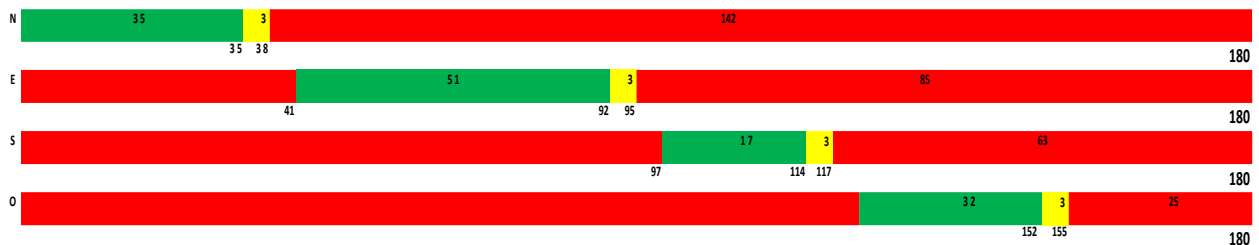
Elaboración propia con referencia en Roess, Prassas y McShane, 2011, p. 503.

Con base a los datos recabados en campo de las condiciones existentes se realiza el cálculo de los tiempos de amarillo, el todo rojo y los tiempos de verde de semáforo de las cuatro fases con un ciclo de 180 segundos.

En la figura 43 se muestra el diagrama de los tiempos de señal de semáforo para cada fase de la intersección.

**Figura 43**

*Diagrama de tiempos de intervalo de señal de semáforo vehiculares en la intersección E10 – CA*



Nota: elaboración propia con los resultados por el método de Webster.

En la tabla 44 se presentan los resultados de cada uno de los accesos de la intersección y el nivel de servicio con base al modelo al modelo de Webster.

**Figura 44**

*Resultados del Nivel de Servicio por medio del modelo de Webster*

Acceso	condicion calculada por Webster				
	Oeste	Este	Norte	Sur	UHILA
vede real calculado	39	60	44	24	24
ciclo	180	180	180	180	180
capacidad de grupos de carril: ci (veh/hr)	989	1662	1151	1032	349
relacion volumen a capacidad:Xi = v/C	1.47	1.34	1.03	0.73	0.41
demora por acceso: dA (s/veh)	286	217	101	45	44
NDS por acceso	F	F	F	D	D

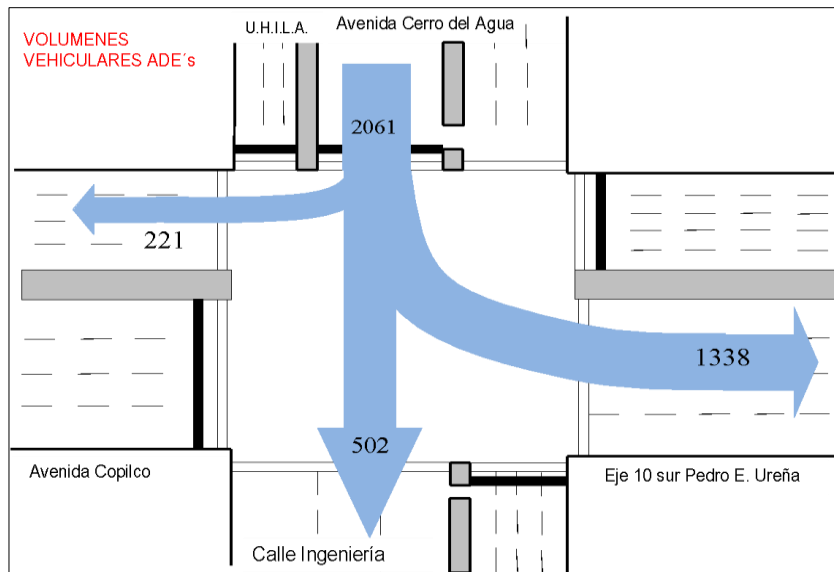
Nota. Elaboración propia con datos obtenidos en campo.

Se presentan los resultados del estudio de volúmenes direccionales y el diagrama de volúmenes direccionales para cada acceso del miércoles 27 de noviembre de 2019, entre las 7:30 a 8:30 h.

En las figuras 45 a la 49 corresponden a los aforos de los movimientos direccionales de cada acceso o ramal de la intersección E10 - CA. Dichos movimientos representan el conteo de los volúmenes vehiculares.

### Figura 45

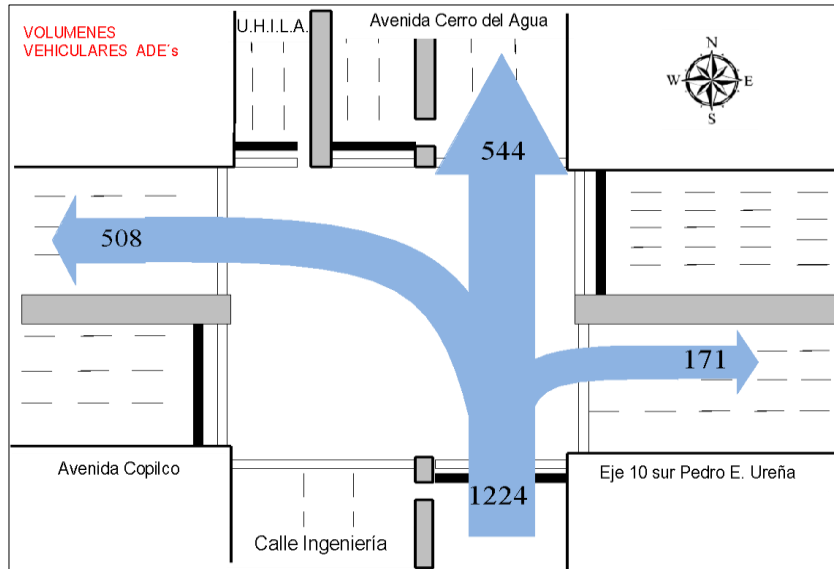
*Acceso Norte– Avenida Cerro del Agua*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 27 noviembre 2019

**Figura 46**

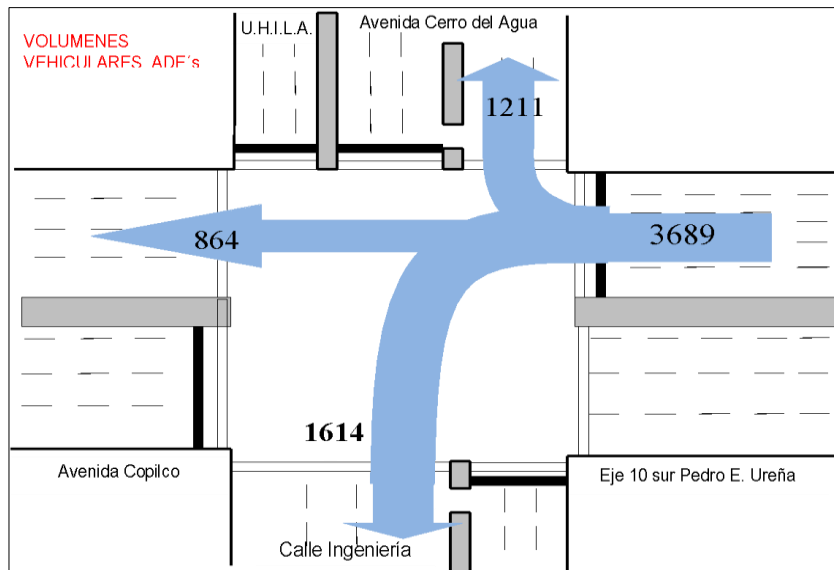
*Acceso Sur– Calle Ingeniería Volúmenes direccionales de tránsito*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 27 noviembre 2019

**Figura 47**

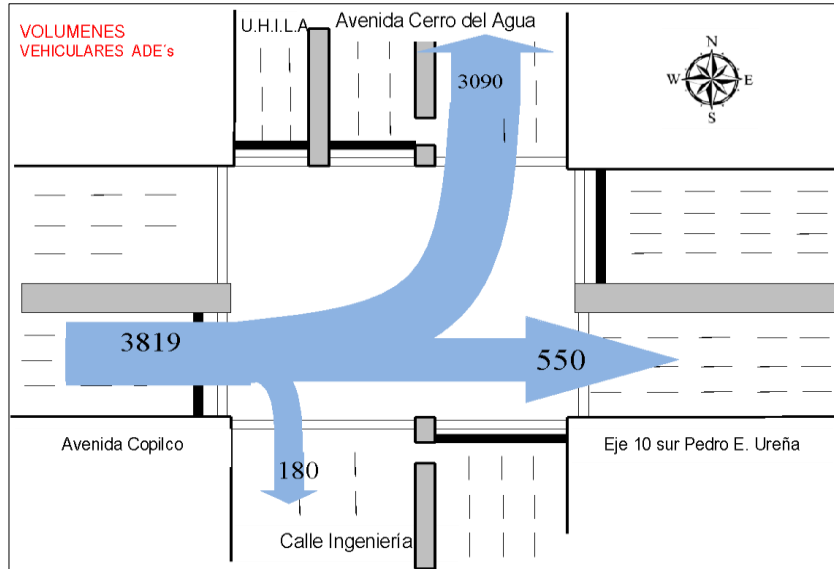
*Acceso Este– Eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 27 noviembre 2019

**Figura 48**

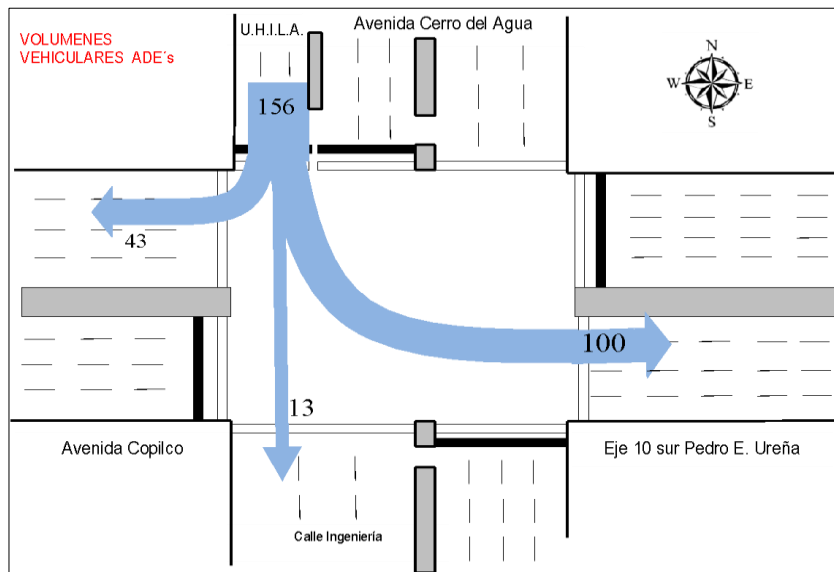
*Acceso Oeste– Avenida Copilco*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 27 noviembre 2019

**Figura 49**

*Acceso 5 o salida de la UHILA*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 27 noviembre 2019.

La tabla 20 representa el volumen ajustado de cada acceso de la intersección empleando el factor de equivalencia para camiones y autobuses que dan vuelta a la izquierda y derecha para convertir los movimientos de vuelta a automóviles directos equivalentes, (ADE) para cada grupo carril de la intersección.

**Tabla 20**

*Volumen de Automóviles Directos Equivalentes de la intersección de estudio*

ACCESO	MOVIMIENTO	VOLUMEN	FACTOR DE EQUIVALENCIA	VOLUMEN ADES	VOLUMEN GRUPO CARRIL	F H V	VOLUMEN ADES q	GRUPO CARRIL
NORTE	N – E	307	4.02	1234	1901	0.97	1338	2061
	N – S	463	1	463		0.97	502	
	N – O	134	1.52	204		0.97	221	
SUR	S - O	71	6.6	469	1129	0.97	508	1224
	S - N	502	1	502		0.97	544	
	S - E	104	1.52	158		0.97	171	
ESTE	E - S	363	4.1	1488	3402	0.97	1614	3689
	E - O	797	1	797		0.97	864	
	E - N	846	1.32	1117		0.97	1211	
OESTE	O - N	475	6	2850	3523	0.97	3090	3819
	O - E	507	1	507		0.97	550	
	O - S	109	1.52	166		0.97	180	
UH NORTE	N - E	23	4	92	144	0.97	100	156
	N - S	12	1	12		0.97	13	
	N - O	33	1.21	40		0.97	43	

Nota. Elaboración propia con datos obtenidos en campo 27 de Noviembre de 2019.

La tabla 21 representa la matriz Origen – Destino que integra los movimientos direccionales antes presentados y el volumen de tránsito que se registra en cada uno de los accesos dentro de la intersección.

**Tabla 21**

*Matriz origen – destino de cada acceso de la intersección Eje 10 Sur y Av. Cerro del Agua*

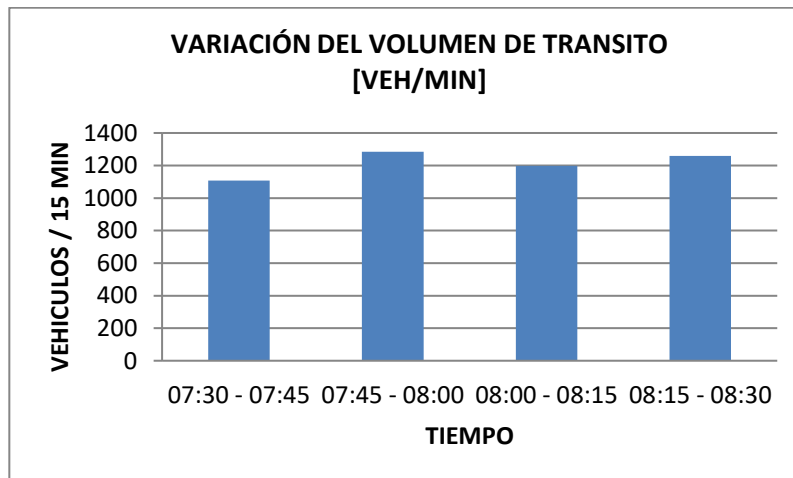
MATRIZ O / D	CERRO DEL AGUA N	EJE 10 PEDRO ENRIQUEZ UREÑA E	CALLE INGENIERIA	AVENIDA COPILO O	GIRO EN U	TOTAL DE ACCESOS
CERRO DEL AGUA N	-	300	509	137	7	953
EJE 10 PEDRO ENRIQUEZ UREÑA E	774	-	314	754	17	1859
CALLE INGENIERIA S	738	115	-	79	35	967
AVENIDA COPILCO O	373	540	94	-	63	1070
UNIDAD HABITACIONAL N	51	16	25	28	-	120
TOTAL DE SALIDAS	1936	971	942	998	122	4969

Nota. Elaboración propia con datos obtenidos en campo 27 de Noviembre de 2019

La figura 50 muestra la frecuencia cada 15 minutos de volúmenes de tránsito de la intersección E10 – CA del miércoles 27 de noviembre de 2019 donde se presenta la frecuencia de volúmenes de tránsito que ingresan a la intersección por cada acceso norte, sur, este, oeste y U.H.I.L.A.

**Figura 50**

*Variación del volumen de tránsito intersección E10 – C.A.*



Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 27 noviembre 2019

La tabla 22 representa la matriz Origen – Destino que integra los movimientos direccionales del jueves 28 de noviembre de 2019 y el volumen de tránsito que se registra en cada uno de los accesos dentro de la intersección.

**Tabla 22**

*Matriz origen – destino de cada acceso de la intersección Eje 10 Sur y Av. Cerro del Agua.*

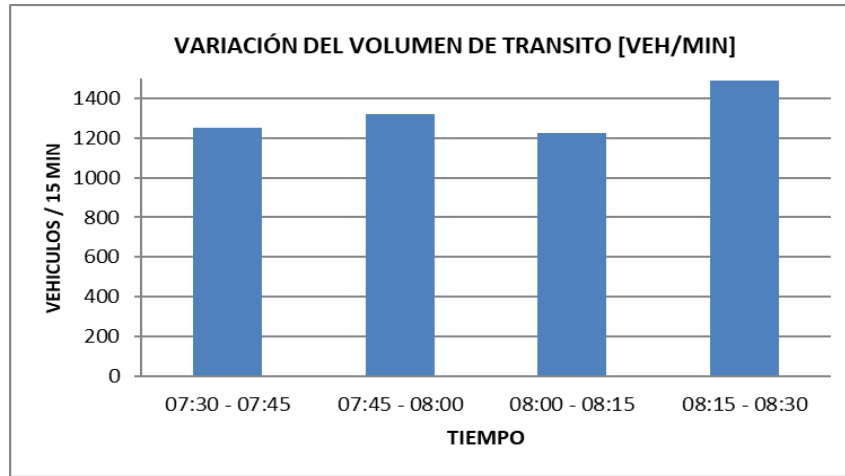
MATRIZ O / D	CERRO DEL AGUA N	EJE 10 PEDRO ENRIQUEZ UREÑA E	CALLE INGENIERIA	AVENIDA COPILO O	GIRO EN U	TOTAL DE ACCESOS
CERRO DEL AGUA N	-	322	461	152	2	937
EJE 10 PEDRO ENRIQUEZ UREÑA E	928	-	391	859	14	2192
CALLE INGENIERIA S	758	131	-	76	2	967
AVENIDA COPILO O	401	550	69	-	59	1079
UNIDAD HABITACIONAL N	53	12	9	37	-	111
TOTAL DE SALIDAS	2140	1015	930	1124	77	5286

Nota. Elaboración propia con datos obtenidos en campo 28 de Noviembre de 2019.

La figura 51 muestra la frecuencia cada 15 minutos de volúmenes de tránsito de la intersección E10 – CA del día jueves 28 noviembre de 2019 donde se presenta la frecuencia de volúmenes de tránsito que ingresan a la intersección por cada acceso.

### Figura 51

Variación del volumen de tránsito intersección E10 – C.A.

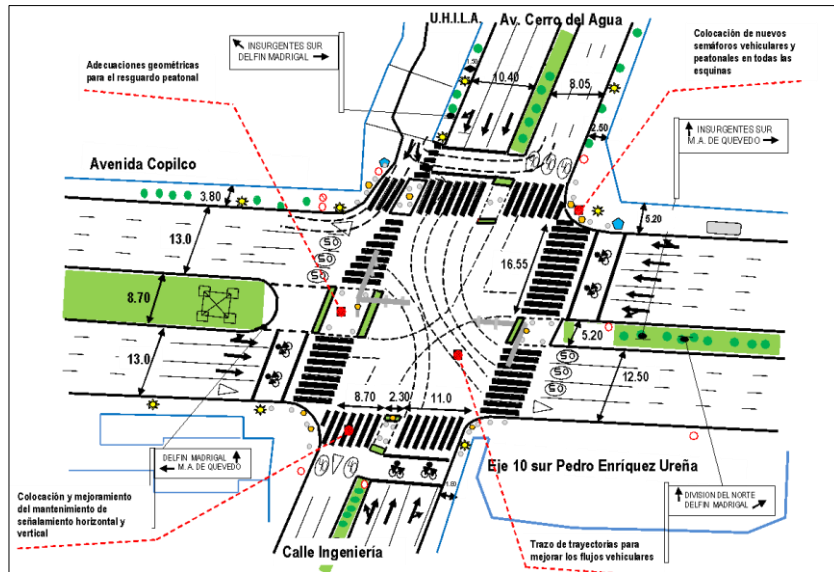


Nota: elaboración propia con datos obtenidos el 28 noviembre 2019

La figura 52 representa el diagrama con las condiciones existentes actuales de la intersección E10-CA.

## Figura 52

Diagrama de condiciones existentes de la intersección después de las obras de mejora Eje 10 Sur y Av. Cerro del Agua.



Nota: Elaboración propia intersección eje 10 sur Pedro Henríquez Ureña y Av. Cerro del Agua.