



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Evaluación y diagnóstico de problemas
en cruceros viales en la Ciudad de
México.**

**Caso de Av. Universidad y Av.
Miguel Ángel de Quevedo**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Sergio Palma Matadamas

DIRECTOR DE TESIS

M.I. Guillermo Mancilla Urrea



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2026



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado EVALUACION Y DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS EN CRUCEROS VIALES EN LA CIUDAD DE MEXICO. CASO DE AV. UNIVERSIDAD Y AV. MIGUEL ANGEL DE QUEVEDO que presenté para obtener el título de INGENIERO CIVIL es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

SERGIO PALMA MATADAMAS
Número de cuenta: 313153565

Dedicatoria

A todos los que me han apoyado en este largo y arduo camino desde el momento en que llegué a este mundo.

A mi familia, docentes que me han formado en mi carrera académica, amigos, compañeros.

Aunque no lo exprese todos y cada uno de mis logros, grandes y pequeños, rápidos o tardíos son, en parte y mayormente suyos.

A mi alma máter, gracias por tanto.

ÍNDICE

- INTRODUCCIÓN ...4
- MARCO TEÓRICO ...11
- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ...16
 - IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA ...16
 - CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA ...26
 - DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA ...28
 - JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA ...32
 - FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ...34
- METODOLOGÍA DE TRABAJO ...38
 - RECOPIACIÓN DE DATOS ...38
 - INVENTARIO VIAL ...40
 - RECOPIACIÓN FOTOGRÁFICA ...40
 - AFOROS PEATONALES ...41
 - AFOROS VEHICULARES ...43
 - PROCESAMIENTO DE DATOS ...44
 - ANÁLISIS OPERACIONAL Y DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO EN LA INTERSECCIÓN ...46
- EVALUACIÓN CUALITATIVA DEL SITIO ...56
 - EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LAS ACERAS ...56
 - EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL ...64
- PROCESAMIENTO DE DATOS RECOPIADOS EN SITIO ...68
 - AFOROS PEATONALES E INVENTARIO VIAL ...68
 - AFOROS VEHICULARES ...72
 - ANÁLISIS OPERACIONAL DEL CRUCERO ...77
- DIAGNÓSTICO DE LOS PROBLEMAS EXISTENTES EN SITIO ...80
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ...89
- BIBLIOGRAFÍA ...91

Introducción

Antecedentes

Es imposible pensar en el desarrollo de las civilizaciones sin pensar en el desarrollo de la ciencia y la tecnología toda vez que la relación entre el desarrollo de las civilizaciones como tal y el desarrollo e innovación en el campo de la tecnología tienen entre sí una relación directamente proporcional, es decir, entre más se desarrolla una más evoluciona la otra siendo esta una constante en todos los ámbitos de la tecnología conocidos en los que tenemos claros ejemplos como el desarrollo y evolución de los ordenadores, pasando en primera instancia de ser instrumentos de cálculo en épocas de las primeras revoluciones industriales a ser artefactos que, cabiendo en nuestra palma de la mano o en nuestros bolsillos son capaces de realizar tareas que hasta hace pocas décadas eran complejas de llevar a cabo para un aparato de igual o mayor magnitud, otra rama donde hemos visto de manera clara esta relación de evolución tecnológica y desarrollo de las sociedades es en los vehículos los cuales han sido una de las principales piedras angulares en el desarrollo de la civilización y sociedad humana y que ha impulsado también el desarrollo de otra área fundamental en nuestra historia como civilización: las vías terrestres que existen desde el inicio de nuestra civilización, época en la que el hombre era aún un individuo que se desplazaba, por varios factores de un lugar a otro siendo de tal suerte que las primeras vías terrestres eran cualquier brecha por la cual se desplazaban nuestros antepasados y teniendo como resultado que, junto con las vías terrestres nacieron también el tránsito y el transporte conceptos que, de manera respectiva podemos entender como la acción de una o varias entidades de desplazarse a través de un camino o vía y la acción de un individuo de trasladarse de un lugar a otro, para aclarar lo anterior podemos interpretar que el transporte es el qué se hace y el tránsito es el como se hace. Al igual que muchas otras ramas de la tecnología el desarrollo de los caminos y vías terrestres se ha dado gracias a y a la par del desarrollo y evolución de las sociedades y del desarrollo e invención de varios artefactos, principalmente de los vehículos motorizados que comenzaron a presentarse en la escena de las actividades cotidianas a fines del siglo XVIII siendo así que la complejidad de los sistemas de transporte y las vías a través de las cuales se desarrolla esta tarea ha aumentado conforme la complejidad e innovación de las actividades diarias de nuestras sociedades ha ido también en aumento llegando así a tener los modernos y complejos sistemas de transporte que vemos actualmente, motivo por el cual el transporte es, hoy por hoy una actividad esencial para las actividades humanas a tal grado que es una de las actividades que nunca vemos detenerse.

Por otro lado y al igual que el resto de las disciplinas ingenieriles el tránsito y transporte se auxilian de los principios de las ciencias básicas para entender su funcionamiento en una primera instancia y a la postre para diseñar sus componentes así como para llevar a cabo una evaluación de los mismos y para dar mantenimiento y operar a dichos sistemas y elementos que forman parte de ellos, es decir, en resumen serán dichos fundamentos científicos los que regirán las limitantes, principios y conceptos del tránsito y transporte como una rama de la ingeniería comenzando por bases y conceptos de la mecánica clásica tales como la velocidad, trayectoria y desplazamiento las cuales son fundamentales para llevar a cabo los estudios y el

diseño de diferentes sistemas y subsistemas del transporte y sus vías de tránsito, por ejemplo la implementación de una línea de *bus rapid transit*, del mismo modo hayamos también bases provenientes de la metrología que nos son de gran apoyo para entender los fenómenos que tienen lugar en esta rama, por ejemplo la densidad, el volúmen, el flujo, la temporalidad y la espacialidad de los cuerpos, bases que resultan de auxilio en tareas de la ingeniería del tránsito y transporte tales como levantamientos de datos para estudios en gabinete que a su vez tiene distintos fines como evaluar un subsistema de tránsito (estación de metro, intersección o sección de una ciclovía, por citar algunos ejemplos) o bien, para ayudar a implementar medidas de seguridad en casos particulares como días festivos.



Figura 1: Antiguo camino romano en Europa

Encontramos que el tránsito y el transporte tienen tras de sí una larga historia que da cuenta de su evolución y desarrollo, hechos que, como hemos mencionado anteriormente se suscitaron a partir de la necesidad de las sociedades de llevar bienes materiales, recursos humanos o servicios de un sitio a otro, sin embargo durante la mayor parte de la historia humana registrada esta actividad fue sumamente difícil de realizar, situación que se agravó durante el siglo XIX en el que sucedieron las primera y segunda revolución industrial por lo que el volúmen de tránsito en las ciudades europeas aumentó considerablemente pero a su vez la calidad de las vías y caminos no lo hizo teniendo así que aún a principio del siglo pasado las vías terrestres eran aún, mayormente de terracería, sin embargo con el avance del siglo XX fueron surgiendo innovaciones ingenieriles que ayudaron a elevar la calidad y cantidad de vialidades, así como su operación y logística en la que hoy en día vemos como artefactos electrónicos contribuyen a su funcionamiento cotidiano. Sin embargo a mayor cantidad de tránsito en las principales ciudades del mundo las vialidades han tenido mayores problemas que afrontar y resolver, entre ellos el planificar vialidades con mayor capacidad de tránsito y de operarlas, mantenerlas y realizar proyecciones para escenarios futuros, de igual forma vemos día a día como los diversos sistemas de transporte y tránsito que usamos nos resultan cada vez más insuficientes para nuestra demanda, entre ellos las intersecciones viales que son objeto de rigurosos análisis para su correcta operación y mantenimiento o para ser mejoradas, siendo estos un elemento fundamental de las vialidades con que contamos pues ,

debido a que dentro de la ingeniería de sistemas y más precisamente dentro de la teoría de redes se trata de nodos es que de su capacidad depende, en buena medida la capacidad y eficiencia de vialidades importantes.

Entre las ciudades más importantes del mundo encontramos a la capital mexicana donde residen, en su zona metropolitana aproximadamente 20.8 millones en 2015 (CONAPO, 2015)¹ y 21.44 millones en 2020 (INEGI, 2021)² siendo por ello la zona metropolitana de mayor población del país y también la que de mayor parque vehicular, llegando a tener un registro, al cierre de 2023 la Ciudad de México es la entidad federativa del país con mayor parque vehicular, contando con el 14.65% de la totalidad del mismo respecto al nacional de acuerdo a la consultora Melgar de México (Indicador Automotriz)³ por lo que se ha impulsado la construcción de diversas obras de infraestructura vial en la ciudad durante los últimos 20 años entre las que destacan la Supervía Poniente, el segundo Piso del Periférico de San Antonio a San Jerónimo, el viaducto elevado Bicentenario y la Autopista Urbana Sur (elevada) de San Jerónimo a Tepepan con una salida/entrada hacia las autopista y carretera federal 95 a Acapulco como nuevas vialidades, así como la ampliación y modificación de otras vialidades como el distribuidor vial de Muyuguarda y la Concordia, sin embargo muchas otras arterias viales de la ciudad se encuentran rezagadas en cuanto a estado físico y estado operativo se refiere lo que junto con el incremento de los volúmenes de tránsito de la ciudad han provocado un decremento del nivel de servicio de una gran parte de la red vial en la ciudad.

Dicha situación de deterioro e ineficiencia que vemos en general en las vialidades de la ciudad de México ha tenido consecuencias tales como aumentos en los niveles de congestión de la ciudad siendo la ciudad la décimo tercer metopolí con mayor congestión vial a nivel mundial entre 387 ciudades, esto de acuerdo al Índice Anual de Congestión “*Tomtom Traffic Index 2023*” (Tomtom)⁴ documento en el cual también se indica que, en promedio los usuarios tardan 26 minutos con 30 segundos para realizar un trayecto de 10 kilómetros. Otra consecuencia de la situación en la que se encuentra la infraestructura vial de la ciudad son los altos índices de inseguridad vial e incidentes toda vez que diversos estudios y trabajos de investigación así lo indican entre ellos el Programa Integral de Seguridad Vial de la Ciudad de México 2021-2024 (SEMOVI)⁵ documento en el cuál se indica que de 2015 a 2019 hubo un incremento del 15% en el número de accidentes viales fatales en la Ciudad de México.

Descripción de la problemática

En un principio dichas obras debían ayudar a aminorar los grandes volúmenes de tránsito. Además del problema de congestión de vialidades que se presenta en la zona metropolitana de la Ciudad de México también se presentan problemas de incidentes viales cuyas consecuencias van desde daños económicos hasta pérdidas incluyendo desde luego riesgos para la integridad física de los habitantes de la urbe, ya que al año se registran 10,739 accidentes en la Ciudad de México según cifras de 2016 presentadas por la STCONAPRA (Secretariado Técnico de la Comisión Nacional para la Prevención de Accidentes) en su Informe anual sobre la Situación de Seguridad vial en el país de 2017 (STCONAPRA, 2018)⁶, cifra que llegó a 6,839 para el cierre de 2021 según el mismo informe pero en su edición del año 2022 (STCONAPRA, 2022)⁷, último informe que se tiene como presentado en el canal de comunicación de la citada dependencia. Ambos informes muestran también cifras de defunciones totales en la entidad y algo que llama la atención es que los peatones ocupan el primer lugar en defunciones según el tipo de usuario con 215 fatalidades para 2021 (Tabla 1) y 157 para 2019 lo cual significa un incremento considerable en 2 años pero que a pesar de esa situación los peatones se han mantenido como el tipo de usuario que registra mayor índice de fatalidades situación que ya se había mencionado con anterioridad en el presente texto pues el Programa Integral de Seguridad Vial de la Ciudad de México 2021-2024 (SEMOVI)⁵ indica que los peatones son el grupo más vulnerable y el que presenta mayor número de fatalidades debido a incidentes viales.

Muertes según tipo de usuario (2021)		
Tipo de usuario	Muertes	%
Peatones	215	34.73%
Ciclistas	9	1.45%
Motociclistas	213	34.41%
Ocupante de automóvil o camioneta	140	22.62%
Ocupante de autobús o vehículo de transporte pesado	7	1.13%
Otros	0	0.00%
No Especificado	35	5.65%
Total	619	100.00%

Tabla 1: Muertes según tipo de usuario en ciudad de México en 2021. Fuente: STCONAPRA

La incidencia de accidentes de tránsito no afecta a los tipos de usuario de las vialidades de manera uniforme en la ciudad de México pues, según el Reporte Trimestral de Hechos de Tránsito elaborado por la Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México (SEMOVI)⁸ para el primer trimestre de 2023 los tipos de usuario entre los que se reportó el mayor porcentaje de fallecidos en los hechos de tránsito fueron los motociclistas y los peatones con un 33% y 32% de manera respectiva (Fig. 2) mientras que en el rubro de personas lesionadas por hechos de tránsito los motociclistas se mantienen a la cabeza con un 46% mientras que los peatones registran un 14% de lesionados estando con ello en el cuarto lugar de este rubro (SEMOVI,

2023)⁸ Sin embargo y según el mismo reporte los peatones han sido el grupo con mayor fatalidad en 7 trimestres entre los transcurridos de enero de 2019 a marzo de 2023 mientras que en los otros 10 han ocupado el segundo sitio lo que nos indica que se trata de un grupo con un alta vulnerabilidad en incidentes de tránsito (SEMOVI, 2023)⁸.

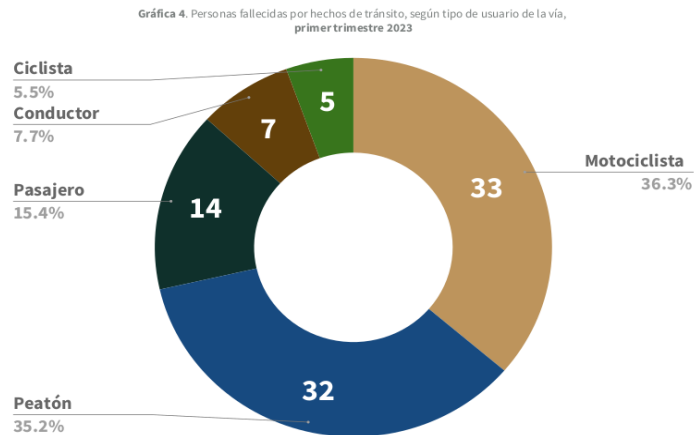


Figura 2: Fallecidos en hechos de tránsito según tipo de usuario. SEMOVI, 2023

En el mismo reporte se observa, gracias a los mapas de concentración de hechos de tránsito como muchos de ellos tienen lugar en las intersecciones entre las diferentes arterias viales de la Ciudad de México, fenómeno que ha sido documentado también en otros trabajos de investigación como la Propuesta de un Índice de Seguridad de Cruces Peatonales para la Ciudad de México, trabajo de investigación elaborado por especialistas de la UAM Cuajimalpa y del Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (Centro Geo) en el que, mediante el análisis de 500 cruceos viales de la ciudad se concluyó que 91.3% de los cruceos viales es peligroso para los peatones (UAM/Centro Geo)^{9 10}

Lo anterior indica que, en la Ciudad de México existe un serio problema de seguridad vial para los usuarios, problema que según el tipo de usuario afecta en mayor medida a los peatones⁵ y por lugar de ocurrencia sucede en mayor medida en las intersecciones viales^{9 10}.

Los accidentes de tránsito repercuten en otros ámbitos, entre ellos el económico teniendo como ejemplo que, en un artículo publicado en marzo de 2021 sobre los Costos Económicos por accidentes de tránsito el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO por sus siglas) señaló que, durante el año 2018 los hechos de tránsito fueron la novena causa de muerte entre la población causando el 2.2% de las defunciones totales en aquel periodo lo que, según dicha entidad significó un costo de 174 a 204 MMDP, es decir, entre el 0.78% al 0.92% del total del PIB o, lo que es lo mismo un costo equivalente a 1.4-1.7 veces lo gastado por la SSA en 2018 (IMCO, 2019)¹¹.

Objetivos

General

El presente trabajo tiene como objetivo contribuir a la solución de los problemas de tránsito de numerosos cruces y/o tramos de vialidades de la ciudad de México con el fin de disminuir los problemas derivados de estos como la contaminación, la inseguridad vial y el impacto económico negativo en la finanza de los usuarios.

Particular

El presente trabajo se centrará en tratar los problemas de tránsito y vialidad que se presentan en el cruce de Universidad y M.A. de Quevedo, al sur de la ciudad de México ya que se trata del cruce más peligroso y conflictivo de la metropolí, esto con el fin de presentar una propuesta que ayude a solucionar y/o disminuir los problemas que allí se presentan.

Hipótesis

Para cumplir con los objetivos del presente trabajo se llevarán a cabo estudios de inventario vial en el sitio de la intersección para conocer los elementos que la conforman, volúmenes de tránsito mediante aforos manuales, velocidad, y demoras para los vehículos automotores mientras que para los peatones se llevarán a cabo aforos de cantidad de usuarios también mediante métodos manuales así como un inventario de los elementos de la infraestructura peatonal en el sitio y posteriormente los resultados obtenidos serán procesados y analizados por las herramientas matemáticas y físicas propias de la ingeniería de tránsito de los que a su vez obtendremos conclusiones que nos llevarán a identificar los problemas que existen en nuestro punto de estudio las cuales nos llevarán a conocer de manera precisa los problemas que existen en nuestro sitio de estudio entre ellos qué tan eficiente o deficiente es el nivel de operación de la intersección y de las aceras peatonales, los conflictos que existen en el lugar así como problemas que deben resolverse para mejorar las condiciones del cruce.

MARCO TEÓRICO

En México y otros países del mundo la infraestructura vial ha sido objeto de diversos trabajos, estudios y proyectos por parte de estudiantes, docentes, profesionistas y dependencias involucradas en las áreas de ingeniería de tránsito e infraestructura pública y lo anterior atañe a las intersecciones viales toda vez que encontramos un importante acervo de trabajos escritos de diversa índole (investigación, tesis y tesinas de grado, artículos periodísticos y especializados, etc.) orientados a dichos elementos siendo que entre todo este acervo que podemos encontrar análisis, evaluaciones y propuestas de mejoramiento del estado físico y operativo actual de las intersecciones viales ya sea en líneas generales o bien para un determinado sitio de estudio que tienen a su vez distintos objetivos, por ejemplo el proponer medidas para reducir el número de incidentes que se presentan en los cruceros viales, proponer medidas para agilizar el tránsito que tiene lugar en estos sitios o la identificación de problemas y riesgos en dichos sitios que a su vez han servido para realizar otros proyectos con miras a mitigar dichos problemas por ejemplo.

Muchas de las investigaciones y trabajos acerca de las intersecciones viales se originaron gracias a trabajos de otras áreas donde el sistema vial está involucrado y una de ellas es el área de las ciencias ambientales, campo en el cual las vialidades y el tránsito tienen injerencia toda vez que la congestión vial es uno de los principales factores causantes de la contaminación ambiental en las grandes ciudades del país. Otro campo de cuyos estudios, trabajos y datos se han originado textos acerca de los cruceros viales es el campo de la salud pública y la protección civil y esto debido a que, al igual que en el caso de la contaminación ambiental los incidentes de tránsito son una de las principales causas de muertes en el país y que desde luego causa también una importante cantidad de daños materiales y humanos no fatales. Por mencionar más campos sobre los cuales se han basado trabajos acerca de las intersecciones podemos encontrar también el financiero en virtud de que el tránsito de una ciudad es un agente que interviene en el comportamiento de las actividades productivas desde varias perspectivas, tanto de la salud debido a las consecuencias que el tránsito tiene sobre la salud de los usuarios como de los tiempos de traslado y demoras y que en consecuencia también interviene en el comportamiento de los mercados, también encontramos en la arquitectura otra área donde los especialistas han tenido interés por estudiar los cruceros viales con miras en proponer mejoras a los problemas que conciernen al tránsito y a la arquitectura como lo es la adaptación de espacios en las aceras y cruces viales para adultos mayores o personas con capacidades diferentes.

Además de encontrar incentivo para la realización de investigaciones, trabajos, estudios, etcétera acerca de las intersecciones en tareas similares de otras áreas los especialistas de la materia también sustentan producciones textuales que abordan el estudio acerca de las intersecciones en censos, estadísticas e indicadores por ejemplo los realizados por instituciones como el INEGI a través del ATUS que anualmente publica estadísticas acerca de los incidentes viales y sus lugares de ocurrencia así como horas de ocurrencia, qué tantos son fatales y que tantos resultan en daños meramente materiales y de igual manera se recurre a las estadísticas que presentan entidades de la iniciativa privada como consultorías o empresas aseguradoras.

La importancia imperante en estudiar, evaluar, analizar y en términos más generales realizar diversos tipos de trabajos sobre las intersecciones viales es que se trata de sitios de la red vial con mayor riesgo de accidentes viales como nos indica el ATUS del INEGI (Accidentes de Tránsito Terrestre en Zonas Urbanas y Suburbanas e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática por sus siglas, respectivamente) críticas debido a que es donde, según la entidad mencionada ocurre la mayoría de los incidentes de tránsito y por el lado operacional los cruces viales resultan también sitios críticos debido a que se tratan de nodos de la red vial en los cuales, como el concepto lo indica son el cruce entre dos o más arterias viales que rigen el flujo vehicular por lo que su eficiencia es directamente proporcional a la eficiencia de las vialidades que pasan por cada intersección.

Para mayor claridad de la idea anterior expuesta en “Apuntes teoría de redes” (Flores I., 1999)¹². La autora nos indica que las redes de tránsito pueden ser entendidas dentro de la teoría de redes como tales lo cual, ya sea de manera explícita o implícita sucede en gran medida a lo largo de la literatura existente del tema, esto mediante una representación abstracta apoyada en la geometría de lo que se tiene realmente en el sitio de interés, es decir se estudia de manera gráfica en la cual las intersecciones son representadas como nodos y los segmentos entre estos son las vialidades existentes en el sitio. Siendo una red cada segmento tiene cantidades de flujo que son los volúmenes de tránsito existentes en el sitio representado y de esta manera es como se procede a, mediante los problemas típicos de la teoría de redes (flujo máximo, expansión mínima, etc.) analizar el tránsito del sitio de interés teniendo de esta manera que cada nodo se expresa en términos del flujo que tiene cada segmento que pasa a través del mismo, es decir un nodo recibe “m” cantidad de flujo de tránsito y sale de él “n” cantidad del flujo de tránsito, de allí que los cruces sean de suma importancia para efectos del tráfico en las zonas urbanas ya que de la capacidad que tienen de recibir y expulsar flujo dependerá la capacidad de tránsito de las vialidades de un sistema vial.

Como ejemplo de lo escrito en el párrafo antecedente al presente en el artículo nombrado “*Estudio de la optimización del tráfico en un cruce a través del ajuste de los ciclos de los semáforos mediante recocido simulado*” (Lema, Pedreira, Bouza, Allende, 2011)¹³ los autores expresan que las intersecciones semaforizadas actúan como agentes reguladores del tránsito (siguiendo el tenor de entender los sistemas viales como redes) y por tal motivo de su operación dependen indicadores tales como la longitud de las líneas de espera o los tiempos de espera de los usuarios en una vialidad, indicadores que a su vez rigen también el flujo de una vialidad. Ahora bien, dicho texto tiene como objetivo dar solución a un problema real que se presenta en las redes viales urbanas actualmente y que a su vez impactará en otros rubros como la reducción o prevención de cierto tipo de accidentes de tránsito o la reducción de emisiones contaminantes.

El análisis y evaluación de los cruces entre vialidades de las grandes zonas urbanas es necesario en nuestra región debido a que, por la falta de adecuadas políticas y medidas de regulación los sistemas de transporte en Latinoamérica han tendido a la autorregulación trayendo con ello consecuencias que afectan a los usuarios y a la población en general como el aumento en los tiempos de viajes entre un punto y otro así como la reducción de la calidad de vida para la población y el incremento de riesgos de accidentes (Correa, D., 2012)¹⁴ por lo

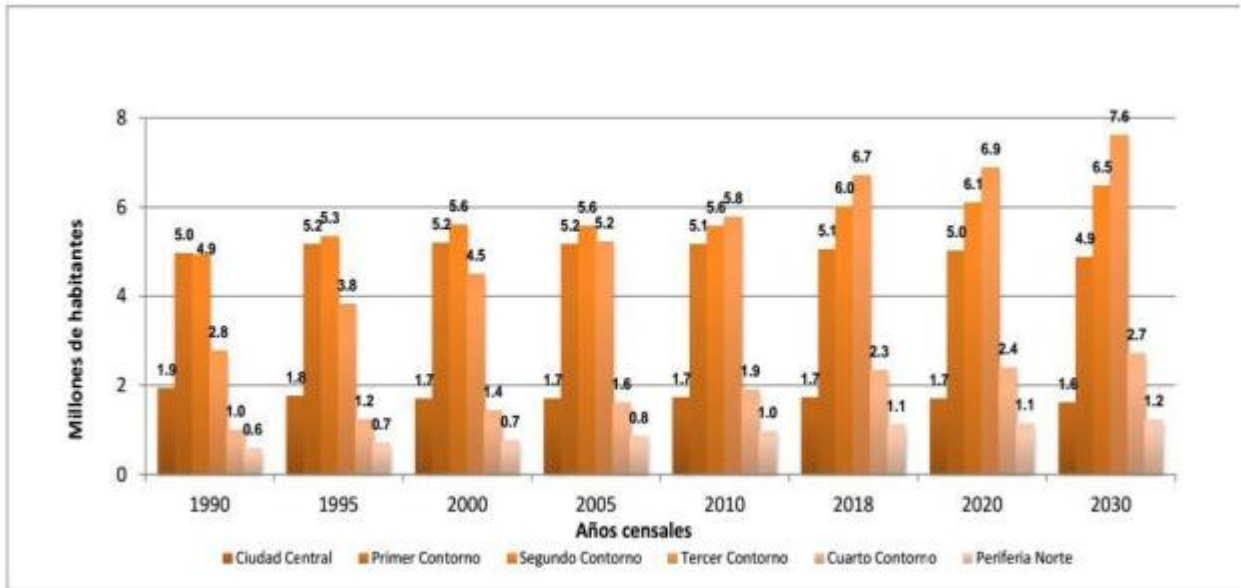
que el autor apunta la primordial importancia de afrontar dicho problema con base en una metodología que contribuya a realizar la evaluación y el diagnóstico de un cruce vial.

A partir de la literatura citada en el presente capítulo y del capítulo de Planteamiento del Problema de este trabajo se puede observar que la mayoría de los trabajos acerca del tema se originan a partir de problemas de tránsito que se presentan en las zonas urbanas de la región como lo es la congestión vial o los incidentes de tránsito que se registran en los sistemas viales de las mencionadas zonas urbanas y es que en un contexto regional y según Jordi Alba en su texto *“La urbanística para las ciudades de América Latina” incluido en la 88ª edición de Cuadernos de la CEPAL* las ciudades latinoamericanas han tenido un rápido crecimiento de sus zonas urbanas en las últimas décadas del siglo XX crecimiento que se ha acentuado en las periferias de dichas urbes causando con ello problemas debido a que debe aumentarse y expandirse la oferta de servicios urbanos y de infraestructura pública (Alba, J. 2003)¹⁵, problema que, de acuerdo al artículo *“La movilidad urbana”* extraído del mismo texto en las ciudades de la región dicho crecimiento sucedió de manera muy acelerada y en condiciones técnicas y económicas precarias provocando ello que las metrópolis de Latinoamérica hayan tenido un crecimiento con una deficiente o inexistente planificación urbana hecho que, en cuanto a movilidad y transporte se refiere ha traído como consecuencia que los sistemas de movilidad urbanos de la región sean planificados sin ser congruentes con los procesos de urbanización o que en muchos casos no estén planeados (Moctezuma R., 2003)¹⁵.

El autor menciona que estos problemas de falta de planificación urbana y de la movilidad tengan consecuencias tales como la concentración de las actividades motoras de la economía y la sociedad en zonas centrales alejadas de las zonas residenciales lo que ha originado problemas entre los que se encuentran que la población deba realizar a diario grandes desplazamientos de sus hogares a sus centros de actividades, que se tengan sistemas de transporte público ineficiente, la priorización de los vehículos automotores individuales sobre los colectivos o el aumento en los niveles de congestión vial de las ciudades que es a su vez causado por los tres primeros fenómenos mencionados.

La capital mexicana no ha sido la excepción de esta problemática y es que según el Diagnóstico Para la Movilidad en la Ciudad de México del Instituto de Investigaciones Parlamentarias de la Asamblea Legislativa del entonces D.F. (IIP, 2018)¹⁶ en su zona metropolitana tenemos el fenómeno de decremento en la parte central de la zona a cambio de un incremento en sus periferias (Fig. 3) por lo que la movilidad de la ciudad de México se ha transformado debido a este fenómeno de cambios en su distribución demográfica sin embargo la situación de la infraestructura vial y del sistema de transporte público de la zona metropolitana se han mantenido en el rezago por lo que de continuar esta tendencia de estancamiento en dicho rubro y en contrapartida con el crecimiento acelerado de la población en las periferias veremos una situación de aumento de los niveles de congestión en las vialidades y el colapso de los sistemas de movilidad en un futuro próximo.

Figura 4. ZMVM: comportamiento demográfico por contorno metropolitano, 1990-2030



Fuente: INEGI, 1991; 1996; 2001; 2006; 2011.

Figura 3: Comportamiento demográfico en la ZMVM. INEGI

El incremento en los niveles de congestión vial ha tenido diversas consecuencias, entre ellas la consecuencia de cruces conflictivos en la zona metropolitana que se distribuyen de forma desigual teniendo que, en las zonas más céntricas de la ciudad se concentra un mayor número de puntos conflictivos y de incidentes viales en contraste con las zonas periféricas donde la concentración de puntos de conflicto y de incidentes es menor. Dentro de este hecho es de imperante importancia tomar acciones para atender el problema expuesto entre las que destacan estudios de ingeniería de tránsito, mantenimiento preventivo y correctivo de la infraestructura de los cruceros y evaluación y planificación de trabajos complementarios de iluminación y señalización.

Dentro de la literatura y las fuentes referentes al tema expuesto en el presente hayamos también diversos escritos que marcan una pauta basada en criterios ingenieriles que nos permiten realizar estudios y proyectos en materia de tránsito y transporte así como también llevar a cabo análisis de los problemas de dicha área muchos de ellos emitidos y dispuestos por organismos gubernamentales como el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte del Gobierno Federal Mexicano cuya versión en vigor es la publicada en 2018¹⁹, por parte de la misma entidad es emitida también de forma periódica el Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad siendo en este caso particular la versión vigente la del año 2014¹⁸ así como del Manual de Señalización y Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras de la SCT, (2023)²⁷ los cuales rigen a nivel nacional el diseño y operación de los elementos de la infraestructura vial y de los

dispositivos de señalización y seguridad viales, de manera respectiva. Con base en lo dispuesto en dichos manuales se puede realizar una evaluación y análisis de la infraestructura vial en un punto de estudio específico.

El libro *Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones* (Cal y Mayor, 2018)¹⁷ recoge, a lo largo de sus páginas métodos de diseño y análisis del Highway Manual Capacity (HCM) de su edición 2010 los cuales trazan una guía para realizar dichas tareas en sistemas y subsistemas viales tales como segmentos de vialidades de todo tipo o en este caso de intersecciones cuyo objetivo es determinar el nivel de servicio de un cruce semaforizado esto es la demora media que presentan los usuarios en un punto de estudio siendo que a menor demora mayor es el nivel de servicio. La realización de este análisis toma en cuenta herramientas matemáticas que principalmente provienen de los fundamentos de la cinemática, la estadística y la geometría aplicadas a la ingeniería del tránsito.

El HCM 2010 nos brinda, también a través de la obra de Cal y Mayor la pauta para realizar análisis y evaluaciones del nivel de servicio en la parte de la infraestructura vial dirigida al peatón como son las aceras y las esquinas tomando en cuenta, al igual que en el caso de las intersecciones herramientas y conceptos provenientes de las disciplinas físicas y matemáticas que se ven implicadas en nuestra área de estudio.

Planteamiento del problema

Identificación del problema

De acuerdo a la *Auditoría de Seguridad Vial de la ciudad de México* realizada por CENAPRA en 2008 en el sitio de la intersección se habían concluido los motivos por los cuales dicho cruce es uno de los más conflictivos (hablando en términos de tránsito vehicular y de peatones) entre los cuales podemos destacar el hecho de tener una glorieta en una intersección donde los volúmenes de tránsito son elevados situación que trae consigo diferentes problemas sobre los cuales hablaremos a continuación:

Problemas operativos: De acuerdo con el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras (SCT, 2018)¹⁹ la implementación de glorietas se recomienda solamente para volúmenes de tránsito del orden de los 3000 vph o menores sin embargo y de acuerdo con el aforo vehicular realizado en el sitio de estudio para el presente trabajo el volumen de tránsito es de 5264 vph (Fig. 4), es decir más de 2000 vph en excedente respecto al volumen recomendable para una intersección de glorieta.

Cruce	Vehículos por hora
S1	1410
S2	1798
S3	1216
S4	840
Total	5264

Figura 4: Datos del aforo vehicular en el sitio

Reducción de las distancias de entrecruzamiento: Debido a su configuración tenemos que, de inicio en las glorietas las distancias de entrecruzamiento que podemos explicar como aquel tramo de una vialidad o intersección (en este particular caso) en el cual divergen y/o convergen los usuarios con respecto a un mismo flujo de tránsito, dando lugar a, como su nombre lo indica tramos donde los usuarios se entrecruzan, son menores que en otros tipos de intersecciones, esto debido que la geometría de la intersección propia de una sección cónica (elipsoidales o en circunferencia, generalmente) que siempre encontramos en las glorietas y al ser segmentos curvos que pueden entenderse, según las teorías del cálculo como una aproximación de n segmentos de recta (Fig. 5) (Stewart J., 2012)²⁰ por lo que las distancias de entrecruzamiento en glorietas de grandes volúmenes pueden ser tantas y tan largas como arcos tiene la geometría de la misma lo cual contribuye a entorpecer el tránsito de una glorieta toda vez que no se pueden identificar debido a la gran cantidad de estas.

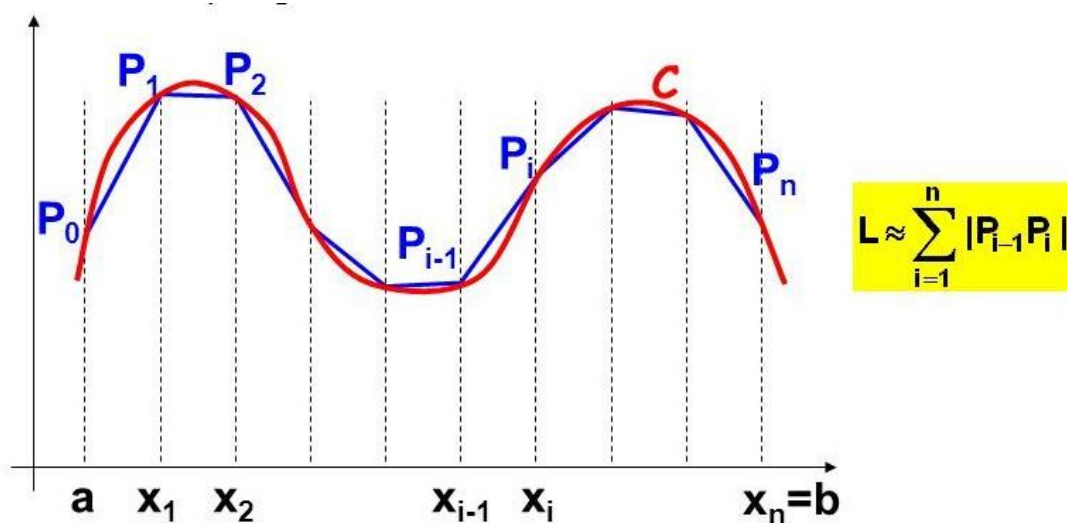


Figura 5: Aproximación poligonal de una curva de la que surgen n puntos y n rectas.

Las zonas de entrecruzamiento de una glorieta se pueden identificar si tenemos, valga la redundancia elementos para poder identificar claramente los puntos donde los usuarios realizan las operaciones de divergencia y convergencia en la mencionada, esto se logra principalmente teniendo los dispositivos adecuados de señalización para lograrlo, sin embargo en la glorieta que es nuestro objeto de estudio y la cual es el cruce de Miguel Ángel de Quevedo y Avenida Universidad no tenemos, como podemos apreciar en la figura una debida canalización ni señalizaciones por lo que no se pueden identificar con suficiente claridad donde es que los usuarios deberían realizar las operaciones de convergencia y divergencia y por tanto las distancias de entrecruzamiento tampoco son identificables en cuanto a su ubicación y longitud.

Aumento de los puntos de conflicto: Los puntos de conflicto son sitios de encuentro entre dos o más trayectorias de usuarios, llámense vehículos automotores, bicicletas y/o peatones, a su vez dichas trayectorias realizadas por los usuarios dependen de las características geométricas del elemento de infraestructura vial, en este caso de una intersección. A su vez los puntos de conflicto se originan a partir de las operaciones que los usuarios realizan, entre las cuales las más comunes son divergencia, convergencia y cruce siendo estas las tres operaciones básicas que siempre encontramos en una intersección y que a su vez producen los tres puntos de conflicto más comunes (Fig. 6).

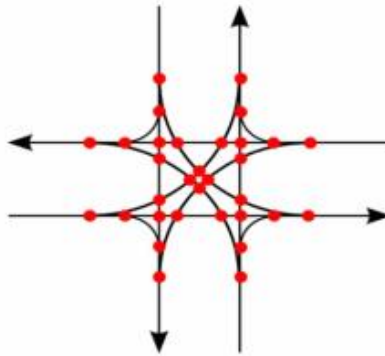


Figura 6: Puntos de conflicto en un cruce en cruz.

Habiendo definido un punto de conflicto como el cruce de dos (o más) trayectorias de los usuarios de una intersección (para el caso particular del presente escrito) y sabiendo que dichas trayectorias dependen de la configuración geométrica de la misma tenemos que, en toda intersección vial los puntos de conflicto deben de ser identificables con claridad y de ser reducidos en la medida de lo posible, otro motivo por el cual no es recomendable la implementación de una glorieta en intersecciones con grandes volúmenes de tránsito (Fig. 8) ya que de inicio las glorietas están concebidas para reducir los puntos de conflicto en 4 veces respecto a los cruces perpendiculares como lo podemos ver en la imagen, sin embargo en la misma se deduce que dicha concepción es funcional solamente para volúmenes de tránsito bajos y medios y en cuyas intersecciones existan pocos carriles en las vialidades que forman parte del cruce, 2 por sentido en zonas urbanas y hasta 4 en rurales según el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras (SCT, 2018)¹⁹.

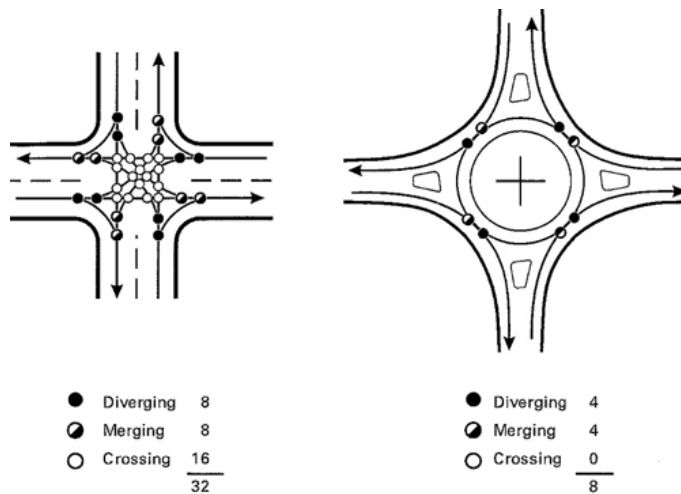


Figura 7: Puntos de conflicto en una glorieta y un cruceo tradicional

Por lo anterior y debido a su configuración y características operativas los puntos de conflicto que se presentan en una glorieta con altos volúmenes de tránsito y varios carriles no son, en primera instancia identificables con claridad y por la configuración circular o elíptica que presentan tendremos tantos potenciales puntos de conflicto como puntos tiene la elipse o la circunferencia (Fig. 8), recordando que, debido a que en su trazo contienen n cantidad de rectas las circunferencias y/o curvas contienen también n cantidad de puntos dentro de sí (Stewart J., 2012), lo anterior de acuerdo, al igual que en el caso anterior a las teorías del cálculo, situación que se agrava conforme más carriles tenemos en una glorieta (y es el caso de la que ocupa el interés del presente trabajo escrito) dando como resultado que podremos ver entorpecimiento del flujo vehicular y un mayor riesgo de accidentes.

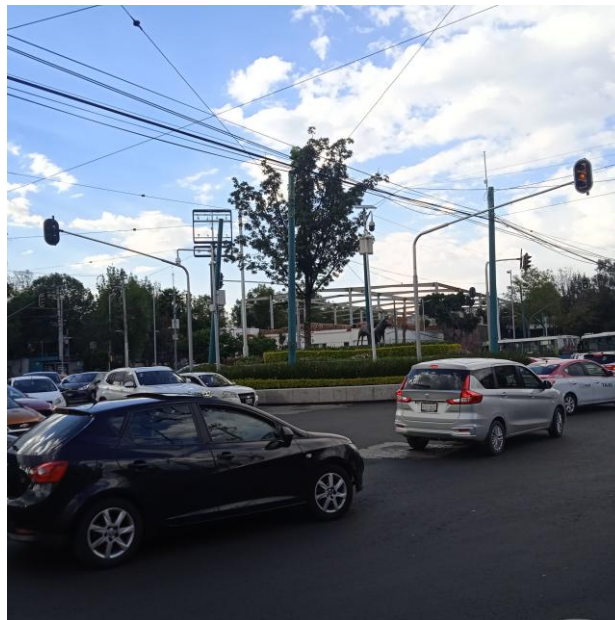


Figura 8: Sección central de la glorieta

Diseño inadecuado

Falta de dispositivos de tránsito y señalizaciones.

Otro de los problemas detectados durante la *Auditoría de Seguridad Vial de la Ciudad de México* (CENAPRA, 2008) y que persisten hasta el día de hoy es la falta de señalizaciones horizontal y vertical y de una insuficiencia en dispositivos de seguridad en la intersección y una de las más notorias es que todos los semáforos vehiculares de la intersección son convencionales, es decir, de fase verde-amarillo-rojo y no accionados por el tránsito teniendo que, según el Manual de Señalamiento Vial y Dispositivos de Seguridad (SCT, 2014)¹⁸ se debe considerar la instalación de semáforos accionados por el tránsito bajo los requerimientos de la siguiente tabla (Tabla 2):

Número de carriles de circulación por acceso		Vehículos por hora en la calle principal (total en ambos accesos)	Vehículos por hora en el acceso de mayor volumen de la calle secundaria (un solo sentido)
Calle Principal	Calle Secundaria		
1	1	750	75
2 o más	1	900	75
2 o más	2 o más	900	100
1	2 o más	750	100

Tabla 2: Volumen mínimo de vehículos por interrupción del tránsito continuo

Requisito que se satisface con creces de acuerdo a la siguiente tabla que refleja los datos de acceso a la intersección recabados para el presente escrito:

Cruce	Vehículos por hora	Número de carriles
S1	1410	4
S2	1798	4
S3	1216	4
S4	840	3
Total	5264	

Figura 9: Aforo vehicular por cada acceso.

La deficiencia en cuanto a señalización horizontal y vertical y dispositivos de control *in situ* se ve también reflejada en la falta de señalizaciones indicativas de los destinos de la intersección como se puede comprobar en las siguiente imagen:



Figura 10: Acceso/Salida Oriente de la glorieta

En las anterior imagen se aprecia como, en el centro de la glorieta existe una ausencia total de señalizaciones de destino.

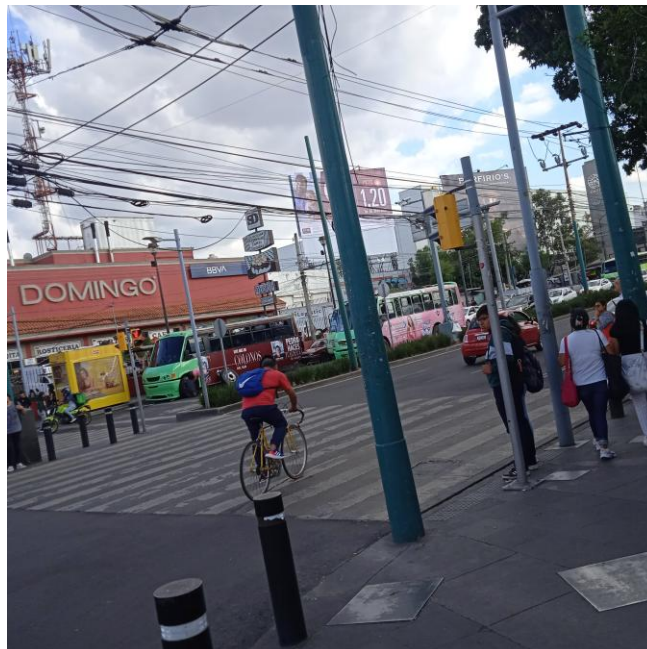


Figura 11: Acceso/Salida norte de la glorieta

En los accesos solamente se tiene una señalización de destino por acceso, condición que incumple lo dispuesto por el Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad (SCT, 2014)¹⁸ y del Manual de Señalización y Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras (SCT, 2023)²⁷ que en su apartado de señalizaciones de destino para intersecciones urbanas nos indica que por cada rama de la misma deben existir dos señales de este tipo, una preventiva o previa que se encuentra antes del punto de cruce y otra llamada decisiva que se encuentra justo en la entrada al punto de cruce.

En las dos imágenes anteriores es notoria también la falta de señalizaciones de otros tipos, por ejemplo señalizaciones de parada de transporte público e indicativas de operaciones (vueltas y retornos), límites de velocidad, entre otras señalizaciones.

Ahora bien, los párrafos anteriores describieron algunos de los problemas que hallamos en el lugar de cruce en cuanto a señalización vertical se refiere, a continuación indicaremos los problemas que existen en cuanto a señalización horizontal y es que en las imágenes anteriores podemos apreciar un estado de claro deterioro y deficiencia en señalización horizontal, por ejemplo y particularmente en los accesos correspondientes a Miguel Ángel de Quevedo se aprecia como la doble raya que separa al carril de baja de los demás está despintada, situación que se agrava en horarios nocturnos.

En la siguiente imagen podemos observar los señalamientos horizontales de los cuatro accesos a la intersección en el que se aprecia como incumplen lo determinado por el Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad (SCT, 2014)¹⁸ y del Manual de Señalización y Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras (SCT, 2023)²⁷ que en su apartado de Flechas, Letras y Números nos dice que, para intersecciones urbanas las flechas deben, en primera instancia estar pintados de blanco reflejante y en segundo lugar estar indicadas a suficiente distancia del acceso a la intersección, condición que si se cumple.



Figura 12: Estado de los señalamientos horizontales en la salida/acceso poniente de la glorieta

Otro problema detectado es que solamente en uno de los 4 accesos se cumple debidamente la señalización horizontal dada por el Manual De Dispositivos de Señalización y Control Vial¹⁸

Otra condición incumplida en la intersección que se indica en el manual es la señalización para los cruces de peatones y ciclistas, ya que el documento instructivo nos señala que las líneas para delimitar los cruces de los peatones y ciclistas debe ser de color amarillo reflejante o en su defecto verde reflejante para el caso de los ciclistas, de igual manera deben ser líneas paralelas a la trayectoria de los vehículos y por consiguiente perpendiculares a la trayectoria de los peatones y ciclistas con una longitud igual al ancho de las aceras a las cuales conectan, es decir, deben estar pintadas de forma coherente a la geometría de las banquetas entre las cuales deberían estar situadas, sin embargo vemos en la imagen siguiente es como ni la condición del color de las líneas ni la condición de la geometría de las mismas se cumple.

Estado físico y operacional de las aceras y problemas de tránsito peatonal.

Debemos saber que de acuerdo al Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras emitido (SCT, 2018)¹⁹ los peatones tienen las siguientes características operativas:

- Se les considera una velocidad promedio de 1.2 m/s al caminar
- Tienden a caminar la menor distancia posible entre dos puntos
- Sus trayectos van de los 800 a los 1500 metros en promedio
- Son poco predecibles
- Su operación óptima debe considerar superficies de 60 cm de ancho por 45 cm de profundidad
- Se rehúsan a utilizar pasos inferiores o superiores al momento de cruzar vialidades

Actualmente las aceras de la intersección presentan aún muy graves deficiencias, por ejemplo el mal estado en la mayoría de las aceras del sitio, lo cual contribuye al aumento de riesgo de incidentes para los peatones, el ambulante tiene gran presencia en 2 de las 4 esquinas del cruce (las esquinas ubicadas al sur del cruce) y de forma parcial en la esquina noroeste, tal como se puede apreciar en la imagen a esta situación reduce lo que se conoce como ancho efectivo para una acera, es decir, el espacio de una acera sobre el cual los peatones realmente circulan de tal suerte que también se reduce la superficie individual de 0.6 x 0.45 m mencionada anteriormente y por tanto la velocidad de cada peatón aumentando con ello la densidad de peatones en la acera que a su vez reduce también su eficiencia dando como resultado que o bien los peatones no puedan realizar sus operaciones de manera óptima y deseable o bien realicen maniobras inseguras o imprudentes como caminar debajo de las aceras, lo que ocurrió varias veces durante la recogida de datos y hecho que también se indica en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras (SCT, 2018)¹⁹ aumentando con ello el riesgo de incidentes viales.



Figura 13: Presencia de ambulante en una de las aceras del sitio

Otro problema relacionado al tránsito de peatones y a las aceras detectado en el cruce son las señalizaciones, sobretodo del tipo horizontal, objeto que se había tratado con anterioridad en el presente capítulo pero que para efectos de tratar el problema peatonal del sitio se retomará comenzando por la deficiente señalización horizontal peatonal que ya vimos en este capítulo que al encontrarse en dicho estado representa un problema para las operaciones peatonales referirse a la figura esto al no ser estas suficientemente visibles y ambiguas y al igual que con los vehículos está situación se agrava en horas baja visibilidad siendo este un factor que al igual que otros mencionados aumenta el riesgo de incidentes viales.

Atendiendo a una de las características operativas del peatón que se ha mencionado y que es que los peatones caminan la menor distancia posible entre un punto A y un punto B vemos que en este sitio esto genera problemas al estar los cruces peatonales ubicados lejos entre uno y otro como se observa también en la imagen a referenciar lo que ocasiona que los peatones realicen maniobras riesgosas que contribuyen a incrementar la sucesión de eventos viales como cruzar cada avenida yendo de uno de los semicírculos que configuran la glorieta a otro en vez de hacerlo por los cruces con que cuenta la intersección es decir, los peatones tienden a cruzar fuera de los pasos de cebra debido a la distancia que hay entre uno y otro y que es considerable.

Un problema peatonal más que podemos añadir es la existencia de obstáculos en los 4 cruces peatonales y en la mayoría de las aceras, elementos que probablemente fueron colocados a fin de evitar que los motociclistas y ciclistas usen dichos pasos a nivel como retornos pero que debido a su posición y distancia entre uno y otro puede significar en primer lugar la reducción del área por cada peatón la cual es, como anteriormente se ha escrito de 60 cm. de ancho x 45 cm. de profundidad y segundo y más importante dificulta el cruce de personas con condiciones especiales y que utilizan algún artefacto para poder transitar, como andadores y sillas de ruedas, problema que se extiende al resto del sitio debido a la insuficiencia e ineficiencia de la infraestructura del cruce dirigida a dicho segmento que se encuentra en mal estado y/o cerca de zonas conflictivas como la entrada y la salida del estacionamiento de la panadería de la esquina sureste de la glorieta y del centro comercial de la esquina suroeste, situación que además de ser riesgosa para el peatón con capacidades diferentes también lo es para el resto de los peatones toda vez que deben realizar las maniobras de tránsito en puntos conflictivos y/o que se encuentran en mal estado que suponen un incremento del riesgo de un incidente vial.



Figura 14: Presencia de obstáculos en uno de los cruces.

Contextualización del problema

El presente trabajo tuvo como punto de partida la *Auditoría de Seguridad Vial de la Ciudad de México* (CENAPRA, 2008) en el que se identificaron nueve cruces viales de alto riesgo de sucesión de incidentes viales en la capital mexicana. En dicha auditoría y para cada uno de los cruces estudiados fueron plenamente identificados los factores que influían en dicho riesgo de accidentes de tránsito que en su mayoría corresponden a problemas del mal estado de la infraestructura existente en cada uno de ellos y de su mala planeación así como la deficiencia de debidas señalizaciones en los sitios. De manera individual para cada caso de estudio el organismo, a manera de conclusión emite recomendaciones de configuraciones para cada intersección a fin de reducir los problemas que fueron identificados en cada uno de ellos.

El estudio descrito en el párrafo anterior aborda de manera implícita y meramente aplicativa los conceptos de la ingeniería de tránsito y transporte que hemos tratado y trataremos en este escrito ya que se trata de un estudio de campo en diferentes sitios donde los autores no abundan en explicar a profundidad dichos conceptos teóricos debido a que no se trata de una investigación teórica pero para la cual quienes la elaboran deben tener presentes las bases teóricas necesarias, sin embargo existen, por su parte trabajos de diversa índole que si ahondan con mayor los problemas y el diseño de las intersecciones viales haciendo mayor énfasis en la teoría y los fundamentos de la materia.

Por ejemplo en mayo de 2015 y en un artículo de la edición de la revista “Cultura Científica y Tecnológica” de la en su edición del mes y año mencionados (Miramontes *et al*, 2015)²¹ toman como punto de partida el concepto de punto de conflicto (que ya hemos comentado y definido en este trabajo) y de su presencia e influencia en las intersecciones urbanas, tanto semaforizadas como no semaforizadas para proponer un método de análisis y evaluación de dichos elementos iniciando con la recolección de información del cruce a analizar etapa en la cual las características geométricas y el posterior análisis de la influencia de dichas características en la cinemática del sitio serán fundamentales para, posteriormente proceder al análisis formal mediante manuales estándar para dicho fin y concluyen los autores en que las intersecciones urbanas son parte fundamental del sistema de vialidades de cualquier ciudad o región y que la eficiencia o deficiencia de ellas rigen la eficiencia o deficiencia del resto del sistema.

En la introducción de su tesis doctoral (Torres A., 2012)²² nos habla acerca de como los accidentes de tránsito son una de las principales causas de muerte en el mundo que, según proyecciones de la OMS se multiplicarán en 2030 con respecto a 2004 siendo las intersecciones o cruces los puntos que presentan un mayor registro de conflictos viales atribuibles a muy diversos factores como el volumen de tránsito, climas o factores humano es por eso que en su escrito Torres nos habla de un ejemplo concreto el cual es un estudio realizado por la Federal Highway Administration en que del 1 de enero al 31 de diciembre de 2008 el 20.8% de las muertes por accidentes de tránsito tuvieron alguna relación con las intersecciones debido a, nos dice el autor la complejidad propia de las mismas, ya que en ellas encontramos diferentes tipos de movimientos y usuarios por lo que el minimizar el riesgo de incidentes de tránsito debe ser prioridad al momento de diseñar una intersección y esto puede lograrse haciendo claros y fáciles de identificar los movimientos y maniobras que se realicen en los cruces ya que, más adelante en el trabajo escrito Torres indica que el factor de riesgo

más importante que desemboca en un accidente vial es el humano (del 71 al 93% en EEUU en estudios realizados hasta 2011), de allí la importancia de facilitar la realización de maniobras en una intersección para los conductores, los pasajeros y los peatones debido a que la facilidad o dificultad de realizar operaciones en un cruce determinará, junto a otros factores como el previo consumo de sustancias enervantes o la edad un mayor o menor riesgo de sucesión de errores debido al factor humano.

Por su parte en el trabajo de grado *Modelo de un Diseño Geométrico para intersecciones viales basados en un sistema de retornos* (Fandiño y Gamba ,2015)²³ el cual tiene como punto principal el diseño de intersecciones urbanas indican que lo primordial para realizar el diseño de una intersección es conocer la jerarquización de vialidades y para ello debemos pues recurrir a la documentación debida para hacerlo y que en la mayoría de los casos se trata de normas y leyes locales encargadas de disponer dicha jerarquización de vialidades y de igual manera se hace énfasis en como la geometría de las intersecciones están condicionadas por factores como las maniobras que se realicen así como las velocidades y volúmenes de tránsito y que a su vez el riesgo o potencialidad de ocurrencia de incidentes de tránsito dependen de un factor muy importante como lo es el volumen del tránsito influyendo dicho factor también en el tipo de conflictos de tránsito que se presentan.

Los autores nos indican también y como lo hemos hecho en el punto anterior que entre más cerca están los puntos de maniobra o cuando estos se traslapan el riesgo de ocurrencia de incidentes se incrementa considerablemente así como también se ralentiza el flujo del tránsito y por tanto baja el nivel de servicio del cruce y otro factor que los autores señalan y que de la misma forma ya lo ha sido con anterioridad es que tener áreas de cruce grandes y mal señalizadas es otro factor que incrementa la deficiencia de una intersección.

Delimitación del problema

En el *Programa Integral de Seguridad Vial de la Ciudad de México* (SEMOVI, 2021)⁵ se menciona que, según estimaciones de la OMS a 2020 en el mundo se registran alrededor de 1.35 millones de decesos debido a los hechos de tránsito. En México a 2018 (De acuerdo al mencionado documento) los hechos de tránsito son la séptima causa de muerte entre la población en general y la segunda causa de muerte no causada por enfermedades, solamente por debajo de las agresiones físicas, todo ello reflejado en la siguiente tabla (Tabla 7):

No	Causa de Muerte	Defunciones
1	Diabetes mellitus	101,257.00
2	Infarto Agudo de miocardio	100,552.00
3	Agresiones (homicidios)	36,685.00
4	Neumonía	27,936.00
5	Otras enfermedades del hígado	25,339.00
6	Enfermedades pulmonares obstructivas crónicas	23,414.00
7	Accidentes de tráfico de vehículos de motor	15,569.00
8	Enfermedad alcohólica del hígado	13,948.00
9	Insuficiencia renal	13,845.00
10	Los demás accidentes y efectos tardíos	10,763.00

Tabla 3: Causas de muerte en México. Elaboración propia a partir de de datos del INEGI 2018.

Durante 2023 y según datos del INEGI²⁴ ocurrieron en el país 381,048 incidentes de tránsito, de los cuales 66,714 fueron hechos de tránsito donde uno o más involucrados resultó herido por 4,262 que resultaron en al menos una fatalidad entre los involucrados en el incidente, lo anterior a cambio de otros 310,072 hechos donde solamente se registraron daños materiales, esto se puede apreciar en las siguientes tablas (Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6):

Causas de los eventos de tránsito en 2023	
Causa	Número de accidentes
Sin evento	0.00
Por el conductor	366,974
Por el peatón o pasajero	2,366
Fallas del vehículo	4,047
Mala condición del camino	5,827
Otros	1,834
Total	381,048.00

Tabla 4: Causas de los incidentes de tránsito en México en 2023, INEGI.

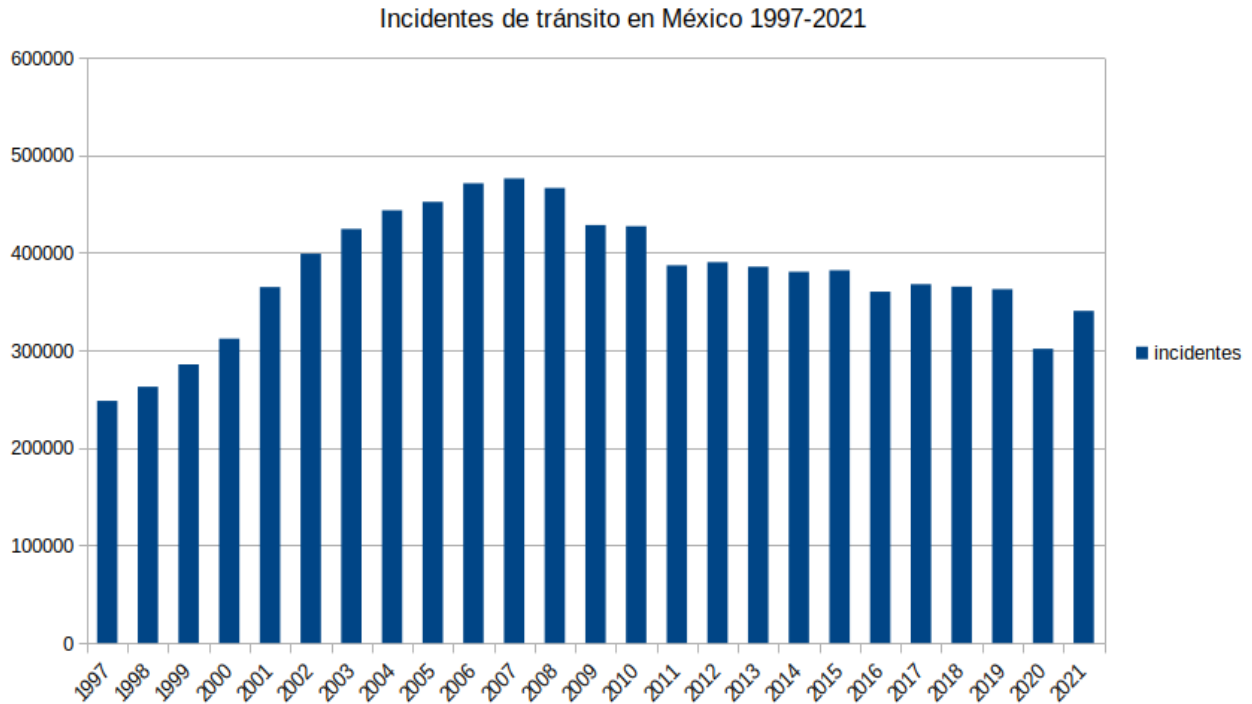
Tipos de eventos de tránsito en 2023	
Causa	Número de accidentes
Sin evento	0
Colisión con vehículo automotor	232,509
Colisión con peatón (atropellamiento)	11,853
Colisión con animal	1,026
Colisión con objeto fijo	44,233
Volcadura	11,449
Caída de pasajero	1,947
Salida del camino	10,232
Incendio	381
Colisión con ferrocarril	264
Colisión con motocicleta	57,421
Colisión con ciclista	3,928
Otro	5,805
Total	381,048.00

Tabla 5: Tipos de Eventos de tránsito en México en 2023, INEGI

Clases de eventos de tránsito en 2023	
Causa	Número de accidentes
Sin evento	0
Fatal	4,262.00
No Fatal	66,714.00
Daños Materiales	310,072.00
Total	381,048.00

Tabla 6: Clases de Eventos de tránsito en México en 2023, INEGI

Debido a la emergencia causada por COVID-19 y al consecuente paro de actividades económicas impuesto de abril a junio de 2020 durante ese año se registró un menor número de incidentes de tránsito en comparación con años anteriores, siendo 2020 el año con menor número de accidentes de tránsito en el país desde el año 2000, cuando por última vez en los años de registro del INEGI²⁴ se contabilizaron en el país menos de 300,000 hechos de tránsito. Sin embargo a pesar de la baja notable de incidentes de tránsito durante dicho año el número de incidentes registrados es aún alto y de hecho 2021 volvió a presentar niveles a los años anteriores al periodo de pandemia.



Por lo anterior en 2008 el entonces CENEPR (ahora CONAPRA) realizó una auditoría de seguridad vial en la ciudad de México en la que, en horas punta de días entre semana analizó la situación de seguridad vial así como del entonces estado actual de la infraestructura de 9 intersecciones inseguras de la ciudad, entre ellas el cruce de Miguel Ángel de Quevedo y Av. Universidad teniendo como resultado que se trata de una intersección de alto potencial de incidencia de incidentes viales, situación que ha prevalecido hasta la actualidad, pues según la Secretaría de Movilidad de la ciudad de México en su reporte trimestral de Hechos de Tránsito de enero a marzo de 2024²⁵ la avenida Eje 9 sur Miguel Ángel de Quevedo resaltó por la alta incidencia de hechos de tránsito junto con otras como Eje Central y Eje 3 Oriente, tal como se muestra en la siguiente figura (Fig. 16) extraída del documento correspondiente al 1er reporte trimestral de Hechos de tránsito de 2024²⁵, anteriormente mencionado.

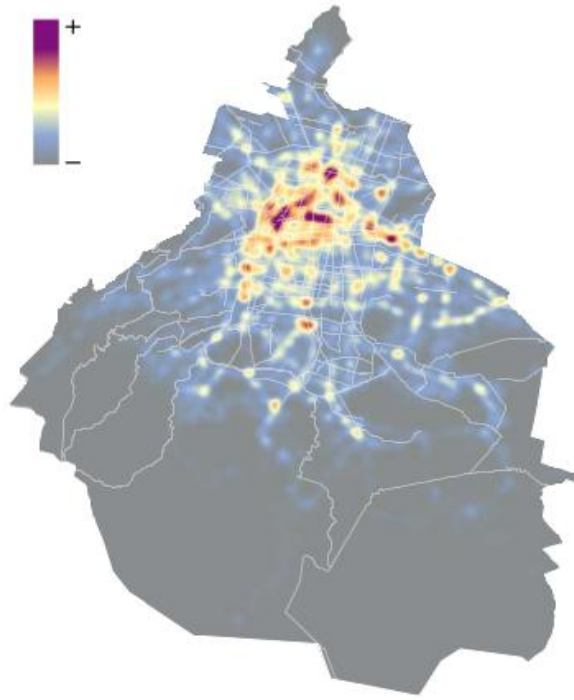


Figura 15: Densidad de los hechos de tránsito durante el primer trimestre de 2024, SEMOVI.

Justificación del problema

Como se ha tenido a bien escribir en líneas anteriores de este capítulo la importancia de las intersecciones viales radica en que se trata de elementos complejos ya que hablamos de sitios donde se encuentran dos o más vialidades, provocando con ello que en dichos elementos tengan lugar una gran cantidad de movimientos y operaciones realizados por los distintos tipos de usuarios de la infraestructura vial (pasajero, peatón y automovilista) y teniendo con ello una complejidad superior a la que nos ofrecen otros elementos de un sistema vial y que al ser elementos más complejos significa que son sitios donde se tiene mayor riesgo de presentar incidentes de tránsito como lo vimos en los apartados de contextualización del problema e identificación del problema.

Retomando el punto de Identificación del problema constatamos, de manera teórica que gracias a las trayectorias que se presentan en una intersección y que a su vez da origen a una gran cantidad de puntos de conflicto que pueden ir desde 4 hasta n cantidad de manera tal que existe una relación directamente proporcional entre el número de puntos de conflicto y del riesgo de accidentes y que para el caso de nuestro punto de estudio, al tener n puntos de conflicto tendremos pues n puntos donde es posible que suceda un incidente de tránsito en una primera instancia ya que además contamos en el sitio con tramos de entrecruzamiento difíciles de identificar y que a su vez aumentan el riesgo de incidentes en el cruce y en último lugar para efectos de este breve resumen nos encontramos en el cruce con una deficiente e inadecuada infraestructura de señalizaciones y de elementos de uso peatonal además del mal estado en algunas partes de la intersección, factores que hacen del punto de estudio un sitio de alto riesgo para los diferentes tipos de usuario que lo utilizan.

Debido a su composición y funciones los cruces viales urbanos son los puntos de mayor peligro en los sistemas viales de las ciudades, esto tal como lo vimos en el apartado de Contextualización del problema donde Torres A. menciona en su tesis doctoral (España, 2012)²² que en EUA según datos de la Federal Highway Administration durante 2008 en el país norteamericano el 20.8% de los accidentes viales que ocurrieron tuvieron relación en algún grado con una intersección, cifra que se mantiene en el tenor que la cifra de otros lares del mundo, por ejemplo España, país donde según la Dirección General de Tráfico reporta que, a marzo de 2018 un 40% de los incidentes con víctimas ocurre en intersecciones, por delante en 23 puntos porcentuales de los ocurridos en rectas y en 31 puntos de los ocurridos en curvas, de este porcentaje el 43% del total de los incidentes en curvas ocurren en aquellas en forma de "X" o "+". Esta tendencia de alta incidencia de accidentes viales en intersecciones es también la norma en nuestro país, por ejemplo según datos de consulta libre del INEGI en su recopilación de accidentes de tránsito en zonas urbanas (ATUS)²⁴ para 2020 el 80.53 % de los incidentes de tránsito en estas zonas sucedieron en intersecciones, esto a nivel nacional, porcentaje que a nivel entidad en la ciudad de México llegó a 98.95 % mientras que para 2021 el índice a nivel nacional se ubicó en 79.47% y a nivel ciudad de México fue de 98.87%.

En virtud de ser las intersecciones viales elementos que, por su naturaleza compleja son propensos a presentar numerosos y serios problemas de operación si no cuentan con un diseño adecuado y de tratarse también de los sitios con mayor número de conflictos viales según diferentes estadísticas (Como el ATUS presentado por el INEGI)²⁴ es que tenemos y siguiendo el tenor de referirnos a datos estadísticos, en la ciudad de México una gran cantidad

de cruces viales conflictivos tanto por los aspectos operativos como por los aspectos de seguridad de los usuarios lo cual nos remite a la evaluación realizada en conjunto por el Laboratorio de ciudades en Transición (Labcit) de la UAM Cuajimalpa y el Conacyt entre julio y septiembre de 2017 en 500 cruces de la capital mexicana y la cual arrojó como resultado que el 91.3% de las intersecciones evaluadas no cuentan con las mínimas garantías de seguridad para los usuarios y que siguiendo las notas de evaluación de la evaluación que fueron de “muy mala” a “muy buena” ninguna alcanzó esta última y solamente el 0.4% recibió la nota de “buena” y el 8.3% de “regular” resultado que es claramente inaceptable y desde luego alarmante ya que como se ha mencionado los cruces urbanos son de los elementos más críticos y prioritarios de un sistema vial urbano. Este trabajo de evaluación y los datos del ATUS²⁴ del INEGI para 2020 y 2021 nos indican que, estadísticamente las intersecciones son los sitios de una red vial más peligrosos de allí que su diseño merezca la primordial atención de profesionales dedicados al la ingeniería de tránsito y transporte y no solamente de ellos, también de profesionales de los ramos de seguridad ciudadana y salud pública.

El análisis y evaluación de intersecciones viales urbanas es importante no solamente por las implicaciones que dichos elementos tienen en diversos aspectos de seguridad vial y salud pública sino también por lo que las intersecciones representan como parte de una red vial desde un punto de vista de la ingeniería de sistemas y específicamente dentro de la teoría de redes toda vez que, como su propio nombre lo indica las redes viales urbanas pueden estudiarse bajo la teoría de redes siendo que mediante una red podemos realizar una representación abstracta de un sistema de red vial existente en campo (Flores, UNAM, 1999)¹² siendo los arcos (las líneas que observamos en un modelo de res) representaciones de las arterias viales y los nodos de las intersecciones. Una vez planteado el modelo de la red vial usando una red entendemos a los arcos como elementos a través de los cuales fluye n cantidad de vehículos, expresados en números positivos y enteros siempre y los nodos como sitios de donde sale una cierta cantidad de vehículos y entra otra cierta cantidad dependiendo dichas cifras de la capacidad de los nodos de atender la demanda existente, generalmente dada en vehículos por hora (vph) por lo que se deduce que la capacidad de una intersección de atender la demanda existente afecta de manera directamente proporcional a la capacidad de toda una red vial o de la parte de la misma donde se encuentra dicha intersección de suerte tal que si una intersección no cuenta con dicha capacidad entonces habrán problemas de congestión vehicular en el sistema y por consiguiente encontramos que las intersecciones son sitios críticos de un sistema de vialidades por lo que en este caso particular y al igual que en otras ramas de la ingeniería civil como la ingeniería de Estructuras o la ingeniería de Cimentaciones donde el elemento crítico es el que define el diseño, evaluación y operación de un sistema los profesionales encargados deberán prestar especial atención a los cruces viales en todas las etapas de la vida útil de un sistema de tránsito y vialidad además de establecer y realizar de manera periódica tareas de análisis, evaluación y diagnóstico del estado de las mismas.

Formulación del problema

Podemos decir que todo elemento de la infraestructura civil se divide en dos partes: su parte física y su parte operativa siendo la primera parte aquella que, valga la redundancia está conformada por los componentes físicos de la misma, es decir, aquello que es tangible y la segunda parte también llamada lógica se entiende como un conjunto de disposiciones operativas, reglas e instrucciones que permiten, regulan e instruyen la operación del elemento de infraestructura en cuestión siendo lo anterior escrito análogo a lo que vemos en las ciencias informáticas con lo que se conoce como “hardware” y “software”.

Lo planteado en las líneas inmediatamente antecedentes servirá como guía esencial para la formulación del presente problema comenzando por identificar los componentes de la infraestructura vial, por ejemplo para una vialidad sus componentes físicos serán la superficie de rodamiento, las banquetas, el camellón (en caso de tenerlo), semáforos, elementos de señalización vertical, elementos de protección para el peatón y todo aquello que, para efectos prácticos sea tangible y su parte operativa o lógica serán la programación de los semáforos existentes, el contenido de los elementos de señalización vertical y en resumen todo aquello que contribuya a la operación de la vialidad y que, al contrario de la parte física sea intangible. Escrito lo anterior se tiene que el debido funcionamiento de un elemento de infraestructura se obtiene cuando su parte física y su parte lógica funcionan cada una y en conjunto de manera correcta, sin embargo podemos tener el caso en que una de las dos o ninguna lo hacen de forma óptima y por tanto se logra de esta manera un deficiente funcionamiento del elemento vial en cuestión y que para efectos del presente se trata de las intersecciones.

En el apartado anterior vimos que, para la ciudad de México y de acuerdo a diferentes estudios, evaluaciones y estadísticas de entidades como LABCIT, INEGI e IMT los cruceros son, por lejos los sitios de mayor riesgo de sucesión de incidentes viales, muchos de ellos fatales para los usuarios del sistema vial que transitan por las intersecciones llegando a cifras porcentuales muy cercanas al 100 % para rubros como la cantidad de hechos de tránsito registrados por sitio.

Ahora bien, ahondando en las causas de este hecho y como hemos abordado a lo largo del presente trabajo existe correlación entre factores como el diseño geométrico y operacional de un cruce con su estado de operación y el nivel de seguridad que ofrece a los usuarios. La naturaleza crítica que tienen las intersecciones urbanas es atribuible a que, como se ha descrito se trata de espacios donde diferentes tipos de usuario realizan diversas operaciones en lapsos de tiempo determinados (en resumen) por lo que es de alto riesgo que en ellas se originen incidentes viales de diverso tipo y con diferentes resultados que van desde daños meramente materiales y económicos hasta daños a la integridad física de los usuarios y en no pocos casos la muerte de uno o más individuos involucrados. En aras de mitigar el riesgo de ocurrencia de accidentes de tránsito, de optimizar los niveles de servicio y de incrementar la seguridad en las intersecciones urbanas es que contamos con manuales de diseño de las mismas y de sus elementos complementarios, más concretamente y de manera respectiva el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras y el Manual de Señalización vial y Dispositivos de Seguridad (y la última edición de este de 2023), emitidos ambos por la SCT^{18 19} y que, de manera respectiva también las ediciones de 2018, 2014 y 2023 son las que tenemos en vigor actualmente, sin embargo como hemos visto ya al inicio de este capítulo y como retomaremos

en otros posteriores las intersecciones viales y en particular la que ocupa el interés del presente trabajo no cumple con lo dispuesto o en su defecto con lo recomendado en dichos manuales dando origen esta situación a que se presenten diversos problemas en el sitio de la intersección.

La intersección de la avenida Universidad y Miguel Ángel de Quevedo (la cual está diseñada como una glorieta) recibe, a fecha de mayo de 2024 más de 3500 veh/hora lo cual podemos considerar como una demanda alta de vehículos y para este caso en particular el MPGC (Manual De Proyecto Geométrico de Carreteras)¹⁹ 2018 nos indica que el flujo máximo que se puede admitir en una glorieta es de 3000 vph¹⁹, es decir, el cruce mencionado rebasa por más de 500 unidades el límite dispuesto por el manual ya que a partir de dicha cantidad la glorieta puede, según el manual presentar problemas operativos siendo un claro ejemplo el cruce que estamos tratando en este trabajo.

Lo anterior escrito se debe a que las glorietas tienen una concepción dirigida a disminuir el riesgo de incidentes de tránsito y aumentar la capacidad de las intersecciones al incentivar el flujo continuo en una glorieta, sin embargo esto es recomendable para volúmenes no muy altos de tránsito ya que de lo contrario y reiterando lo que se ha escrito con anterioridad pueden existir problemas de operación, esto debido a que las glorietas tradicionalmente al ser un tipo de cruce destinado a promover un tránsito lo menos interrumpido posible no poseen tantos elementos de control del tránsito como las intersecciones convencionales.

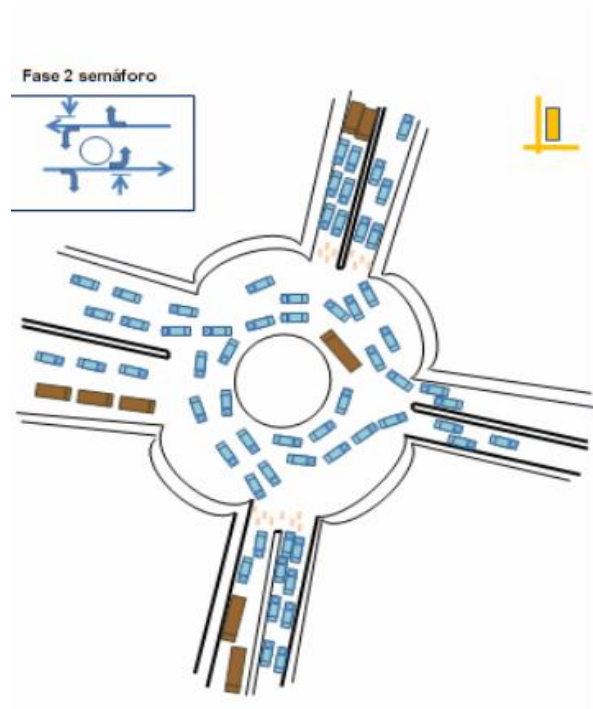


Figura 16: Configuración actual de la intersección

Lo anterior descrito provoca que, como hemos visto en la parte correspondiente a la identificación del problema del presente capítulo existan por este motivo diversos problemas operativos que se traducen en demoras en la operaciones de los usuarios en primera instancia, sin embargo la glorieta también posee un deficiente nivel de señalizaciones y dispositivos de tránsito, por ejemplo uno de los principales es la falta de líneas separadoras de carriles en los carriles centrales de la glorieta, (es decir los carriles que rodean a la isla donde está la fuente de los coyotes) teniendo de este modo que las operaciones viales del sitio se complican aún más al no tener los usuarios una claridad satisfactoria de los carriles de circulación que utilizan o que deben utilizar originando con esta situación que los puntos de conflicto se presenten de manera aleatoria en lugar de tener puntos de conflicto identificables que permitan tener operaciones seguras en el sitio lo cual resulta contraproducente respecto a la concepción que se tiene de las glorietas que en un escenario óptimo reducen a 8 los puntos de conflicto que poseen en su circulación y es que los puntos de conflicto al ser como su nombre indica puntos donde, al coincidir dos o varias trayectorias de los tipos de usuario que circulan se pueden suscitar incidentes de tránsito que van desde daños materiales menores hasta incidentes fatales.

Otro factor importante a tomar en cuenta en una intersección en glorieta (también llamadas rotondas) son las distancias de entrecruzamiento siendo que se trata de tramos de una vialidad donde debido a las operaciones que se realizan y, que como su nombre indica son tramos donde dos o más usuarios se entrecruzan mientras circulan en un mismo sentido por lo que entendemos que se tratan de tramos donde pueden potencialmente presentarse conflictos de tránsito y es que tenemos que la longitud de entrecruzamiento está definida por dos puntos de conflicto (uno en cada extremo como ya hemos visto con anterioridad) que es uno de convergencia y uno de divergencia siendo de esta manera que al no tener en la sección central de la glorieta ni tampoco en sus accesos carriles debidamente señalados es que los tramos de entrecruzamiento no se distinguen con claridad y se presentan de forma aleatoria en vez de presentarse en forma ordenada problema que en el sitio es similar al de los puntos de conflicto. La distancia de entrecruzamiento en una glorieta así como la circulación en los carriles centrales de una suelen no ser un mayor problema en sitios con volúmenes de tránsito bajos y moderados, sin embargo el sitio de estudio que tratamos presenta altos volúmenes de tránsito caso para el que, a decir de la auditoría de seguridad vial del CONAPRA de 2008 y del Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de 2018 de la SCT¹⁹ merece un estudio y evaluación del flujo de tránsito y en su defecto canalizar las operaciones de vuelta de una rama a otra de la glorieta a fin de tener un mejor nivel de servicio y de seguridad para el usuario característica de la cual carece la intersección que estamos estudiando dando con ello lugar a tener desorden en los puntos de conflicto y las distancias de entrecruzamiento y en resumen originando con ello problemas como un mayor riesgo de incidentes de tránsito y un entorpecimiento del flujo en el sitio.

Los conflictos viales presentes en el cruce no se limitan solamente a las operaciones de los automovilistas que circulan en el sitio también abarcan las operaciones peatonales del sitio toda vez que, como se escribe en el primer punto de este capítulo dichas operaciones no encuentran en el cruce soluciones para su correcta y segura realización y esto se debe a factores que responden a la configuración física y operacional del sitio, por ejemplo las trayectorias que deben recorrer los peatones son considerablemente largas, ya que para ir de

una acera a otra deben recorrer un cuarto de la circunferencia que se forma debido a la configuración de la glorieta cuando en otras intersecciones ambas aceras se encuentran en una misma esquina, lo anterior escrito contribuye a que los peatones realicen operaciones incorrectas pero que acortan las distancias de recorrido de un punto A a un punto B de la intersección por ejemplo caminar sobre una parte de la calzada de la avenida, sobretodo en lo que se considera las esquinas de la intersección que son los cuartos de circunferencia que mencionamos antes. Otro problema al que se enfrentan los peatones en el sitio es la invasión de las aceras por parte de puestos semifijos y ambulantes que se encuentran instalados en la mayoría de las aceras de la intersección lo que y retomando de (nueva cuenta) algo que hemos visto en la parte de Identificación del Problema provoca la reducción del ancho funcional o efectivo de las mismas y que tiene como consecuencia la disminución del nivel del servicio de las aceras al disminuir el espacio utilizable para los peatones y con ello aumentar la densidad de peatones por unidad de superficie, disminuir la velocidad de los mismos al transitar y entorpeciendo el flujo de peatones en las aceras, lo cual supone problemas de tránsito peatonal que, por ejemplo afecten en mayor medida a usuarios con capacidades diferentes y de edad avanzada.

Ahora bien, los puntos de conflicto no involucran exclusivamente a los vehículos automotores ya que, siguiendo su definición encontramos que es un punto donde se encuentran las trayectorias de dos o más usuarios lo que en un significado más amplio incluye a los peatones y es que los puntos de conflicto peatón-automovilista no se limitan exclusivamente a los pasos peatonales sobre la calzada sino que y particularmente en el caso de nuestro sitio de estudio también se ven en las aceras debido a la existencia de entradas y salidas de centros comerciales y establecimientos existentes en las adyacencias del crucero situación que se agrava al existir rampas de acceso y salida en dos de las cuatro esquinas del crucero que son puntos críticos de la infraestructura peatonal de un crucero toda vez que es en estos puntos donde se tiene una mayor concentración de peatones que se disponen a realizar operaciones de cruce de la calzada o que transitan por allí entre una acera y otra situación que entorpece el flujo de peatones y de los automovilistas que entran y salen de los estacionamientos de dichos sitios.

Metodología de trabajo

La recopilación de datos e información así como su análisis se hará obedeciendo a diversas metodologías, principalmente a la HCM 2010 y a la propuesta en la tesina de especialidad titulada *METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DE INVENTARIOS VIALES EN INTERSECCIONES* (Carreón, 2017)²⁶, a su vez los datos e información que serán recogidos serán en función de lo requerido por el presente trabajo que como vimos en la parte de la introducción se trata de analizar los problemas de funcionamiento y seguridad del cruce de M.A. de Quevedo y Universidad por lo que para esto requeriremos conocer indicadores como el volúmen, velocidad, densidad y demanda entre otros que luego serán analizados a fin de poder realizar un diagnóstico de la situación del cruce así que los datos que obtendremos serán los anterior mencionados o bien, para conocerlos.

Recopilación de datos

La recopilación de datos se hará de acuerdo a los siguientes pasos:
Ubicación y caracterización de la zona de estudio:

- Punto de estudio: Glorieta de Av. Universidad y Av. Miguel Ángel de Quevedo, Alcaldías Coyoacán y Álvaro Obregón, Ciudad de México.
- Coordenadas: 19.3466662,-99.1807674,18.
- Objetivo: Conocer los datos necesarios para analizar la intersección y conocer los problemas que presenta.
- Clasificación: Avenida primaria en ambos casos (Carreón, 2017)²⁶
- Descripción de la actividad: Para todas las recogidas de datos el observador se colocó en el punto de interés (semáforo, esquina, acera), en una libreta de tránsito con formato anotó lo que observaba y para los tiempos se ayudó de un cronómetro de su dispositivo móvil.
- Localización:



Figura 17: Ubicación del sitio de estudio

Configuración de la intersección:

A fin de tener una mayor facilidad al momento de recoger datos y de analizarlos se nombró a los elementos del cruce de la siguiente manera:

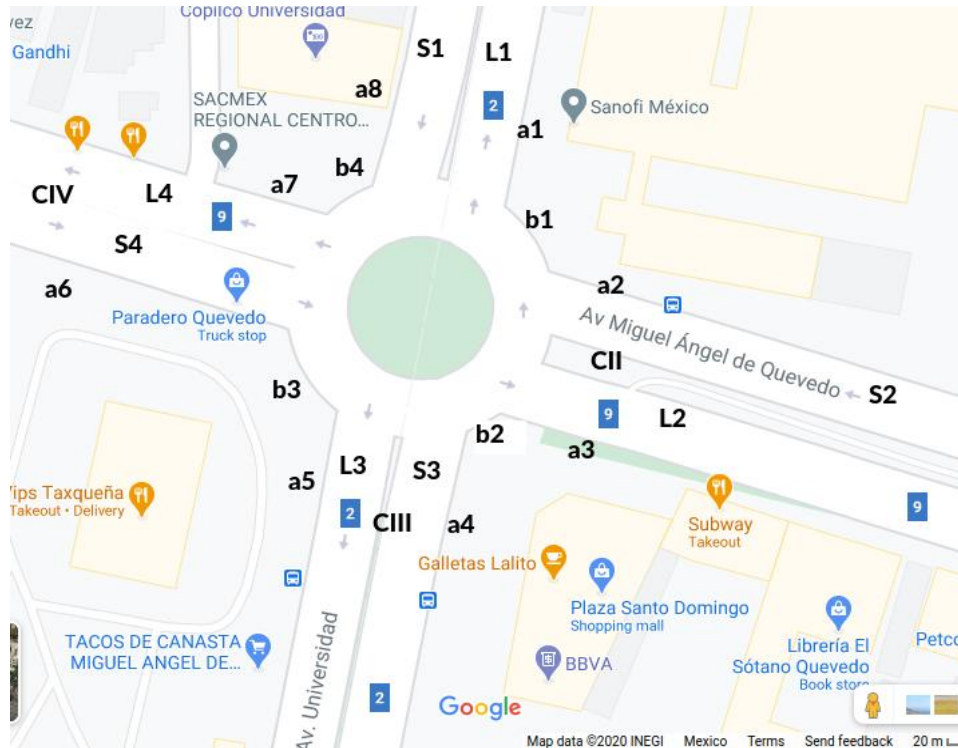


Figura 18: Identificación de los elementos de la intersección.

Donde

an: Aceras

bn: Esquinas

Cn: Camellones

Ln, Sn: Arroyos vehiculares

Inventario vial

Una vez teniendo la configuración de la intersección lista procedemos a la recolección de la información y datos que necesitamos, como dijimos en función de lo que requeriremos hacer más adelante en el presente trabajo y en esta primera etapa que es el inventario vial comenzaremos por recolectar los siguientes datos:

- Elementos de mobiliario urbano: Recabar datos acerca de estos elementos es fundamental ya que de ellos, la cantidad y magnitudes que poseen dependen en gran medida la funcionalidad de las aceras que se encuentran en la intersección, a su vez nos interesa saber la funcionalidad de las aceras a fin de realizar un diagnóstico del funcionamiento de la intersección
- Cuantificación de señalamiento vertical y horizontal: Los datos correspondientes fueron cuantificados y clasificados de acuerdo con lo establecido en el manual de señalamientos de la SCT en su edición de 2014¹⁸ realizando una revisión de acuerdo al Manual de Señalización y Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras (SCT, 2023)²⁷ que es la más reciente. Esta información también nos servirá a fin de realizar un análisis y diagnóstico del estado y funcionamiento del cruce
- Ancho de las aceras: Se tomará el ancho de cada una de las 8 aceras que conforman la intersección a fin de determinar el nivel de servicio de cada una, esto con ayuda de la aplicación móvil para Android llama *Prime Ruler*.
- Tiempos semaforicos: Se medirán con la aplicación por default de cronómetro del dispositivo móvil del aforador ya que es una medida que puede resultarnos útil en las labores de análisis y procesamiento de datos recabados.
- Rutas de transporte público: Es importante poseer esta información debido a que podría influir en el funcionamiento del cruce y en su nivel de servicio.
- Dimensiones de los elementos de mobiliario urbano y otros en las aceras: También con ayuda de la aplicación *Prime Ruler* se medirán los anchos de los elementos de mobiliario urbano y también de todos aquellos otros elementos que representen una invasión en estas por ejemplo puestos fijos y semifijos de comida o de comercio en general.

Recopilación fotográfica.

Es parte de la etapa de trabajo en campo, la recopilación fotográfica servirá como apoyo en otras etapas del trabajo en campo como los inventarios del mobiliario urbano en el sitio, sin embargo las fotografías también serán de utilidad para la elaboración de la Evaluación Cualitativa en la cual nos apoyaremos de dichas fotografías para observar puntos del sitio que signifiquen un riesgo potencial para los usuarios, esto principalmente en las aceras toda vez que el peatón es el usuario más vulnerable del sitio, ya sea por su mal estado, error de diseño, entre otras causas. Dicha evaluación se realizará con ayuda del Manual de Señalizaciones y Dispositivos de Seguridad y el Manual de Proyecto Geométrico en Carreteras. La evaluación cualitativa se hará en el siguiente formato:

Sitio	Problema detectado	Riesgo que representa	Fotografía
Punto de la intersección a evaluar	Problema detectado en el punto	Riesgo según MSDV o MPGC	Fotografía

Aforos peatonales

Es la segunda etapa de trabajo en campo, una vez hecho el inventario vial como se mostró en el punto anterior se procede a realizar el aforo peatonal el cual se realizó de manera manual en que el aforador se posicionará en un punto de la acera de donde recogería los aforos peatonales contando el número de peatones que transita por el punto de observación durante 15 minutos con cortes cada 5 minutos dentro de ese periodo de tiempo para mayor exactitud y con ayuda del cronómetro por defecto de su dispositivo móvil y el registro de esta recogida de datos se hará bajo el siguiente formato:

Acera	Tiempo	Peatones	Total
an	5		0
	10		
	15		

Lo anterior se repetirá para cada una de las 8 aceras peatonales que componen la intersección estudiada en el presente trabajo.

Ahora bien, ya en gabinete se procede a analizar los datos del aforo peatonal obtenidos de la siguiente manera mediante lo dispuesto por el Highway Manual Capacity (2010):

- Determinación de ancho no útil en cada acera: El ancho no útil es aquel ancho que por la existencia de mobiliario urbano u otros elementos no puede ser utilizado por los usuarios para su tránsito a través de una acera o vialidad peatonal de otro tipo. Ahora bien, habiendo sabido lo anterior determinaremos el ancho no útil de cada acera haciendo el promedio del ancho de todos y cada uno de los elementos que se encuentran en ella. El ancho no útil de cada elemento además de haber sido medido por el observador será comparado con la siguiente tabla para confirmar los datos y que estos sean correctos (HCM 2010):

Factores de ajuste de la anchura de las vías peatonales por obstáculos fijos	
Obstáculo	Anchura promedio no útil (metros)
Mobiliario urbano	
Postes de alumbrado público	0.75-1.10
Postes y cajas de control de semáforos	0.90-1.22
Alarmas contra incendio	0.75-1.22
Hidrantes	0.75-0.91
Señalamiento de tránsito	0.61-0.75
Parguímetros	0.61
Buzones postales (0.5 x 0.5 m)	0.97-1.13
Cabinas telefónicas (0.8 x 0.8)	1.22
Papeleras (periódico)	0.91
Bancas	0.52
Accesos públicos del metro	
Escalera del metro	1.66-2.13
Rejillas de ventilación del metro	1.83
Pasajes	
Árboles	0.61-1.22
Jardineras	1.52

- Determinación del ancho útil de cada acera: Habiendo medido el ancho total de cada acera simplemente restamos a ese dato el ancho no útil promedio de la acera correspondiente y el resultado será el ancho útil de la acera el cual es el ancho que los peatones pueden usar libremente mediante la expresión:

$$A_e = A_t - A_l$$

Donde

A_e =Ancho efectivo de la acera en m.

A_t = Ancho total de la acera en m.

A_l =Ancho no útil de la acera en m.

- Determinación de la intensidad unitaria I , en peatones por minuto por metro (pt/min/m), con la fórmula:

$$I = \frac{I_{p15}}{15A_e}$$

Donde:

I_{p15} =Intensidad peatonal de la acera en ambos sentidos en 15 minutos.

A_e =Ancho efectivo de la acera en m.

- Determinación de la intensidad de los grupos de peatones mediante la siguiente formula:

$$I_{pe} = I + 13.12$$

Determinación del nivel de servicio en cada acera: Una vez teniendo el dato anterior se procede a, con ayuda de la siguiente tabla determinar el nivel de servicio en la acera. Para esta ocasión solo se utilizó la tasa de flujo debido a la falta de dispositivos y/o métodos que ayuden a obtener los demás rubros expresados en la tabla.

Nivel de servicio	Espacio (m ² por peatón)	Tasa de Flujo (peatón/minuto/metro)	Velocidad (metros/segundo)	Relación volumen a capacidad
A	> 5.60	≤ 16	> 1.30	≤ 0.21
B	> 3.70 – 5.60	> 16 – 23	> 1.27 – 1.30	> 0.21 – 0.31
C	> 2.20 – 3.70	> 23 – 33	> 1.22 – 1.27	> 0.31 – 0.44
D	> 1.40 – 2.20	> 33 – 49	> 1.14 – 1.22	> 0.44 – 0.65
E	> 0.75 – 1.40	> 49 – 75	> 0.76 – 1.14	> 0.65 – 1.00
F	≤ 0.75	Variable	≤ 0.76	Variable

Figura 19: Tabla de niveles de servicio peatonales en aceras y andadores. HCM2010

Aforos vehiculares

Se trata de la siguiente etapa de los trabajos de recolección de datos en campo y se hará de una manera muy similar a la del aforo peatonal donde el observador se posicionará en un punto desde donde pueda, de manera segura medir la cantidad de vehículos que pasan por el punto de observación en intervalos de 15 minutos que a su vez se dividirán en intervalos de 5 minutos para una mayor precisión y se registrarán bajo el siguiente formato:

Cruce	Datos	Tiempo	Vehículos	Vehículos (15 min)	Vehículos (60 min)	Llegadas (λ)	Servicio (μ)	
Sn	Avenida	5						
		10						
		15						
		20						
	Dirección	25						
		30						
		35						
		40						
	Número de Carriles	45						
		50						
		55						
		60						
	Total		60					

Procesamiento de datos

Una vez terminada la etapa de recogida de información y datos en campo se procederá a realizar el procesamiento de datos mediante herramientas físicas y matemáticas propias de la ingeniería del tránsito, esto con el fin de contar con información concluyente que será analizada con ayuda de lo que nos dice la teoría y normativa propias de esta rama de la ingeniería a fin de poder tener un diagnóstico de la situación del cruce y de esta manera obtener conclusiones y poder realizar recomendaciones pertinentes siendo los siguientes los datos que obtendremos, esto según lo dispuesto en *Ingeniería de Tránsito y sus Aplicaciones*¹⁷.

Tasa de Flujo (q): Es el indicador del número de vehículos que pasa por un punto dado en un intervalo de tiempo determinado, puede ser indicado como veh/., veh/min. o veh/h y se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$q = \frac{N}{T}$$

Donde:

N es el número de vehículos

T es el tiempo dado

Para la obtención de la tasa de flujo en veh/h se obtiene:

$$q = \frac{N}{T} * \left(\frac{60min}{1h} \right)$$

Donde:

N es el número de vehículos

T es el tiempo dado

Regularmente la tasa de flujo q dada en veh/h. está referida a un determinado periodo de tiempo, mayormente correspondiente a 5 o 15 minutos.

Volúmen Horario (Q): Es la cantidad de vehículos que pasa por un punto dado en un periodo de una hora y se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$Q = q_1 + q_2 + \dots + q_n$$

Donde:

q_1, q_2, q_n son la tasa de flujo horario referidos a un periodo de tiempo dado menor a una hora.

VHMD: Es la máxima cantidad de vehículos que pasa por un punto dado en una hora.

Factores horarios de máxima demanda (FHMD) para 5 y 15 minutos: Este indicador nos servirá para evaluar las contracciones del flujo vehicular que se llegaron a presentar durante las mediciones ya que es en estas contracciones cuando se tiene el mayor riesgo de sufrir percances.

$$FHMD = \frac{VHMD}{N * Q_tmax}$$

Donde

VHMD= Volúmen horario de máxima demanda

N= Número de periodos de medición durante la hora de máxima demanda, para este caso 4 y 12

Q_tmáx= Volúmen máximo durante la hora de máxima demanda.

Tasas de flujo máxima para 5 y 15 minutos: Se obtendrán de la siguiente manera:

$$q_tmax = \frac{Q_Hmax}{FHMD}$$

Donde:

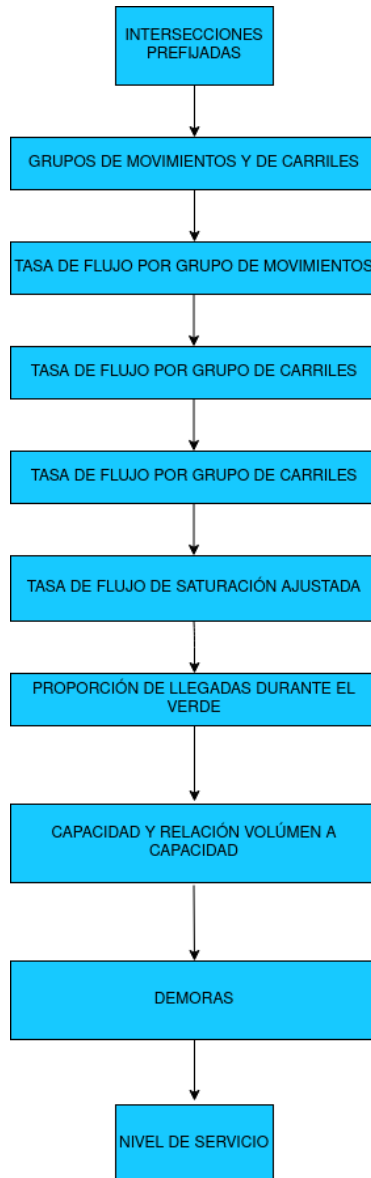
Q_t_máx: Tasa de flujo máxima

Q_hmax: Volúmen máximo dentro de la hora de máximo volúmen en un periodo de 5 o 15 minutos

FHMD: Factor horario de máxima demanda obtenido anteriormente.

Análisis operacional y determinación del nivel de servicio en la intersección

Tomando en cuenta los datos registrados que tenemos procederemos a realizar el análisis operacional de la intersección, lo cual nos ayudará a determinar el nivel de servicio, dicho proceso se realizará mediante el siguiente esquema establecido por el HCM-2010 y recopilado en *Ingeniería de Tránsito y sus Aplicaciones*¹⁷ para la realización de dicha tarea y cuyos pasos y herramientas matemáticas y físicas para llevar a cabo cada uno explicaremos más a detalle en los siguientes párrafos.



Para efectos del análisis operacional del cruceo tendrá las siguientes consideraciones con base en la recopilación de datos hecha:

Llegada aleatoria de vehiculos al cruceo.

El cruceo no cuenta con bahías ni carriles canalizados por lo que los movimientos a la izquierda y derecha son compartidos con los movimientos directos o de frente.

No hay carriles que funcionen como estacionamiento en el cruceo

Hay parabuses en el cruceo.

Tiempos semaforicos en la siguiente tabla:

Semáforos	Verde	Amaillo	Rojo	Total ciclo
S1	50	5	85	140
S2	55	70	5	130
S3	65	60	5	130
S4	30	95	0	125

1. Determinación de grupos de movimientos y grupos de carriles.

Se hará con base en las siguientes reglas

Para grupos de movimientos:

- Un movimiento de vuelta (a izquierda o derecha) que es servido por uno o más carriles exclusivos (no compartidos), deberá designarse como un grupo de movimientos.
- Cualesquiera otros carriles, no asignados a un grupo por la regla anterior, deberán ser combinados en un grupo de movimientos

Para grupos de carriles:

- Un carril (o carriles) exclusivo para dar vuelta (a izquierda o derecha), deberá ser designado como un grupo de carril separado.
- Cualquier carril compartido, deberá ser asignado como un grupo de carril separado.
- Cualesquiera otros carriles que no sean carriles exclusivos de vueltas o carriles compartidos, deberán ser combinados en un grupo de carriles.

2. Determinación de FHMD para cada grupo de movimientos

Determinaremos el flujo para cada grupo de movimientos. Si un movimiento de vuelta es servido por uno o más carriles exclusivos, sin carriles compartidos, entonces la tasa de flujo del movimiento se asigna a un grupo de movimiento, debido a lo anterior y a que aquí no existen carriles exclusivos se asigna el mismo FHMD a todos los grupos.

3. Determinación de la tasa de flujo por grupos de carriles

Al haber carriles compartidos y no existir exclusivos se evaluará el funcionamiento del carril compartido para verificar si funciona como tal o si lo hace como exclusivo con base en las siguientes desigualdades:

$$V_i < \frac{V_a - V_i}{N - 1}$$

Si se cumple la desigualdad anterior todos los carriles funcionan como compartidos.

$$V_i \geq \frac{V_a - V_i}{N - 1}$$

Si se cumple la desigualdad anterior todos los carriles de vuelta a la izquierda funcionarán como exclusivos para tal.

Donde:

V_i : Volumen actual de vuelta a la izquierda (vehículos/h)

V_a : Volumen actual en el acceso (vehículos/h)

N : Número de carriles del acceso

También en este paso se convertirá el volúmen horario a tasas de flujo:

$$v = \frac{V}{FHMD}$$

Donde:

v : tasa de flujo (vehículos/h)

V : volumen horario (vehículos/h)

$FHMD$: factor de la hora de máxima demanda

4. Determinación de la tasa de flujo de saturación ajustada.

La Tasa de flujo de saturación se define como la tasa máxima de flujo, en un acceso o grupo de carriles, que puede pasar a través de la intersección bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y la calle, suponiendo que dicho acceso o grupo de carriles tiene el 100% del tiempo disponible como verde efectivo (esto es, $g/C=1.0$)¹⁷.

Dicha tasa de flujo puede ser obtenida mediante estudios de campo realizados con aforadores automáticos o bien con ayuda de la siguiente expresión cuyas cada una de las variables será explicada más a fondo en lo siguiente:

$$S_i = S_0 N_i f_w f_{hv} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_L f_R f_{Lpb} f_{Rbb}$$

A continuación se explicará una a una el significado de cada una de las variables:

S_i : Tasa de flujo de saturación

S₀: Tasa de saturación base, como hemos explicado anteriormente pero para hacerlo más claro ahora se trata de aquel flujo bajo el cual el tránsito puede circular bajo condiciones prevalecientes, es decir, lo máximo antes de presentar saturación y que el HCM 2010 define, para zonas metropolitanas mayores a 250000 habitantes de 1900 (veh/carril/hora) por lo que, cumpliendo la CDMX con ese requisito tomaremos ese dato.

f_w: Ajuste por ancho de carril, se determina con la siguiente expresión:

$$f_w = 1 + \frac{W - 3.6}{9}$$

Donde W: ancho actual del carril

f_{HV}: Factos de ajuste por vehículos pesados: Se determina con la siguiente expresión:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{HV}(E_T - 1)}$$

Donde:

P_{HV}: porcentaje de vehículos pesados en el correspondiente grupo (%)

E_T: número equivalente de automóviles directos a un vehículo pesado = 2

Para estos efectos no contamos a los autobuses que se detienen para maniobras de ascenso y descenso de pasajeros.

Ajuste por pendiente de acceso

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200}$$

Donde:

f_g: Facto de ajuste por pendiente de acceso

P_g: Pendiente de acceso

Al no existir pendientes de acceso apreciables en nuestro cruce f_g será igual a 1.

Ajuste por maniobras de estacionamiento:

Al no existir, como dijimos, carriles que se usen como estacionamientos el factor de ajuste por maniobras de estacionamiento f_p será igual a 1.

Ajuste por bloqueo de autobuses que paran:

Se determina mediante la siguiente expresión:

$$f_b = \frac{N_i - \frac{14.4N_b}{3600}}{N_i}$$

Donde

N_i : Número de carriles del grupo i

N_b : Número de autobuses que paran (buses/h)

Ajuste por tipo de área:

Para este caso, al encontrarse nuestra intersección fuera de la ciudad se usará un factor de 0.9

Ajuste por utilización de carriles:

Se usa cuando el grupo de carriles tiene más de un carril y la demanda no es igual entre ellos, el cual es nuestro caso ya que en la totalidad de los carriles de cada acceso se realizan todas las maniobras sin carriles exclusivos, se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$f_{LU} = \frac{V_i}{V_1(N_i)}$$

Donde:

V_i : volumen de demanda del grupo de carriles i (vehículos/h)

V_1 : volumen de demanda del carril con el volumen más alto del grupo de carriles

N_i : carriles i (vehículos/h) número de carriles del grupo i .

Ajuste por vueltas a la izquierda:

Se utiliza para carriles compartidos como es nuestro caso, el cual se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$f_L = \frac{1}{1 + (0.05P_L)}$$

Donde:

P_L : Porcentaje de vueltas a la izquierda

Ajuste por vueltas a la derecha:

De igual manera cuando los carriles son compartidos, en nuestro caso así es, por lo que se obtiene con la siguiente expresión:

$$f_R = 1 - 0.15P_R$$

Ajuste por peatones y bicicletas vueltas a la derecha y a la izquierda.

Se utiliza cuando hay conflictos de ocupación en los carriles por parte de peatones y ciclistas, sin embargo en nuestro caso la cantidad de estos fue despreciable por lo que se tomará como 1.

Paso 5. Determinación de la proporción de llegadas durante el verde:

Se determina mediante la siguiente expresión:

$$P_i = R_{pi} \left(\frac{g_i}{C} \right)$$

Donde:

P_i : proporción de los vehículos que llegan durante indicación verde, en el grupo de carriles i .

R_{pi} : relación de grupo de llegada, en el grupo de carriles i .

g_i : tiempo de verde efectivo (s), del grupo de carriles i .

C : Longitud del ciclo (s).

En este caso en particular usaremos, para la relación del grupo de llegada el tipo 3 que dice así:

Llegadas aleatorias. Representa la operación en intersecciones aisladas o no interconectadas, o donde los beneficios de la progresión son mínimos ($R_p = 1.00$).

6. Determinación de la capacidad y la relación volumen a capacidad

Capacidad:

Definida, para nuestro caso particular por grupos de carriles al no haber separación ni carriles exclusivos en la intersección es la tasa máxima de flujo de tránsito que puede pasar por la intersección bajo condiciones prevalecientes de tránsito, calle y semáforo, se obtiene de la siguiente manera:

$$c_i = s_{pi} \left(\frac{g_i}{C} \right)$$

c_i : capacidad del grupo de carriles i (vehículos/h)

s_{pi} : tasa de flujo de saturación del grupo de carriles i (vehículos/hora/verde)

g_i : tiempo de verde efectivo (s), del grupo de carriles i .

C : Longitud del ciclo (s).

Relación volúmen-capacidad:

También llamado grado de saturación y se obtiene con la siguiente ecuación:

$$x_i = \frac{v_{pi}}{\left(s_i \frac{g_i}{C}\right)}$$

Donde:

s_{pi} : tasa de flujo de saturación del grupo de carriles i (vehículos/hora/verde)

g_i : tiempo de verde efectivo (s), del grupo de carriles i.

C: Longitud del ciclo (s).

v_{pi} : Volúmen del grupo de carriles

Grado de saturación de la intersección:

Se obtiene para todo el conjunto de la intersección con la siguiente ecuación:

$$x_c = \frac{C}{C - L} \left(\sum \frac{v}{s} \right)$$

7. Determinación de las demoras:

Se calcula para la siguiente expresión, para nuestro caso es para todo el grupo de carriles puesto que no hay exclusivos ni uno que opere como tal.

$$d_i = d_1 PF + d_2 + d_3$$

d_i : demora media por control del grupo de carriles i (s/veh)

d_1 : demora uniforme (s/veh), suponiendo llegadas uniformes

PF: factor de ajuste por coordinación. Tiene en cuenta los efectos de la coordinación de los semáforos.

d_2 : demora incremental (s/veh), que tiene en cuenta el efecto de llegadas aleatorias y colas sobresaturadas durante el período de análisis.

d_3 : demora por cola inicial (s/veh), que tiene en cuenta las demoras de todos los vehículos debido a la presencia de colas iniciales antes del período de análisis.

Factor de ajuste por coordinación

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$PF = \frac{(1 - P_i) f_{PA}}{1 - \frac{g_i}{C}}$$

P_i : proporción de vehículos que llegan en verde en el grupo de carriles i.

g_i/C : proporción de tiempo verde disponible en el grupo de carriles i

f_{PA} : factor de ajuste suplementario por grupos vehiculares que llegan durante el verde y que en nuestro caso, al tener un régimen tipo 3 es de 1.0.

Demora uniforme:

Es la demora que ocurriría si los vehículos llegaran uniformemente distribuidos, se calcula con la siguiente expresión:

$$d_1 = 0.5C \frac{\left(1 - \frac{g_i}{C}\right)^2}{\left(1 - \left(\min(x_i, 1) \frac{g_i}{C}\right)\right)}$$

Donde:

g_i/C : proporción de tiempo verde disponible en el grupo de carriles i

x_i : Grado de saturación del grupo de carriles.

Demora incremental:

Toma en consideración las llegadas aleatorias, ocasiona que algunos ciclos se sobresaturen y se obtiene de la siguiente manera:

$$d_2 = 900T \left((x_i - 1) + \sqrt{\left((x_i - 1)^2 + \frac{8kIx_i}{c_iT} \right)} \right)$$

Donde:

x_i : Grado de saturación del grupo de carriles.

T : duración del período de análisis (0.25 h)

k : factor de demora incremental que depende del ajuste de los controladores en intersecciones accionadas. $k=0.50$ para intersecciones prefijadas.

I : factor de ajuste por entradas de la intersección corriente arriba. $I=1.00$ para intersecciones aisladas.

El factor de ajuste I se obtiene de la siguiente manera:

$$I = 1 - 0.91(x_u^{2.68})$$

X_u : Media ponderada de las relaciones volúmen-capacidad de tránsito

Demora por cola inicial

Se calcula cuando al principio del periodo de recogida de datos en el sitio existe una cola residual o remanente, es decir cuando el observador llega y hay una cola ya en el acceso, por

lo que esta demora es el tiempo que tardará en despejarse el acceso y se obtiene de la siguiente forma:

$$d_3 = \frac{1800Q_b(1+u)t}{cT}$$

Donde:

Q_b : cola inicial al principio del período T (veh)

c : capacidad (veh/h)

T : duración del período de análisis (0.25 h)

t : duración de la demanda insatisfecha (h.)

u : parámetro de demora

Sin embargo en nuestro caso en ninguno de nuestros accesos se registró una cola inicial en el periodo de medición por lo tanto $t=0$ y $Q_b=0$, por consiguiente $d_3=0$

Demoras agregadas

Para cada acceso se determina mediante la siguiente ecuación:

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^A d_i v_i}{\sum_{i=1}^A v_i}$$

Donde:

A : número de grupos 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 del grupo de carriles i (veh/h)

Ahora bien, para el acceso en su conjunto se hace de la siguiente manera:

$$d_I = \frac{\sum_{i=1}^I d_A v_A}{\sum_{i=1}^I v_A}$$

I : número de grupos de carriles en el acceso A

d_i : demora en el acceso A (s/veh)

d_A : demora en el grupo de carriles i , en el acceso A (s/veh)

v_A : volumen ajustado del grupo de carriles i (veh/h)

Determinación del nivel de servicio:

Se hace con base en la siguiente tabla, comparando su contenido con el resultado en demoras



Nivel de servicio	Demora por control (segundos/vehículo)
A	≤10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-65
E	>55-80
F	>80

Fuente: TRB. *Highway Capacity Manual*. HCM 2010.


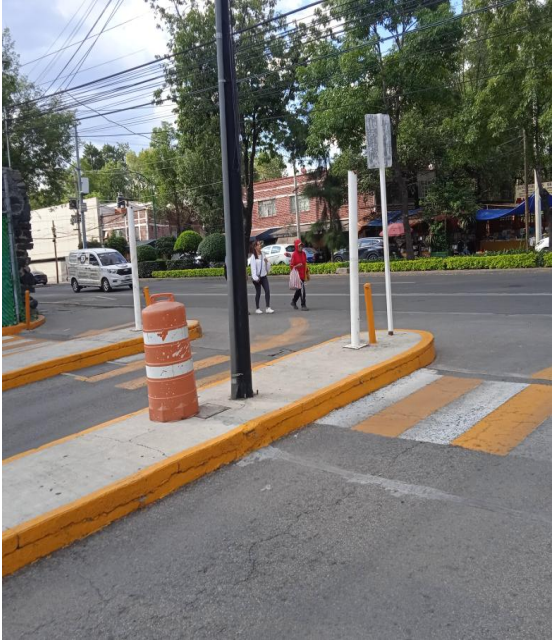
Evaluación Cualitativa



A partir de evidencia gráfica recabada en el cruce se procederá a realizar una evaluación cualitativa del sitio con el fin de identificar riesgos potenciales, primero en cuanto a infraestructura peatonal y después en infraestructura vehicular.



Evaluación cualitativa de las aceras.



Sitio	Problema detectado	Riesgo que representa	Fotografía
Acera 1	<p>En el cruce se encuentran obstáculos que reducen el ancho del que disponen los peatones para cruzar.</p> <p>Las guarniciones de la acera no están pintadas correctamente según el Manual de Señalamiento Vial y Dispositivos de Seguridad (SCT. 2014), revisada en Manual de Señalización y Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras (SCT, 2023)</p>	<p>Reducción del espacio efectivo de los peatones tanto para transitar como para cruzar.</p> <p>El usuario puede realizar trayectorias indebidas que significan riesgos para evitar el objeto.</p> <p>Al no estar la guarnición debidamente señalizada los automovilistas pueden estacionarse y/o realizar acciones indebidas en el sitio en perjuicio de otros usuarios.</p>	
Acera 8	<p>En la acera se encuentran obstáculos como los que se ven en la imagen. También obstruyen el cruce de la acera.</p> <p>En la acera hay tapas de registros levantadas.</p> <p>Las guarniciones de la acera no están pintadas correctamente según el Manual de Señalamiento Vial y Dispositivos de Seguridad (SCT. 2014) revisada en Manual de Señalización y Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras (SCT, 2023)</p> <p>Falta en la intersección una flecha de operación combinada de recta y vuelta a la derecha Manual de Señalamiento Vial y Dispositivos de Seguridad (SCT. 2014) revisada en Manual de Señalización y Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras (SCT, 2023)</p> <p>Invasión del cruce por parte de los automovilistas durante la fase roja del semáforo como se aprecia en la foto.</p>	<p>Reducción del espacio efectivo de los peatones tanto para transitar como para cruzar.</p> <p>Riesgo de accidentes para los peatones, especialmente grupos vulnerables como personas mayores, niños y personas con capacidades diferentes.</p> <p>Debido a la falta de señalizaciones adecuadas los usuarios de la intersección pueden realizar operaciones indebidas y causar conflictos.</p> <p>Al no estar la guarnición debidamente señalizada los automovilistas pueden estacionarse y/o realizar acciones indebidas en el sitio en perjuicio de otros usuarios.</p> <p>Mayor riesgo para los peatones debido a la invasión del cruce.</p>	



Sitio	Problema detectado	Riesgo que representa	Fotografía
Acera 7	<p>En la acera se encuentran obstáculos como los que se ven en la imagen.</p> <p>En la zona de cruce de la acera también hay objetos que obstruyen el paso de los usuarios.</p> <p>En la acera hay una rampa de acceso continuo que no está señalizada</p>	<p>Reducción del espacio efectivo de los peatones al transitar</p> <p>El usuario puede realizar trayectorias indebidas que significan riesgos para evitar el objeto.</p> <p>Existe un mayor riesgo de accidentes por la continua entrada y salida de vehículos del acceso.</p>	
Acera 7	<p>Mal estado de la guarnición y su pintura se encuentra deteriorada Manual de Señalamientos Viales y Dispositivos de Seguridad (SCT, 2014), revisada en Manual de Señalización y Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras (SCT, 2023)</p> <p>El carril de la orilla dispuesto para circulación de autobuses de pasajeros no está delimitado por una doble raya blanca según el Manual de Señalamientos Viales y Dispositivos de Seguridad (SCT, 2014), amarilla en Manual de Señalización y Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras (SCT, 2023) y también se encuentra en malas condiciones.</p> <p>El pavimento de la acera está en muy mal estado. Se observan grietas, parches, irregularidades entre otros.</p>	<p>Mayor riesgo de accidentes viales debido al mal estado del carril, la guarnición y la banqueta.</p> <p>Mayor riesgo de accidentes debido a la incorrecta o inexistente señalización de los elementos viales del lugar.</p> <p>Riesgo de accidentes para los peatones, especialmente grupos vulnerables como personas mayores, niños y personas con capacidades diferentes.</p>	


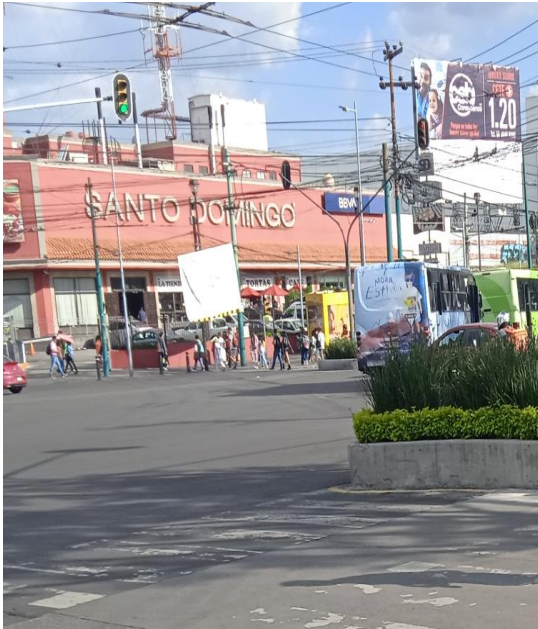
Sitio	Problema detectado	Riesgo que representa	Fotografía
Acera 6	<p>Se observa obstrucción de la acera debido a la presencia de puestos semifijos.</p> <p>La parada de autobús presenta un desnivel respecto a la superficie de la acera.</p> <p>La pintura de las guarniciones de la acera y de los señalamientos horizontales se encuentran en mal estado según el Manual de Señalamiento Vial y Dispositivos de Seguridad (SCT, 2014), revisado en Manual de Señalización y Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras (SCT, 2023)</p> <p>Invasión del cruce por parte de los automovilistas durante la fase roja del semáforo.</p>	<p>Reducción del espacio efectivo de los peatones al transitar</p> <p>El usuario puede realizar trayectorias indebidas que significan riesgos para evitar los obstáculos.</p> <p>Los usuarios pueden sufrir accidentes al transitar por superficies escalonadas.</p> <p>El mal estado de la señalización horizontal puede causar confusión e incidentes entre los usuarios.</p> <p>Mayor riesgo para los peatones debido a la invasión del cruce.</p>	
Acera 6	<p>Los pasos peatonales del acceso para vehículos al supermercado del sitio no son congruentes con la acera en dirección poniente oriente. (Manual de Señalamientos Viales y Dispositivos de Seguridad, SCT, 2014), revisado en Manual de Señalización y Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras (SCT, 2023)</p> <p>En la acera hay autobuses que hacen base continuamente y por periodo de tiempo prolongado.</p>	<p>Como se ve en la imagen esta situación obliga a los peatones a realizar acciones indebidas y de potencial riesgo para su integridad y seguridad.</p> <p>Esto dificulta el tránsito en el sitio tanto de peatones como de automovilistas y aumenta el riesgo de incidentes.</p>	

Sitio	Problema detectado	Riesgo que representa	Fotografía
Acera 5	<p>En la acera se encuentran obstáculos como los que se ven en la imagen. También obstruyen el cruce de la acera.</p> <p>En la acera hay tapas de registros levantadas.</p> <p>En algunas partes de la misma la acera se encuentra en mal estado.</p>	<p>Reducción del espacio efectivo de los peatones tanto como para transitar como para cruzar.</p> <p>Riesgo de accidentes para los peatones, especialmente grupos vulnerables como personas mayores, niños y personas con capacidades diferentes.</p>	
Acera 5	<p>Se observan grietas y bordes en la acera.</p> <p>En la acera hay una base de combis y otra de autobuses urbanos.</p> <p>Las guarniciones de la acera no están pintadas correctamente según el Manual de Señalamiento Vial y Dispositivos de Seguridad (SCT. 2014), revisado en Manual de Señalización y Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras (SCT, 2023)</p>	<p>Riesgo de accidentes para los peatones, especialmente grupos vulnerables como personas mayores, niños y personas con capacidades diferentes.</p> <p>La continua llegada y salida de combis y autobuses del lugar supone un mayor riesgo de incidentes vehículo-peatón en la acera además las filas de pasajeros obstruyen también la acera.</p> <p>Al no estar la guarnición debidamente señalizada los automovilistas pueden estacionarse y/o realizar acciones indebidas en el sitio en perjuicio de otros usuarios.</p>	

Sitio	Problema detectado	Riesgo que representa	Fotografía
Acera 4	<p>En la acera se encuentran obstáculos como los que se ven en la imagen. También obstruyen el cruce de la acera.</p> <p>En la acera hay tapas de registros levantadas.</p> <p>En algunas partes de la misma la acera se encuentra en mal estado.</p> <p>Las guarniciones de la acera no están pintadas correctamente según el Manual de Señalamiento Vial y Dispositivos de Seguridad (SCT. 2014), revisado en Manual de Señalización y Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras (SCT, 2023)</p>	<p>Reducción del espacio efectivo de los peatones tanto como para transitar como para cruzar.</p> <p>Riesgo de accidentes para los peatones, especialmente grupos vulnerables como personas mayores, niños y personas con capacidades diferentes.</p> <p>Al no estar la guarnición debidamente señalizada los automovilistas pueden estacionarse y/o realizar acciones indebidas en el sitio en perjuicio de otros usuarios.</p>	
Acera 4	<p>Se observan rampas de entrada y salida de vehículos sin señales verticales ni horizontales que indiquen dichos elementos.</p> <p>En el sitio existen también dos rutas de transporte público que tienen su base.</p> <p>Invasión del cruce por parte de los automovilistas durante la fase roja del semáforo.</p>	<p>Las continuas operaciones de entrada y salida de los vehículos aumenta el riesgo de incidentes de tránsito del tipo vehículo-peatón.</p> <p>La continua llegada y salida de autobuses del lugar supone un mayor riesgo de incidentes vehículo-peatón en la acera además las filas de pasajeros obstruyen también la acera.</p> <p>Mayor riesgo para los peatones debido a la invasión del cruce.</p>	

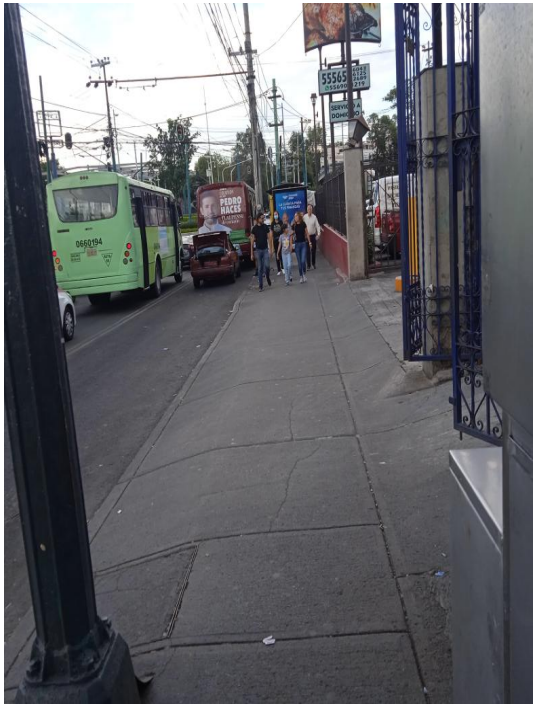

Sitio	Problema detectado	Riesgo que representa	Fotografía
Acera 3	<p>En la acera se encuentran obstáculos como los que se ven en la imagen. También obstruyen el cruce de la acera.</p> <p>En la acera hay tapas de registros levantadas.</p> <p>En algunas partes de la misma la acera se encuentra en mal estado.</p>	<p>Reducción del espacio efectivo de los peatones tanto para transitar como para cruzar.</p> <p>Riesgo de accidentes para los peatones, especialmente grupos vulnerables como personas mayores, niños y personas con capacidades diferentes.</p>	
Acera 3	<p>Se observan rampas de entrada y salida de vehículos sin señales verticales ni horizontales que indiquen dichos elementos.</p> <p>Las guarniciones de la acera no están pintadas correctamente según el Manual de Señalamiento Vial y Dispositivos de Seguridad (SCT. 2014), revisado en Manual de Señalización y Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras de la SCT, 2023</p>	<p>Las continuas operaciones de entrada y salida de los vehículos aumenta el riesgo de incidentes de tránsito del tipo vehículo-peatón.</p> <p>Al no estar la guarnición debidamente señalizada los automovilistas pueden estacionarse y/o realizar acciones indebidas en el sitio en perjuicio de otros usuarios.</p>	



Sitio	Problema detectado	Riesgo que representa	Fotografía
Acera 2	<p>En la acera se encuentran obstáculos como los que se ven en la imagen. También obstruyen el cruce de la acera.</p> <p>En la acera hay tapas de registros levantadas.</p> <p>Al no estar la guarnición debidamente señalizada los automovilistas pueden estacionarse y/o realizar acciones indebidas en el sitio en perjuicio de otros usuarios.</p>	<p>Reducción del espacio efectivo de los peatones tanto como para transitar como para cruzar.</p> <p>Riesgo de accidentes para los peatones, especialmente grupos vulnerables como personas mayores, niños y personas con capacidades diferentes.</p> <p>Al no estar la guarnición debidamente señalizada los automovilistas pueden estacionarse y/o realizar acciones indebidas en el sitio en perjuicio de otros usuarios.</p>	
Todos los cruces	<p>La señalización horizontal de los cruces se encuentra en estado de deterioro.</p>	<p>No existe claridad en la señalización de los cruces de la intersección, aumentando con ello el riesgo de un accidente.</p>	


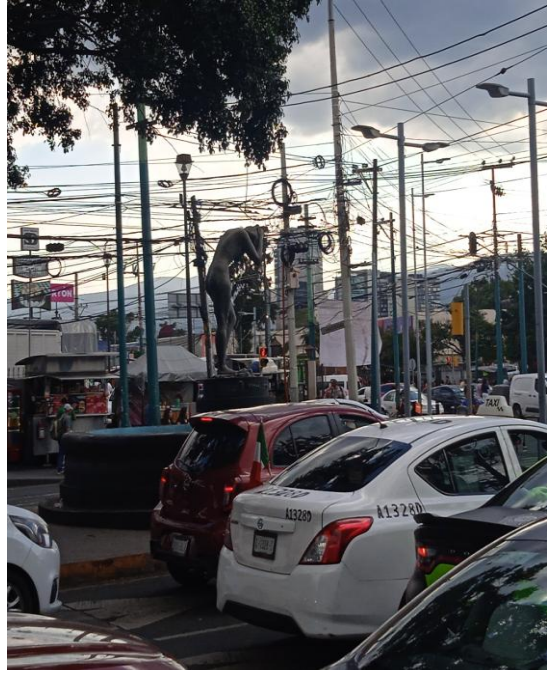
Sitio	Problema detectado	Riesgo que representa	Fotografía
Todas las aceras	<p>La guarnición no está pintada conforme al Manual de Señalamientos Viales y Dispositivos de Seguridad (SCT, 2014), revisado en Manual de Señalización y Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras de la SCT, 2023 y en algunos casos se encuentra en mal estado.</p>	<p>Mayor riesgo de accidentes debido a la incorrecta o inexistente señalización de los elementos viales del lugar, en este caso de las guarniciones.</p>	
Todas las esquinas	<p>Las intersecciones entre las esquinas forman semicírculos lo que aumenta la distancia entre aceras e incentiva a que los peatones realicen recorridos imprudentes para reducir la distancia que recorren</p>	<p>Aumento del riesgo de ocurrencia de incidentes.</p> <p>Entorpecimiento de las operaciones de los automovilistas en aras de evitar incidentes.</p>	

Evaluación cualitativa de las vialidades y la glorietas

Sitio	Problema detectado	Riesgo que representa	Fotografía
Glorieta	<p>En la glorieta de la intersección no existe delimitación de los carriles por los cuales deben circular los automóviles.</p> <p>El área de la Glorieta es demasiado grande.</p> <p>Además de la falta de señalización horizontal hay deficiencia en la señalización vertical.</p>	<p>La falta de señalizaciones horizontales y verticales, por ejemplo los carriles puede existir confusión entre los automovilistas quienes no tendrán la claridad de identificar por donde circular.</p> <p>Relacionado al riesgo anterior al circular en un área tan grande y con la falta de señalizaciones como agravantes existe una mayor confusión y mayor riesgo de accidentes.</p> <p>La falta de señalización y un área tan grande de circulación incrementa los puntos de conflicto incrementando con ello el riesgo de accidentes.</p>	
Glorieta y accesos	<p>Debido a la configuración del cruce en el que la glorieta es el eje rector y a que las avenidas que componen la intersección no cuentan con carriles de desincorporación y retornos los usuarios que dan vuelta a la izquierda o retornan deben entrar a a la Glorieta incrementando con ello el número de usuarios en la misma y ralentizando los tiempos (MPGC 2018, SCT)</p>	<p>Aunado a los riesgos del punto anterior al incrementarse el número de usuarios en la glorieta se ralentizan los tiempos y se incrementa el riesgo de incidentes viales, ya que la glorieta no cuenta con una señalización adecuada.</p>	

Sitio	Problema detectado	Riesgo que representa	Fotografía
Todos los accesos	<p>No hay carriles de vuelta a la derecha bien definidos. Los carriles que están a la extrema derecha de las avenidas sirven como carriles de vuelta a la derecha, seguir derecho y como exclusivos de autobuses, dicha situación causa una ralentización de las operaciones de los automovilistas al no tener certeza de quienes siguen derecho y quienes dan vuelta a la derecha.</p>	<p>Además de ralentizar las operaciones como ya se ha mencionado en problema detectado aumenta el riesgo de accidentes viales al existir una confusión y poca claridad en las operaciones que realizan los usuarios. Más importante, además de riesgo de incidentes entre automovilistas existe un riesgo importante de accidentes entre vehículos y peatones ya que el mayor punto de conflicto se ubica en los cruces de la intersección</p>	
Accesos a la Glorieta	<p>Los problemas detectados en los puntos anteriores causan en los accesos congestión vehicular, esto debido a que las operaciones en la Glorieta se ralentizan causando por consecuencia que el tránsito en los accesos se ralenticen también.</p>	<p>La congestión vehicular representa un mayor riesgo de accidentes viales entre automovilistas y entre automovilistas y peatones.</p> <p>Las intersecciones que funcionan de manera deficiente representan una posible falla sistémica en una red vial.</p>	

Sitio	Problema detectado	Riesgo que representa	Fotografía
Glorieta y sus accesos	Los semáforos debido a como están instalados en la intersección no son lo suficientemente visibles para los automovilistas.	Los automovilistas al no tener una correcta ni suficiente apreciación de los semáforos pueden incurrir en operaciones indebidas, trayendo con ellos como en los puntos anteriores un mayor riesgo de incidentes viales, tanto entre automovilistas como entre diferentes tipos de usuario.	
Salida 1 (norte-sur) Acceso 3 (sur-norte)	En los carriles de extrema derecha en la salida 1, en dirección norte a sur y en el acceso 3 de dirección sur a norte se ubican los derroteros de las rutas que tienen su terminal en la estación Miguel Ángel de Quevedo, obstruyendo un carril de circulación y los operadores realizan movimientos imprudentes y riesgosos.	Al ocupar un carril de la calzada los transportistas generan cuellos de botella y obstrucción del tránsito disminuyendo con ello la eficiencia y velocidad de circulación del tránsito. A su vez la llegada y salida continua de vehículos de los derroteros ya de por sí irregulares generan nuevos puntos de conflicto entre vehículos y entre vehículos y peatones por lo que, nuevamente se incrementa el riesgo de accidentes.	

Sitio	Problema detectado	Riesgo que representa	Fotografía
<p>Accesos 4, 3 y Salida 3 y 1</p>	<p>Hay rampas de entrada y salida en los accesos 3, 4 y las salidas 3 y 1, dichas rampas de acceso/salida están mal señalizadas o no tienen señalización adecuada además de que están en las proximidades de la Glorieta.</p>	<p>Al haber rampas de entrada y salida o, en su defecto accesos y salidas de los centros comerciales en las cercanías de la Glorieta se incrementan los puntos de conflicto pues se tienen operaciones de divergencia/convergencia debido a la existencia de estos elementos y, aunado a que los carriles de extrema derecha no están debidamente identificados para una determinada operación aumenta el riesgo de accidentes viales y ralentiza las operaciones.</p>	
<p>Todas las ramificaciones de la intersección</p>	<p>Hay pocos elementos de señalización vertical de destino, que en el caso de este sitio debe usarse la señalización de bandera doble (Manual de Señalamiento, SCT, 2014)</p>	<p>La ausencia de este tipo de señalización impide a los usuarios decidir o tener claridad de la operación que realizarán, potenciando con ello el riesgo de accidentes.</p>	

Procesamiento de datos recopilados en sitio

Aforos peatonales e Inventario vial:

Inventario realizado el día 2 de septiembre de 2023, corroborado el día 4 de mayo de 2024.
Aforos peatonales realizados el día 4 de mayo de 2024.

Acera	Elemento	Cantidad	Ancho no útil	Acera	Elemento	Cantidad	Ancho no útil
1	Poste de alumbrado	5	0.75	2	Poste de alumbrado	10	0.75
	Postes de semáforo	1	1.05		Parabuses/ Bancas	4	1.65
	Señales de tránsito	2	0.61		Postes de semáforo	2	1.05
	Hidrantes	1	0.75		Cabinas telefónicas	1	1.22
	Árboles	si (todos en jardinería)	0.9		Jardineras	6	1.52
	Jardineras	1	1.52		Nota		
		Ancho no útil promedio	0.93		Jardineras dobles	Ancho no útil promedio	1.238

Tabla 7: Ancho no útil en acera 1 y 2

Acera	Elemento	Cantidad	Ancho no útil	Acera	Elemento	Cantidad	Ancho no útil
3	Poste de alumbrado	13	0.75	4	Poste de alumbrado	10	0.75
	Árboles	3	0.52		Poste de semáforo	1	1.05
	Puestos callejeros	10	1.5		Señales de tránsito	1	0.61
	Postes de semáforo	1	1.05		Parabuses/ Bancas	2	1.95
					Escaleras de metro	1	1.66
	Nota			Puestos callejero	8	1.5	
	Acera en obras	Ancho no útil promedio	0.955			Ancho no útil promedio	1.25

Tabla 8: Ancho no útil en aceras 3 y 4

Acera	Elemento	Cantidad	Ancho no útil	Acera	Elemento	Cantidad	Ancho no útil
5	Poste de alumbrado	7	0.75	6	Poste de alumbrado	5	0.75
	Postes de semáforo	1	1.05		Postes de semáforo	2	1.05
	Cabina telefónica	1	1.22		Cabina telefónica	1	1.22
	Escaleras de metro	2	1.95		Parabuses/ Bancas	3	1.65
	Árboles	2	0.9			Ancho no útil promedio	1.168
		Ancho no útil promedio	1.174				

Tabla 9: Ancho no útil en aceras 5 y 6

Acera	Elemento	Cantidad	Ancho no útil	Acera	Elemento	Cantidad	Ancho no útil
7	Poste de alumbrado	7	0.75	8	Poste de alumbrado	4	0.75
	Cabinas telefónicas	1	1.22		Cabinas telefónicas	1	1.22
	Postes de semáforo	1	1.05		Hidrantes	1	0.75
	Parabuses/ Bancas	2	1.65		Parabuses/ Bancas	2	1.65
	Árboles	3	0.9		Jardineras	4	1.52
	Puestos callejeros	4	1.5		Postes de semáforo	1	1.05

Tabla 10: Ancho no útil en aceras 7 y 8

Acera	Tiempo	Peatones	Total
a1	5	5	30
	10	10	
	15	15	
a2	5	13	33
	10	20	
	15	18	
a3	5	131	495
	10	168	
	15	196	
a4	5	79	245
	10	90	
	15	76	

Tabla 11: Aforos peatonales en aceras 1, 2, 3 y 4

Acera	Tiempo	Peatones	Total
a5	5	116	290
	10	79	
	15	95	
a6	5	64	178
	10	52	
	15	62	
a7	5	4	21
	10	11	
	15	6	
a8	5	24	54
	10	15	
	15	15	

Tabla 12: Aforos peatonales en aceras 5, 6, 7 y 8

El ancho útil se determina con ayuda de la siguiente tabla:

Factores de ajuste de la anchura de las vías peatonales por obstáculos fijos	
Obstáculo	Anchura promedio no útil (metros)
Mobiliario urbano	
Postes de alumbrado público	0.75-1.10
Postes y cajas de control de semáforos	0.90-1.22
Alarmas contra incendio	0.75-1.22
Hidrantes	0.75-0.91
Señalamiento de tránsito	0.61-0.75
Parguímetros	0.61
Buzones postales (0.5 x 0.5 m)	0.97-1.13
Cabinas telefónicas (0.8 x 0.8)	1.22
Papeleras (periódico)	0.91
Bancas	0.52
Accesos públicos del metro	
Escalera del metro	1.66-2.13
Rejillas de ventilación del metro	1.83
Pasajes	
Árboles	0.61-1.22
Jardineras	1.52

Tabla 13: Ancho no útil según cada mueble urbano, HCM 2010

Para la acera 1 tenemos los siguientes obstáculos con las siguientes dimensiones:

Obstáculo	Ancho no útil (m)
Poste de alumbrado	0.75
Poste de semáforo	1.05
Señales de tránsito	0.61
Hidrantes	0.75
Árboles	0.90
Jardineras	1.52

Obtenemos el ancho no útil promedio:

$$\frac{0.75 + 1.05 + 0.61 + 0.75 + 0.90 + 1.52}{6} = \frac{5.58}{6} = 0.93m$$

Tenemos que, para la acera a1 el ancho no útil es de 0.93 m.

Mediante la siguiente expresión determinamos el ancho útil:

$$A_e = A_t - A_l$$

Donde

A_e = Ancho efectivo de la acera en m. Dato a obtenr.

A_t = Ancho total de la acera en m. para la acera a1: 3.00 m.

A_l = Ancho no útil de la acera en m, para la acera a1: 0.878 m.

$$A_e = 3 - 0.93 = 2.07m.$$

Para determinar la Intensidad Unitaria en pt/min/m se usará la siguiente expresión:

$$I = \frac{I_{p15}}{15A_e}$$

Para lo cual:

I_{p15} = 30 peatones

A_e = 2.07 m.

Sustituyendo:

$$I = \frac{30}{15(2.07)} = 0.97 \text{ peat/min/m}$$

Para obtener la tasa de flujo utilizamos la siguiente expresión:

$$I_{pe} = I + 13.12$$

Sustituyendo:

$$I_{pe} = 0.97 + 13.12 = 14.09 \text{ peat/min/m}$$

Ahora para obtener el nivel de servicio comparamos con la siguiente tabla (HCM 2010):

Nivel de Servicio	Tasa de flujo (peat/min/metro)
A	<=16
B	>16-23
C	>23-33
D	>33-49
E	>49-75
F	Variable

Cotejando con la tabla Tenemos que el nivel de servicio para la acera a1 es A

Realizando el mismo procedimiento para las demás aceras obtenemos la siguiente tabla:

Nivel de servicio en las aceras								
Acera	Ancho total (m)	Ancho no útil (m)	Ancho efectivo (m)	Peatones en 15 min. (P_{15})	15A_e	$I = P_{15} / 15A_e$	$I_{pe} = I + 13.12$	Nivel de servicio según tabla
a1	3	0.93	2.07	30	31.05	0.97	14.09	A
a2	4.9	1.238	3.662	33	54.93	0.6	13.72	A
a3	2.1	0.955	1.145	495	17.18	28.81	41.93	D
a4	2.98	1.25	1.73	245	25.95	9.44	22.56	B
a5	2.15	1.174	0.976	290	14.64	19.81	32.93	D
a6	2.98	1.168	1.812	178	27.18	6.55	19.67	B
a7	3.96	1.178	2.782	21	41.73	0.5	13.62	A
a8	3.83	1.157	2.673	54	40.1	1.35	14.47	A

Podemos apreciar que, cuatro de las aceras que existen en el sitio presentan el mejor nivel de servicio posible, dos presentan el nivel B, el segundo mejor y dos el D, el tercero peor.

Aforos Vehiculares

Se realizaron en el sitio de estudio el día 18 de mayo de 2024 de las 16:00 a las 18:30 hrs obteniendo los siguientes resultados:

Trabajo	Aforo vehicular		Fecha	18 de mayo de 2024		Ubicación	Av. Universidad y Av. Miguel Ángel de Quevedo					Acceso S1	Av. Universidad dir. Norte a Sur	
Realizó	Sergio Palma Matadamas		Hora	16:00-18:30	Hrs.	Alcaldías Coyoacán y Álvaro Obregón, CDMX								
Hora	Tiempo	Vehiculos	Vehiculos (15 min)	Vehiculos (60 min)	Llegadas (λ)	Servicio (μ)	Autobuses	%Autobuses	Vuelta izquierda	Directo	Vuelta derecha	Vuelta izquierda (pesados)	Directo (pesados)	Vuelta derecha (pesados)
17-18	0 a 5	149	426	1410	149	118	2	1.34%	2	104	10	0	2	0
	5 a 10	162			162	120	1	0.62%	2	109	8	0	1	0
	10 a 15	115			115	69	2	1.74%	0	58	9	0	1	1
	15 a 20	101			101	91	0	0.00%	0	84	7	0	0	0
	20 a 25	99	306		99	90	2	2.02%	1	80	7	1	1	0
	25 a 30	106			106	80	1	0.94%	0	72	7	0	1	0
	30 a 35	125			125	85	1	0.80%	2	74	8	0	1	0
	35 a 40	116			116	83	1	0.86%	2	69	11	0	1	0
	40 a 45	109	350		109	75	1	0.92%	0	68	6	0	1	0
	45 a 50	97			97	80	2	2.06%	0	68	10	0	2	0
	50 a 55	120			120	92	1	0.83%	0	82	9	0	1	0
	55 a 60	111			111	88	0	0.00%	1	77	10	0	0	0

Tabla 14: Aforos vehiculares en acceso S1

Trabajo	Medición de tiempos		Fecha	18 de mayo de 2024		Ubicación	Av. Universidad y Av. Miguel Ángel de Quevedo					Acceso S2	Av. Miguel Ángel de Quevedo dir. Oriente a Poniente	
Realizó	Sergio Palma Matadamas		Hora	17-19:30	Hrs.	Alcaldías Coyoacán y Álvaro Obregón, CDMX								
Hora	Tiempo	Vehiculos	Vehiculos (15 min)	Vehiculos (60 min)	Llegadas (λ)	Servicio (μ)	Autobuses	%Autobuses	Vuelta izquierda	Directo	Vuelta derecha	Vuelta izquierda (pesados)	Directo (pesados)	Vuelta derecha (pesados)
17 a 18	15 a 20	143	474	1757	143	132	2	1.20%	0	120	10	0	2	0
	20 a 25	166			166	135	3	1.82%	1	124	7	0	2	1
	25 a 30	165			165	132	1	0.65%	0	123	8	0	1	0
	30 a 35	154			154	113	2	1.45%	0	105	6	0	2	0
	35 a 40	138	462		138	137	1	0.59%	0	128	8	0	1	0
	40 a 45	170			170	118	2	1.34%	0	106	10	0	2	0
	45 a 50	149			149	107	1	0.78%	2	95	9	0	1	0
	50 a 55	128			128	109	0	0.00%	2	98	9	0	0	0
55 a 60	131	408	131	138	2	1.26%	1	123	12	0	2	0		
0 a 5	159		159	115	3	2.14%	0	105	8	0	2	1		
5 a 10	140		140	129	1	0.65%	1	119	7	0	1	0		
10 a 15	155		155	96	1	0.65%	0	89	6	0	1	0		

Tabla 15: Aforos vehiculares en acceso S2

Trabajo	Aforo vehicular	Fecha	18 de mayo de 2024		Ubicación	Av. Universidad y Av. Miguel Ángel de Quevedo						Acceso S3		Av. Universidad dir. Sur a Norte	
Realizó	Sergio Palma Matadamas	Hora	16:00-18:30	Hrs.		Alcaldías Coyoacán y Álvaro Obregón, CDMX									
	Tiempo	Vehículos	Vehículos (15 mn)	Vehículos (60 mn)	Llegadas (λ)	Servicio (μ)	Autobuses	%Autobuses	Vuelta izquierda	Directo	Vuelta derecha	Vuelta izquierda (pesados)	Directo (pesados)	Vuelta derecha (pesados)	
17-18	0 a 5	123	334	1216	123	80	2	1.63%	0	72	6	0	2	0	
	5 a 10	80			80	55	3	3.75%	0	47	5	0	2	1	
	10 a 15	131			131	121	3	2.29%	3	108	7	0	3	0	
	15 a 20	100	317		100	79	3	3.00%	1	66	9	0	3	0	
	20 a 25	102			102	85	4	3.92%	2	70	9	0	4	0	
	25 a 30	115			115	95	2	1.74%	2	86	5	0	2	0	
	30 a 35	103	290		103	81	2	1.94%	0	72	7	0	1	1	
	35 a 40	95			95	78	4	4.21%	1	64	9	0	4	0	
	40 a 45	92			92	74	2	2.17%	1	64	7	0	1	1	
	45 a 50	88	275		88	66	2	2.27%	0	53	11	0	2	0	
50 a 55	104	104		76	2	1.92%	0	64	10	0	2	0			

Tabla 16: Aforos vehiculares en acceso S3

Trabajo	Medición de tiempos	Fecha	18 de mayo de 2024		Ubicación	Av. Universidad y Av. Miguel Ángel de Quevedo						Acceso S2		Av. Miguel Ángel de Quevedo dir. Poniente a Oriente	
Realizó	Sergio Palma Matadamas	Hora	17-19:30	Hrs.		Alcaldías Coyoacán y Álvaro Obregón, CDMX									
	Tiempo	Vehículos	Vehículos (15 mn)	Vehículos (60 mn)	Llegadas (λ)	Servicio (μ)	Autobuses	%Autobuses	Vuelta izquierda	Directo	Vuelta derecha	Vuelta izquierda (pesados)	Directo (pesados)	Vuelta derecha (pesados)	
16 A 17	45 a 50	75	230	230	75	56	1	1.33%	0	46	9	0	1	0	
	50 a 55	93			93	77	2	2.15%	0	69	7	0	1	0	
	55 a 60	62			62	42	1	1.61%	0	35	6	0	1	0	
17-18	0 a 5	59	202	806	59	44	0	0.00%	0	40	4	0	0	0	
	5 a 10	58			58	44	2	3.45%	1	36	5	0	2	0	
	10 a 15	85			85	60	1	1.18%	0	51	8	0	0	1	
	15 a 20	75	195		75	63	1	1.33%	0	53	9	0	1	0	
	20 a 25	68			68	56	1	1.47%	0	48	7	0	0	1	
	25 a 30	52			52	48	1	1.92%	0	41	6	0	1	0	
	30 a 35	67	213		67	51	2	2.99%	1	42	6	0	1	1	
	35 a 40	76			76	62	1	1.32%	0	56	5	0	1	0	
	40 a 45	70			70	55	1	1.43%	0	49	5	0	1	0	

Tabla 17: Aforos vehiculares en acceso S4

En las tablas observamos celdas coloreadas en colores azules las cuales corresponden a las horas de máxima demanda dentro del total de horas en que fueron tomados los aforos, es decir la hora para cada cruce en las cuales se registro el mayor número de vehículos.

A continuación y con base en dichos datos se analizaron los datos a partir de los cuales fueron obtenidos el Volúmen Horario de Máxima Demanda (VHMD) referido para t=15 minutos y t=5 minutos (Q₁₅ y Q₅) así como los Factores Horarios de Máxima Demanda (FHMD) referido para t=15 minutos y t=5 minutos, dichos resultados se muestran en las siguientes tablas:

Cruce	Datos	Tiempo	Tiempo (Intervalos 15 min)	Vehículos	Vehículos (15 min)	Tasa de flujo (veh/hora) para 5 min (q ₅) (veh/h)	Tasas de flujo para cada periodo (Q ₅) (veh/h)	Tasa de flujo (veh/hora) para 15 min (q ₁₅) (veh/h)	Tasas de flujo para cada periodo (Q ₁₅) (veh/h)	Factor horario de Máxima Demanda para 15 min (FHMD_15)
S1	Avenida Universidad	5	15	149	426	1788	1410	1704	1410	0.8275
		10		162		1944				
		15		115		1380				
		20		101		1212				
	Dirección Norte-Sur	25	30	99	306	1188	Volumen Horario de Máxima demanda Referido para t=5 min (Q ₅) (veh/5 min)	1224	Volumen Horario de máxima demanda Referido para t=15 min (Q ₁₅) (veh/15 min)	Factor horario de Máxima Demanda para 5 min (FHMD_5)
		30		106		1272				
		35		125		1500				
		40		116		1392				
	4 Camiles	45	45	109	350	1308	117.45	1400	352.5	0.7253
		50		97		1164				
		55		120		1440				
		60		111		1332				

Tabla 18: Resultados en Acceso S1

Cruce	Datos	Tiempo	Tiempo (Intervalos 15 min)	Vehículos	Vehículos (15 min)	Tasa de flujo (veh/hora) para 5 min (q ₅) (veh/h)	Tasas de flujo para cada periodo (Q ₅) (veh/h)	Tasa de flujo (veh/hora) para 15 min (q ₁₅) (veh/h)	Tasas de flujo para cada periodo (Q ₁₅) (veh/h)	Factor horario de Máxima Demanda para 15 min (FHMD_15)
S2	Avenida Miguel Ángel de Quevedo	5	15	143	474	1716	1798	1896	1798	0.9483
		10		166		1992				
		15		165		1980				
		20		154		1848				
	Dirección Oriente Poniente	25	30	138	462	1656	Volumen Horario de Máxima demanda Referido para t=5 min (Q ₅) (veh/5 min)	1848	Volumen Horario de máxima demanda Referido para t=15 min (Q ₁₅) (veh/15 min)	Factor horario de Máxima Demanda para 5 min (FHMD_5)
		30		170		2040				
		35		149		1788				
		40		128		1536				
	4 Camiles	45	45	131	408	1572	149.77	1816	449.5	0.8814
		50		159		1908				
		55		140		1680				
		60		155		1860				

Tabla 19: Resultados en acceso S2

Cruce	Datos	Tiempo	Tiempo (Intervalos 15 min)	Vehiculos	Vehiculos (15 min)	Tasa de flujo (veh/hora) para 5 min (g _s) (veh/h)	Tasas de flujo para cada periodo (Q _s) (veh/h)	Tasa de flujo (veh/hora) para 15 min (g _s) (veh/h)	Tasas de flujo para cada periodo (Q ₁₅) (veh/h)	Factor horario de Máxima Demanda para 15 min (FHMD_15)
S3	Avenida Universidad	5	15	123	334	1476	1216	1336	1216	0.9102
		10		80		960				
		15		131		1572				
		20	100	1200						
		25	102	1224						
	Dirección Sur-Norte	30	30	115	317	1380	Volumen Horario de Máxima demanda Referido para t=5 min (Q ₅) (Veh/5 min)	1268	Volumen Horario de máxima demanda Referido para t=15 min (Q ₁₅) (Veh/15 min)	Factor horario de Máxima Demanda para 5 min (FHMD_5)
		35	45	103	290	1236				
		40	95	1140						
		45	92	1104						
	4 Camiles	50	60	88	275	1056	101.29	1100	304	0.7735
		55		104		1248				
		60		83		996				

Tabla 20: Resultados en acceso S3

Cruce	Datos	Tiempo	Tiempo (Intervalos 15 min)	Vehiculos	Vehiculos (15 min)	Tasa de flujo (veh/hora) para 5 min (g _s) (veh/h)	Tasas de flujo para cada periodo (Q _s) (veh/h)	Tasa de flujo (veh/hora) para 15 min (g _s) (veh/h)	Tasas de flujo para cada periodo (Q ₁₅) (veh/h)	Factor horario de Máxima Demanda para 15 min (FHMD_15)
S4	Avenida Miguel Angel de Quevedo	5	15	75	230	900	840	920	840	0.913
		10		93		1116				
		15		62		744				
		20	59	708						
		25	58	696						
	Dirección Poniente Oriente	30	30	85	202	1020	Volumen Horario de Máxima demanda Referido para t=5 min (Q ₅) (Veh/5 min)	808	Volumen Horario de máxima demanda Referido para t=15 min (Q ₁₅) (Veh/15 min)	Factor horario de Máxima Demanda para 5 min (FHMD_5)
		35	45	75	195	900				
		40	68	816						
		45	52	624						
	3 Camiles	50	60	67	213	804	69.97	852	210	0.7527
		55		76		912				
		60		70		840				

Tabla 21: Resultados en acceso S4

Análisis Operacional del cruce

A continuación y siguiendo el procedimiento descrito en la Metodología de trabajo se presenta el análisis operacional de la intersección realizado con los datos recabados:

Accesos	Norte			Sur			Oriente			Poniente		
	Norte-Sur			Sur-Norte			Oriente-Poniente			Poniente-Oriente		
Sentido del flujo	L	T	R	L	T	R	L	T	R	L	T	R
Grupos de movimientos	10	945	102	10	815	93	7	1364	102	2	566	77
Volumenes (Veh/h)	349.00			302.67			488.67			214.33		
Va-Vi/N-1	120<300.67			124<345			80<240.67			37<115.33		
Desigualdad	120<300.67			124<345			80<240.67			37<115.33		
Conclusión	Un grupo de carriles para todo el acceso			Un grupo de carriles para todo el acceso			Un grupo de carriles para todo el acceso			Un grupo de carriles para todo el acceso		
FDOM	0.8275	0.8275	0.8275	0.9102	0.9102	0.9102	0.9483	0.9483	0.9483	0.913	0.913	0.913
Flujo Ajustado	12	1142	123	11	895	102	7	1438	108	2	620	84
Vehículos pesados	1	12	1	0	29	4	0	18	2	0	10	3
PHV	10.00%	1.27%	0.98%	0.00%	3.56%	4.30%	0.00%	1.32%	1.96%	0.00%	1.77%	3.90%
Grupo de carriles	LTR			LTR			LTR			LTR		
Número de carriles por grupo	4			4			4			3		
Flujo del grupo (veh/h)	1277			1008			1553			706		
Proporción de vueltas	1.00%	89.00%	10.00%	1.00%	89.00%	10.00%	0.00%	93.00%	7.00%	0.00%	88.00%	12.00%

Accesos	Norte			Sur			Oriente			Poniente					
	Norte-Sur			Sur-Norte			Oriente-Poniente			Poniente-Oriente					
Sentido del flujo	L	T	R	L	T	R	L	T	R	L	T	R			
Grupos de movimientos	3	3	3.25	2.8	2.3	3.6	3.5	3.25	2	2.5	3.15	3.5	3	3.3	3.2
Anchos de carriles (m)	3	3	3.25	2.8	2.3	3.6	3.5	3.25	2	2.5	3.15	3.5	3	3.3	3.2

Accesos	Norte			Sur			Oriente			Poniente					
	Norte-Sur			Sur-Norte			Oriente-Poniente			Poniente-Oriente					
Sentido del flujo	L	T	R	L	T	R	L	T	R	L	T	R			
Grupos de movimientos	3	3	3.25	2.8	2.3	3.6	3.5	3.25	2	2.5	3.15	3.5	3	3.3	3.2
Anchos de carriles (m)	3	3	3.25	2.8	2.3	3.6	3.5	3.25	2	2.5	3.15	3.5	3	3.3	3.2
Grupo de carriles	LTR			LTR			LTR			LTR					
Número de carriles por grupo	4			4			4			3					
Flujo de saturación base (veh/h, verde/carriles) (para condiciones ideales)	1900			1900			1900			1900					
Factor de ajuste por ancho de carriles	0.93	0.95	0.91	0.86	0.99	0.96	0.82	0.91	0.99	0.93	0.97	0.96			
Promedio de factor de ajuste por ancho de carriles	0.93			0.937			0.907			0.953					
Factor de ajuste por vehículos pesados	0.999	0.9999	0.9999	1	0.9996	0.9996	1	0.9999	0.9998	1	0.9998	0.9996			
Promedio de Factor de ajuste por vehículos pesados	0.9996			1			1			1					
Ajuste por pendiente de acceso	1			1.00005			0.9999			1					
Factor de ajuste por maniobras de estacionamiento	1			1			1			1					
Número de Autobuses	10			15			22			11					
Factor de ajuste por utilización de carriles	0.855			0.886			0.916			0.853					
Factor de ajuste por bloque de autobuses	0.999			0.999			0.998			0.999					
Factor de ajuste por vueltas a la izquierda	1			1			1			1					
Factor de ajuste por vueltas a la derecha	0.985			0.985			0.9895			0.982					
Factor de ajuste por tipo de área	0.9			0.9			0.9			0.9					
Factor de ajuste por ciclistas y peatones	1			1			1			1					
Flujo de saturación ajustado	5349.746			5587.954			5611.278			4091.064					

Semáforos	Verde	Amarillo	Rojo	Total ciclo	Tiempo promedio semáforos	
					Ciclo promedio (s)	Tiempo perdido por ciclo (s)
S1	50	5	85	140	131.25	
S2	55	70	5	130	3.5	
S3	65	60	5	130		
S4	30	95	0	125		

Accesos	Norte			Sur			Oriente			Poniente		
	Norte-Sur			Sur-Norte			Oriente-Poniente			Poniente-Oriente		
Grupos de movimientos	L	T	R	L	T	R	L	T	R	L	T	R
Grupo de carriles	LTR			LTR			LTR			LTR		
Número de carriles por grupo	4			4			4			3		
Flujo de saturación ajustado	5349.746			5587.954			5611.278			4091.064		
Tipo de fase	Prefijada			Prefijada			Prefijada			Prefijada		
Flujo del grupo (veh/h)	1277			1008			1553			706		
Tiempo de verde efectivo (s)	46.5			51.5			61.5			26.5		
Relación verde/ciclo	0.332			0.396			0.473			0.212		
Relación grupo de saturación	1			1			1			1		
Proporción de llegadas en verde	0.332			0.396			0.473			0.212		
Capacidad del grupo de carriles	1776.116			2212.83			2654.134			867.306		
Relación volumen a capacidad	0.719			0.456			0.585			0.814		
Relación de flujo	0.239			0.18			0.277			0.173		
Grado de saturación de la intersección	0.893											

Suma relación volumen-capacidad	2.574			
Peso de cada relación volumen-capacidad	27.90%	17.70%	22.70%	31.60%
Peso de cada relación volumen-capacidad*Volumen-capacidad	0.201	0.081	0.133	0.257
Media ponderada Xu	0.673			

Accesos	Norte			Sur			Oriente			Poniente		
	Norte-Sur			Sur-Norte			Oriente-Poniente			Poniente-Oriente		
Sentido del flujo	L	T	R	L	T	R	L	T	R	L	T	R
Grupos de movimientos												
Grupo de carriles	LTR			LTR			LTR			LTR		
Flujo del grupo (veh/h)	1277			1008			1553			706		
Relación verde/ciclo	0.332			0.396			0.473			0.212		
Capacidad del grupo de carriles	1776.116			2212.83			2654.134			867.306		
Relación volumen a capacidad (Xi)	0.719			0.456			0.585			0.814		
Proporción de llegadas en verde	0.332			0.396			0.473			0.212		
Ciclo total (s)	140			130			130			125		
Demora uniforme d1 (seg/veh)	46.76			39.26			34.255			49.25		
Factor por ajuste de coordinación PF	1			1			1			1		
Factor de ajuste I	0.685			0.685			0.685			0.685		
Demora incremental d2 (s/veh)	3.299			1.397			1.521			9.413		
Demora por cola inicial d3 (s/veh)	0			0			0			0		
Demora media por control de acceso (s/veh)	50.059			40.657			35.776			58.663		
Nivel de servicio	D			D			D			E		
Demora de la intersección	44.429											
Nivel de servicio	D											

Diagnóstico de los problemas existentes en el sitio

Una vez procesados los datos recolectados en sitio mediante métodos cuantitativos y cualitativos se procede a realizar el diagnóstico de los problemas existentes en el sitio.

A continuación se presenta la tabla de resumen de la Evaluación Cualitativa del sitio. Se puede apreciar que, tanto las aceras como la glorieta y las vialidades del sitio presentan serios problemas como diseño inadecuado, saturación de usuarios y mal estado en general.

Aceras	Glorieta y Avenidas que conforman la intersección
Las aceras presentan en general un mal estado en su infraestructura, por ejemplo tapas de registro levantadas o hundidas o aceras agrietadas lo cual supone un peligro para el usuario.	La glorieta central presenta problemas tales como tener un área bastante extensa y no poseer señalización de control vial debida por lo que los puntos de conflicto potencial son tantos como los puede haber al contrario de una intersección ordenada.
3 de las 8 aceras que componen la intersección presentan una saturación de puestos ambulantes instalados en ellas representando con ello la obstaculización de dichas aceras y entorpeciendo las operaciones de los peatones.	Las avenidas que componen a la intersección no cuentan con carriles de vuelta a la derecha o no están debidamente señalizados teniendo bases de transporte concesionado en los carriles de extrema derecha dando como resultado el entorpecimiento de las operaciones de convergencia y divergencia en las avenidas.
En las zonas de cruce de las aceras hay obstáculos tales como postes de luz y postes de teléfono lo cual al igual que los puestos ambulantes representan el entorpecimiento de las operaciones de los peatones.	Los usuarios de la intersección si desean realizar operaciones de retomo o cambios de avenida entre vialidades que no son <u>adyacentes</u> entre sí deben entrar a la intersección incrementando el número de usuarios dentro de la misma y contribuyendo a potenciar sus problemas.
Las aceras no tienen esquinas directas entre sí sino que están conectadas mediante aceras que son cuartos de círculo en concordancia con la geometría de la glorieta lo que aumenta las distancias que los usuarios deben caminar y por tanto al buscar reducir las distancias que deben caminar realizan operaciones riesgosas.	La deficiente infraestructura peatonal del sitio contribuye también a complicar las operaciones de los usuarios en el lugar, por ejemplo cuando los peatones realizan operaciones indebidas o también debido a la propia caracterización del cruce como la existencia de entradas y salidas de vehículos o invasión de <u>ambulante</u> .
También cabe señalar el deficiente estado de la señalización vertical y horizontal de las aceras, si bien recientemente han sido instalados semáforos peatonales las guarniciones están deterioradas o mal pintadas por ejemplo, tampoco hay dispositivos que indiquen la proximidad de un cruce por lo que tenemos confusión entre los usuarios y mayores riesgos de incidentes.	Los problemas anteriores descritos causan también problemas de congestión vial tanto en las avenidas de la intersección como en sus calles adyacentes.

A continuación se muestra, en una tabla resumen las tasas de flujo (Q) y Volúmenes Horarios resultados del análisis de los datos de aforo obtenidos referidos para t=15 minutos (Tabla 23):

Acceso 1		Acceso 2		Acceso 3		Acceso 4	
Vehiculos (15 min)	Tasas de flujo para cada periodo (Q_15) (veh/h)	Vehiculos (15 min)	Tasas de flujo para cada periodo (Q_15) (veh/h)	Vehiculos (15 min)	Tasas de flujo para cada periodo (Q_15) (veh/h)	Vehiculos (15 min)	Tasas de flujo para cada periodo (Q_15) (veh/h)
426	1410	474	1798	334	1216	230	840
306	Volumen Horario Referido para t=15 min (Q_15) (Veh/15 min)	462	Volumen Horario Referido para t=15 min (Q_15) (Veh/15 min)	317	Volumen Horario Referido para t=15 min (Q_15) (Veh/15 min)	202	Volumen Horario Referido para t=15 min (Q_15) (Veh/15 min)
350	352.5	408	449.5	290	304	195	210
328		454		275		213	

Tabla 22: Resultados de los análisis de los aforos en los accesos del cruce para t=15 min.

A continuación se muestra la interpretación gráfica de los resultados anteriores expresados (gráficas de congestión):

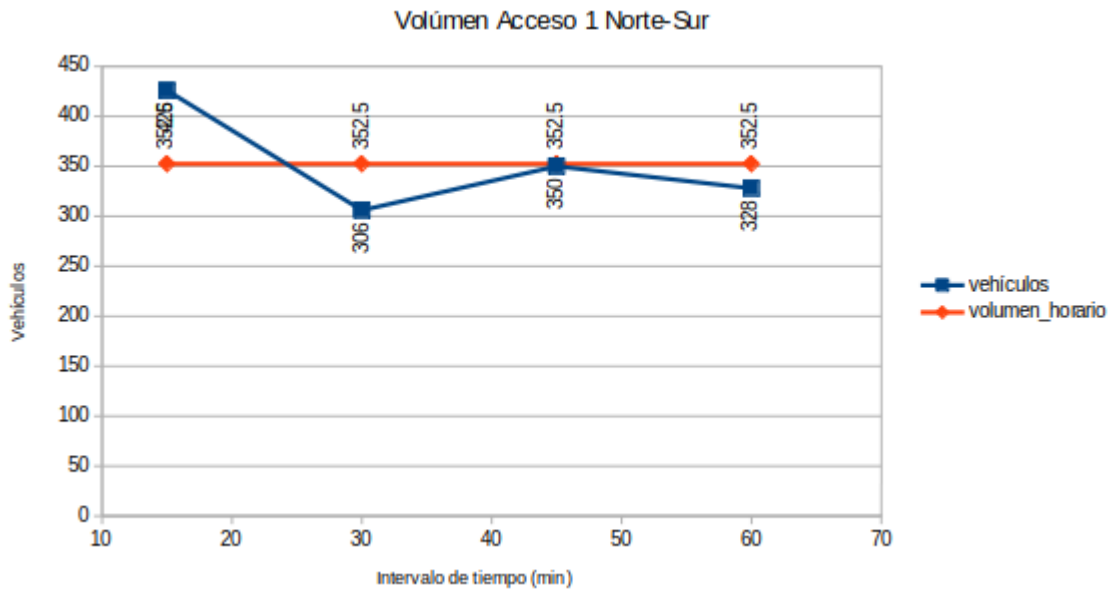


Figura 20: Gráfica de congestión en acceso S1 para t=15 min.

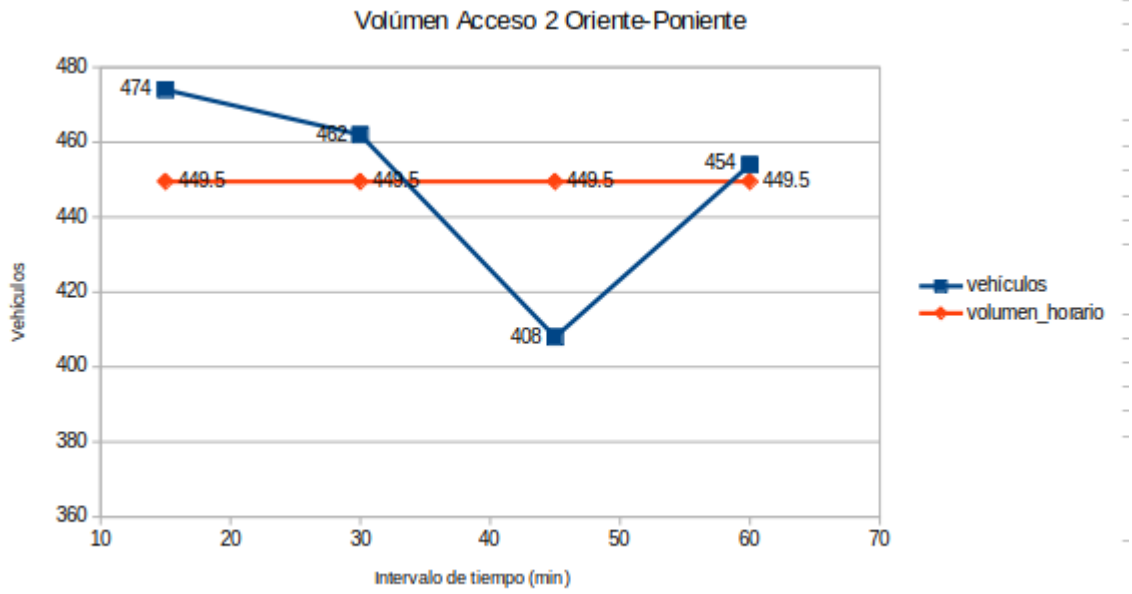


Figura 21: Gráfica de congestionamiento en acceso S2 para $t=15$ min.

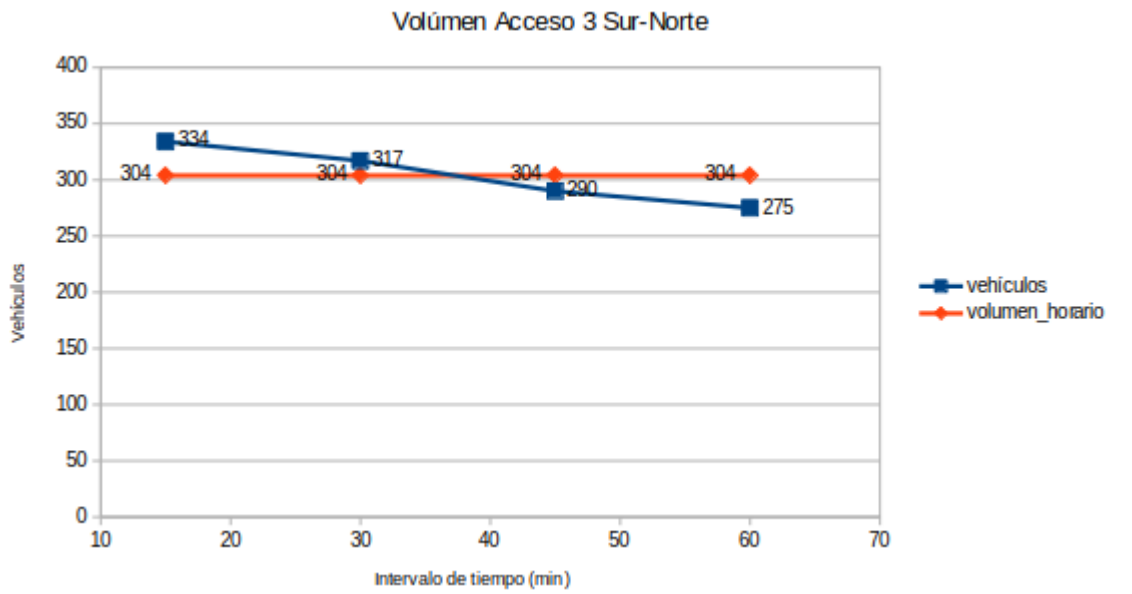


Figura 22: Gráfica de congestión en acceso S3 para $t=15$ min.

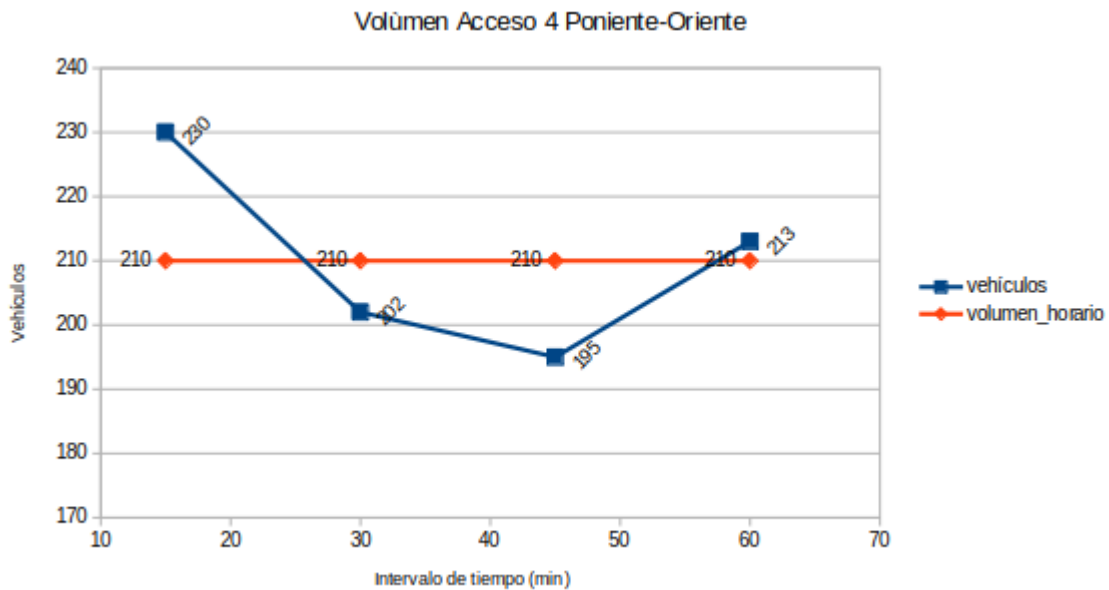


Figura 23: Gráfica de congestión en acceso S4 para $t=15$ min.

Lo anterior muestra los volúmenes horarios de los accesos de la intersección referidos a 15 minutos, podemos apreciar en las gráficas y en las tablas los intervalos de 15 minutos en los cuales el volúmen medido es mayor al volúmen horario obtenido para dicho periodo de tiempo siendo estos aquellos periodos para los que se presentan problemas de congestión, en ese tenor el acceso que presenta mayores problemas es el acceso 2 el cual tiene lugar sobre Avenida Miguel Ángel de Quevedo en dirección Oriente-Poniente ya que 3 de los cuatro periodos registraron volúmenes medidos mayores al volúmen horario referido, le siguen los Accesos 3 (Av. Universidad dirección Sur-Norte) y 4 (Av. M.A. de Quevedo dirección Poniente-Oriente) con dos periodos cada uno en los que su volúmen medido es mayor al volúmen horario obtenido y por último el Acceso 1 (Av. Universidad dirección Norte-Sur) con solamente 1 periodo de tiempo que cumple dicha característica.

A continuación se muestra, en una tabla resumen las tasas de flujo (Q) y Volúmenes Horarios resultados del análisis de los datos de aforo obtenidos referidos para $t=5$ minutos (Tabla 23):

Acceso 1		Acceso 2		Acceso 3		Acceso 4	
Tasa de flujo (veh/hora) para 5 min (q ₅) (veh/h)	Tasas de flujo para cada periodo (Q ₅) (veh/h)	Tasa de flujo (veh/hora) para 5 min (q ₅) (veh/h)	Tasas de flujo para cada periodo (Q ₅) (veh/h)	Tasa de flujo (veh/hora) para 5 min (q ₅) (veh/h)	Tasas de flujo para cada periodo (Q ₅) (veh/h)	Tasa de flujo (veh/hora) para 5 min (q ₅) (veh/h)	Tasas de flujo para cada periodo (Q ₅) (veh/h)
149	1410	143	1798	123	1216	75	840
162		166		80		93	
115		165		131		62	
101		154		100		59	
99		138		102		58	
106	Volumen Horario Referido para t=5 min (Q_5) (Veh/5 min)	170	Volumen Horario Referido para t=15 min (Q_5) (Veh/5 min)	115	Volumen Horario Referido para t=15 min (Q_5) (Veh/5 min)	85	Volumen Horario Referido para t=15 min (Q_5) (Veh/5 min)
125		149		103		75	
116		128		95		68	
109		131		92		52	
97		159		88		67	
120	117.45	140	149.77	104	101.29	76	69.97
111		155		83		70	

Tabla 23: Resultados del análisis de datos en los accesos para t=5 min.

A continuación se muestra la interpretación gráfica de los resultados anteriores expresados (gráficas de congestión):

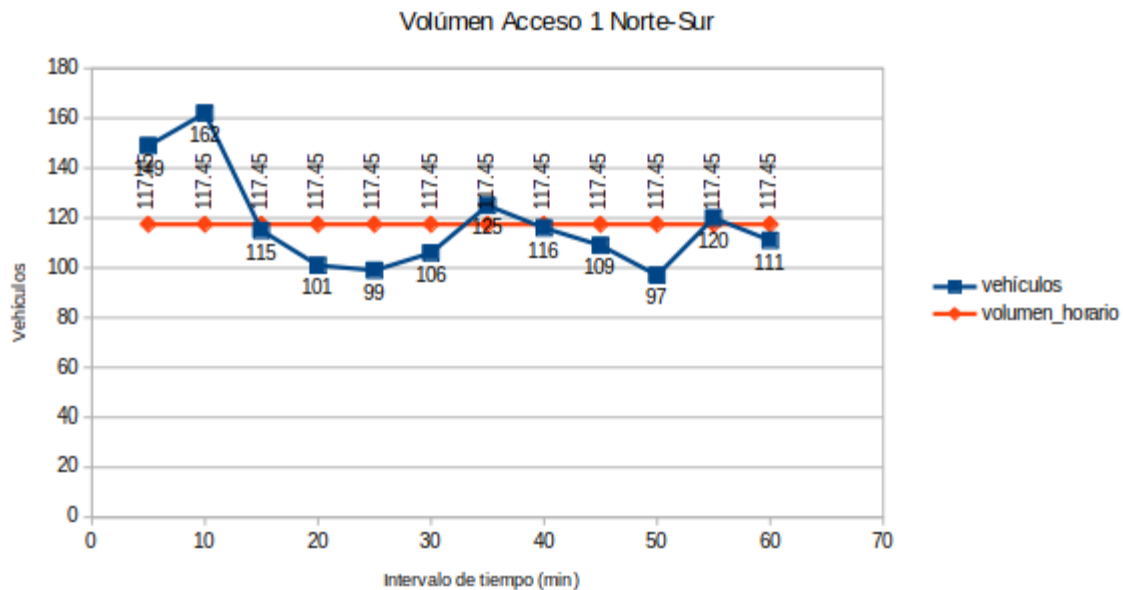


Figura 24: Gráfica de congestión en acceso S1 para t=5 min.

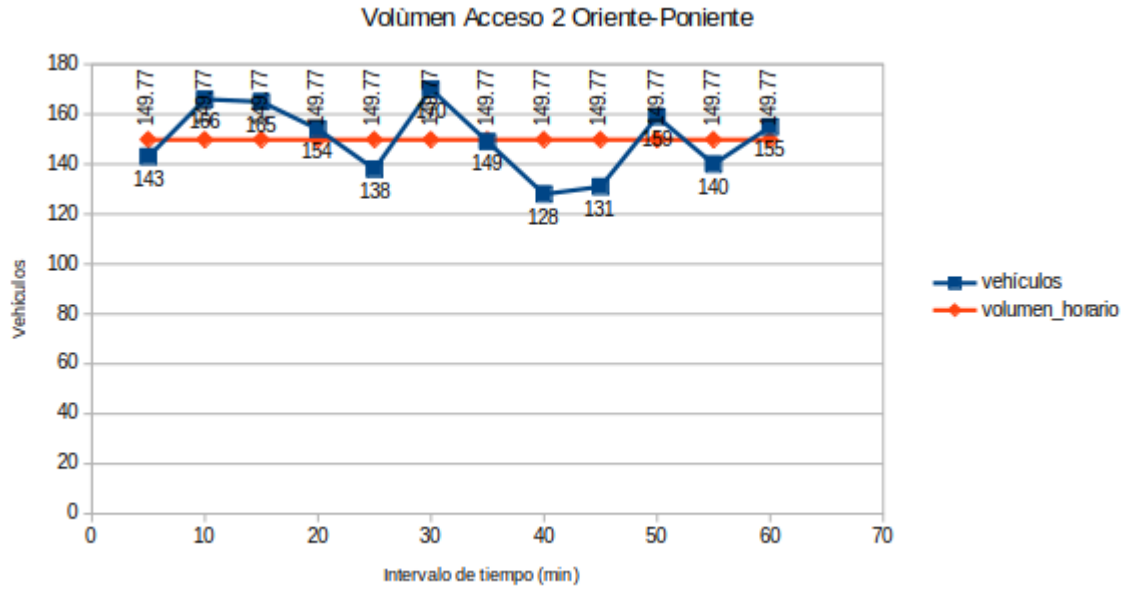


Figura 25: Gráfica de congestión en acceso S2 para t=5 min.

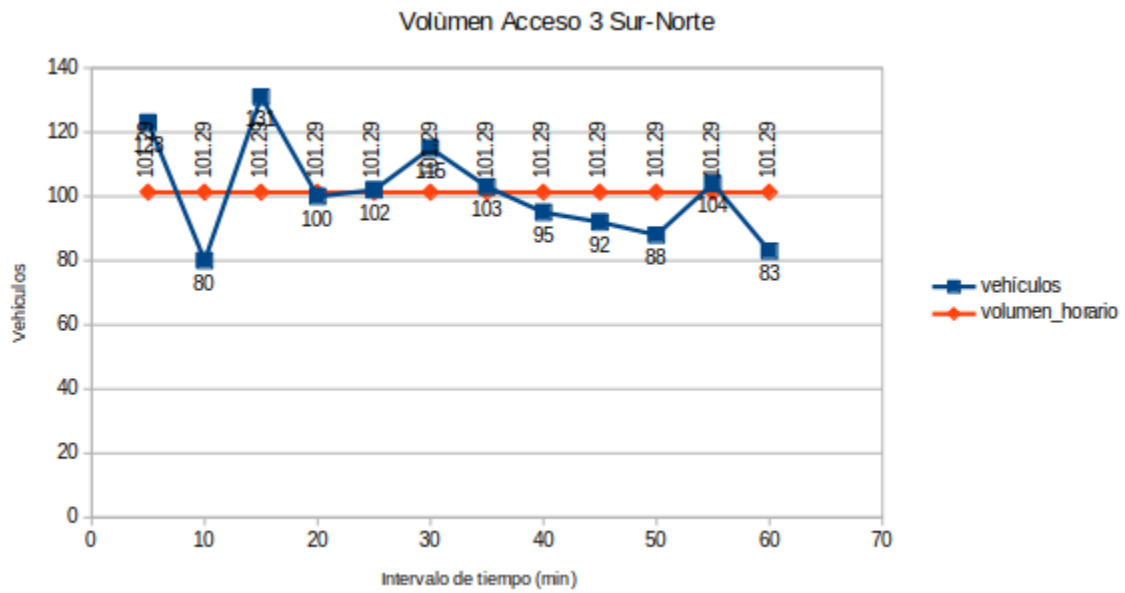


Figura 26: Gráfica de congestión en acceso S3 para t=5 min.

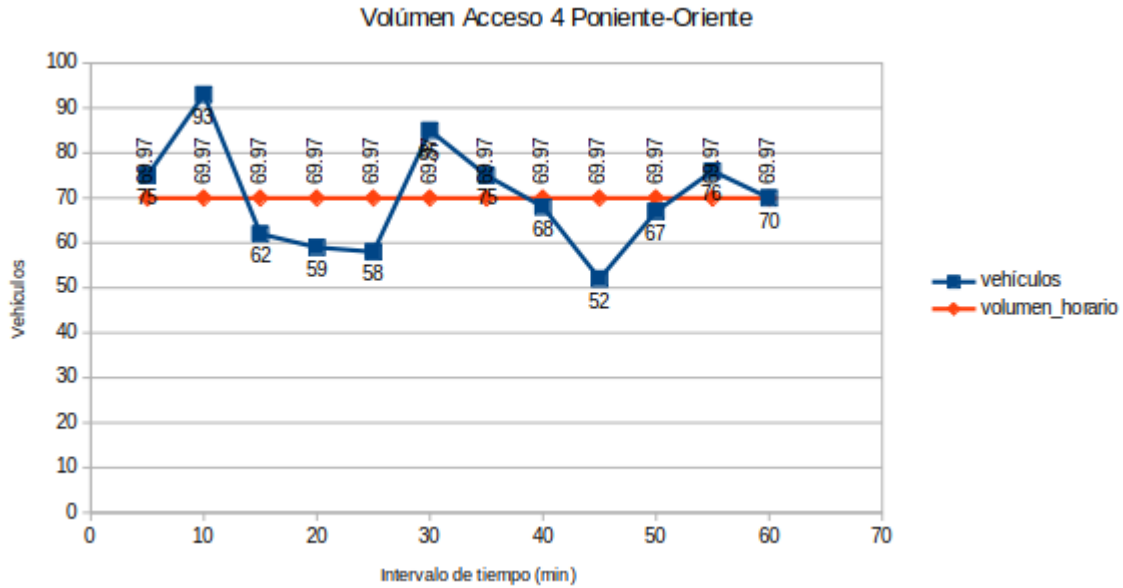


Figura 27: Gráfica de congestión en acceso S4 para t=5 min.

Como podemos observar en las gráficas y las tablas de volúmenes horarios para t=5 minutos notamos que los resultados son congruentes con los de los volúmenes horarios para t=15 minutos siendo los accesos 2, 3 y 4 los más congestionados mientras que el 1 es el menos congestionado.

A continuación se muestra la tabla resumen del análisis operacional de la intersección:

Nivel de servicio	Demora por control (segundos/vehículo)
A	≤10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-55
E	>55-80
F	>80

Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM 2010.

Figura 28: Niveles de servicio de una intersección. HCM 2010

Se muestra la tabla resumen con el resultado del análisis operacional (tabla 25):

Accesos	Norte			Sur			Oriente			Poniente		
Sentido del flujo	Norte-Sur			Sur-Norte			Oriente-Poniente			Poniente-Oriente		
Anchos de carriles (m)	3	3.125	2.8	2.3	3.55	3.25	2	2.825	3.5	3	3.3	3.2
FHDM	0.8275	0.8275	0.8275	0.9102	0.9102	0.9102	0.9483	0.9483	0.9483	0.913	0.913	0.913
Demora media por control de acceso (s/veh)	50.059			40.657			35.776			58.663		
Nivel de servicio	D			D			D			E		
Demora de la intersección	44.429											
Nivel de servicio	D											

Tabla 24: Resultado del análisis operacional

De acuerdo con la tabla de Niveles de Servicio del HCM 2010 los resultados del análisis operacional de la intersección indican que el sitio posee un nivel de servicio D, considerado como deficiente en su operación lo cual obedece a las condiciones bajo las cuales opera el cruce y que hemos visto en capítulos anteriores como la Evaluación Cuantitativa.

A continuación se muestra la tabla de análisis de Niveles de Servicio de las Aceras de la intersección:

Nivel de servicio en las aceras								
Acera	Ancho total (m)	Ancho no útil (m)	Ancho efectivo (m)	Peatones en 15 min. ($l_{p_{15}}$)	15A_e	$l_{p_{15}}/15A_e$	$l_{pe}=l+13.12$	Nivel de servicio según tabla
a1	3	0.93	2.07	30	31.05	0.97	14.09	A
a2	4.9	1.238	3.662	33	54.93	0.6	13.72	A
a3	2.1	0.955	1.145	495	17.18	28.81	41.93	D
a4	2.98	1.25	1.73	245	25.95	9.44	22.56	B
a5	2.15	1.174	0.976	290	14.64	19.81	32.93	D
a6	2.98	1.168	1.812	178	27.18	6.55	19.67	B
a7	3.96	1.178	2.782	21	41.73	0.5	13.62	A
a8	3.83	1.157	2.673	54	40.1	1.35	14.47	A

Tabla 25: Niveles de servicio en las aceras

Nivel de servicio	Espacio (m ² por peatón)	Tasa de Flujo (peatón/minuto/metro)	Velocidad (metros/segundo)	Relación volumen a capacidad
A	> 5.60	≤ 16	> 1.30	≤ 0.21
B	> 3.70 – 5.60	> 16 – 23	> 1.27 – 1.30	> 0.21 – 0.31
C	> 2.20 – 3.70	> 23 – 33	> 1.22 – 1.27	> 0.31 – 0.44
D	> 1.40 – 2.20	> 33 – 49	> 1.14 – 1.22	> 0.44 – 0.65
E	> 0.75 – 1.40	> 49 – 75	> 0.76 – 1.14	> 0.65 – 1.00
F	≤ 0.75	Variable	≤ 0.76	Variable

Figura 29: Tabla de niveles de servicio peatonales en aceras y andadores.
HCM2010

Guiándonos por la comparativa entre los resultados del análisis de los datos de las aceras y la tabla de niveles de servicio peatonales en aceras y andadores del HCM-2010 vemos que los resultados vuelven a ser congruentes con los resultados de la Evaluación Cuantitativa pues las aceras con mejores niveles de servicio son aquellas que tienen pocos o ningún obstáculos mientras que las que poseen un nivel de servicio menor son aquellas con más obstáculos como puestos fijos y semifijos y mal estado de la infraestructura, principalmente.

Conclusiones

Aspectos Generales

Los accidentes de tránsito son, en la Ciudad de México y en otras grandes ciudades del país una de las principales causas de muerte y lesiones lo que, además de causar pérdidas humanas muchas veces irreparables causa también pérdidas económicas y materiales significativas. En el caso particular de la capital mexicana la mayoría de los incidentes de tránsito sucede en las intersecciones de dos o más vialidades siendo esto debido a que, desde un punto de vista sistémico las intersecciones son elementos complejos cuyo funcionamiento depende de n variables y de cuyo funcionamiento también depende, directa e indirectamente el funcionamiento del resto de la red vial de una ciudad, siendo por ello que, se considera primordial la evaluación, diagnóstico e intervención de los cruceros de las zonas urbanas y en particular de la Zona Metropolitana del Valle de México.

Caso Particular

Del estudio realizado en la intersección Miguel Ángel de Quevedo y Av. Universidad se han obtenido las siguientes conclusiones:

Deficiencia en la Señalización

- Los dispositivos de señalización horizontal y vertical juega un papel primordial para el correcto y seguro funcionamiento de un sistema vial (en este caso un crucero) en virtud de su naturaleza indicativa, sin embargo en el caso del crucero de estudio encontramos graves deficiencias en cuanto a señalización y dispositivos de control, entre las que encontramos:
- Deficiencias en los semáforos: Para los vehículos los semáforos son poco visibles e incómodos de ver, causando confusión entre los usuarios.
- Deficiencias en las señalizaciones verticales: El crucero cuenta con pocas señales de destino y las que hay son, al igual que los semáforos poco visibles, incómodas e insuficientes provocando con ellos que los usuarios puedan no tener claro a donde se dirigen o qué operación realizar y con ello propiciar accidentes.
- Mal estado y deficiencia en las señalizaciones Horizontales: Similar al caso de los semáforos vehiculares y las señales de destino la señalización horizontal del sitio es deficiente, insuficiente y se encuentra, en muchos casos en mal estado, incentivando con ello a que los usuarios tampoco tengan claro las operaciones que pueden o no realizar o la manera en qué deben realizarse.

Problemas en la Infraestructura Peatonal:

- Invasión de puestos fijos y semifijos: La proliferación de comercios informales en las aceras causa que los usuarios de la intersección, principal y mayormente peatones y

pasajeros cuenten con menor espacio para transitar y realizar operaciones, causando con ello un aumento del riesgo de la incidencia de conflictos e incidentes, entre otras cosas debido a que muchos usuarios en aras de evitar dichos obstáculos prefieran realizar maniobras riesgosas.

- **Obstáculos en las zonas de cruce:** Las esquinas del cruce tienen obstáculos para el peatón que, similar al caso de los puestos ambulantes suponen un riesgo de incidentes y un incentivo a que los usuarios realicen operaciones riesgosas para no tener que lidiar con dichos obstáculos.
- **Mal Estado de las Aceras:** A lo largo de las aceras encontramos un mal estado general, por ejemplo grietas de importante magnitud, tapas de registro hundidas o levantadas así como escalones sobre los cuales se erigen elementos tales como paradas de autobús, presentando ello un riesgo de accidentes para los usuarios y, de nueva cuenta incentivando al usuario a realizar operaciones indebidas.
- **Distancias largas:** La configuración de la glorieta hace que las distancias que deben recorrer los peatones y pasajeros a través de la intersección sean mayores respecto a lo que un peatón promedio recorre.

Problemas vehiculares:

- **Configuración de la intersección como Glorieta:** El volumen horario de usuarios (vehículos) que recibe la glorieta es bastante mayor al que se supone debería recibir una glorieta para funcionar de manera eficiente, dando como resultado la congestión de los accesos a la misma así como el entorpecimiento del tránsito de vehículos en la misma.
- **No existe en el sitio un sistema que permita la operación correcta:** Debido al alto volumen de tránsito existente en el sitio lo recomendable es estructurar la operación del sitio mediante elementos como carriles de separación del tránsito en función de las operaciones que realizan los vehículos, islas de refugio peatonal, retornos, entre otros, causando con ello problemas tales como la saturación de la glorieta al tener que realizar todos los usuarios diversas operaciones en un mismo punto de la misma, es decir en el centro a excepción de las vueltas derechas que, debido a la alta demanda también suponen un problema. Además de la saturación otro problema que encontramos es la nula identificación de puntos de conflicto, pues debido a la configuración de la glorieta tenemos enésimos puntos de divergencia, convergencia, encuentros vehículo con peatón, etcétera. Lo mencionado supone, desde luego un mayor riesgo de ocurrencia de incidentes viales.
- **Existencia de derroteros de transporte público:** Esto representa un problema y un riesgo para los usuarios de la intersección debido al entorpecimiento de las operaciones y del tránsito que ya de por sí existe en el lugar así como de un incremento en el riesgo de accidentes de tránsito.

Recomendaciones:

- Replantear el diseño de la intersección: Debido a los problemas operativos y de seguridad vial que presenta es menester considerar un rediseño de la intersección sustituyendo la glorieta por una intersección semaforizada estructurada de tal manera que las operaciones estén claramente diferenciadas e identificadas, por ejemplo semáforos separados según cada tipo de operación, carriles de incorporación y separación, isletas de refugio peatonal, entre otros acción que a su vez tendría efecto en la reducción de las dimensiones de tránsito así como reducir las distancias que recorren tanto los vehículos, los pasajeros y los peatones.
- Cambio de señalización y dispositivos de control vial: Es también necesario y apremiante considerar el cambio de la señalización vertical y horizontal del sitio, pues la existente es o deficiente o inexistente en algunos casos teniendo como efecto y aunado al punto anterior una mejora operativa y funcional del sitio.
- Intervención mayor en la intersección: Esto toda vez que el estado de las aceras y de algunas secciones de la infraestructura vial están sumamente deteriorados, causando con ello un incremento en el riesgo de incidentes viales tomando algunas acciones como el corregir los problemas de grietas y baches en las banquetas o de registros expuestos y levantados en las mismas.
- Reubicación de los puestos de comercio fijos y semifijos: Una de las principales y más evidentes acciones a tomar en cuenta a realizar en el sitio es la reubicación o remoción de los puestos de comercio ambulante, con ello los peatones tendrán menor riesgo de sufrir incidentes, se desincentivará la realización de maniobras inadecuadas por parte de los mismos y mejorará su flujo de tránsito.
- Reubicación de las bases de rutas de transporte colectivo: Uno de los factores de la deficiencia de operación de la intersección además de los ya mencionados en párrafos anteriores es la presencia de derroteros de rutas y unidades de transporte público, su reubicación u otra acción similar como establecer un régimen tal que se evite la formación de colas ayudará a la mejora de las condiciones de operación de la intersección.

Bibliografía

Ref. 1. Consejo Nacional de Población. (2018). Delimitación las zonas Metropolitanas de México, 2015 VI. Anexo cartográfico y estadístico. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/460252/2_Anexo_cartografico_primera_parte.pdf

Ref. 2. Instituto Nacional de Geografía y Estadística (2021) Metropolis de México 2020. Anexo A. Anexo Cartográfico y Estadístico. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825007073.pdf

Ref. 3. Redacción (14 de febrero de 2024) *En México circulan 40.59 millones de automotores*. Indicador Automotriz <https://www.indicadorautomotriz.com.mx/tendencias/en-mexico-circulan-40-59-millones-de-automotores/>

Ref. 4. TomTom (2024) TomTom Traffic Index Ranking 2023. <https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/>

Ref. 5. Gobierno de la Ciudad de México/Secretaría de Movilidad (2021), PROGRAMA INTEGRAL DE SEGURIDAD VIAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO 2020-2024 https://semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Diagnostico_PISVI_2020.pdf

Ref. 6. Secretaría de Salud/STCONAPRA. (2018), Informe sobre la situación de la seguridad vial, México 2017. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/731497/Informe_SV_2017_compressed.pdf

Ref. 7. Secretaría de Salud/STCONAPRA. (2022), Informe sobre la situación de la seguridad vial, México 2020 https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/741479/Informe_SV_2020_Autorizado.pdf

Ref. 8. Gobierno de la Ciudad de México/Secretaría de Movilidad (2023). Reporte Trimestral de Hechos de Tránsito Enero-Marzo de 2023. https://www.semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/HT/HT_1er_Trimestre_2023.pdf

Ref. 9. UAM Cuajimalpa/Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (2018). Estos son los 10 cruces peatonales más peligrosos de la CDMX https://geoint.centrogeo.edu.mx/scpi/documentos/B_Chilango_30_11_2018_En_Linea.pdf

Ref. 10. Montejano J., Pérez R., Viramontes L., Caudillo C., Sánchez M., Morales A., Ledesma M. y Suárez T. (2018) Propuesta de un índice de seguridad de cruces peatonales para la Ciudad de México: Reporte Final de Investigación. https://geoint.centrogeo.edu.mx/scpi/documentos/reporte_final.pdf

- Ref. 11. Instituto Mexicano Para la Competitividad (IMCO) (2019). ¿Cuánto cuesta la congestión vehicular en México?
<https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2019/09/%C2%BFcu%C3%A1nto-cuesta-la-congesti%C3%B3n-en-M%C3%A9xico.pdf>
- Ref. 12. Flores de la Mota, I., 1999. *Apuntes sobre teoría de Redes* Facultad de Ingeniería.
- Ref. 13. Lema, Pedreira, Bouza, Allende. (2011). Estudio de la optimización del tráfico en un cruce a través del ajuste de los ciclos de los semáforos mediante recocido simulado. *Universidad da Coruña, Universidad de la Habana*. 24 pp.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6017739>
- Ref. 14. Correa D. (2012) (*Propuesta Metodológica Para Evaluar Intersecciones Semafóricas Tesis de Master en Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Ecuador*). Repositorio PUCE.
<https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/27557>
- Ref. 15. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de CEPAL. (2003), LA CIUDAD INCLUSIVA
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/27819/S2003002_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ref. 16 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES PARLAMENTARIAS. (2018), Diagnóstico de movilidad en la Ciudad en México: El impacto del crecimiento vehicular (problemas, estadísticas y evaluación de políticas)
<http://aldf.gob.mx/archivo-9f6f5328e0f0853d4453d481cbffa2b6.pdf>
- Ref. 17. Cal y Mayor R., Cárdenas J. (2018) *Ingeniería de Tránsito y sus Aplicaciones* (9ª edición) Editorial Alfaomega.
- Ref. 18. SCT (2014) *Manual Señalamiento Vial Dispositivos Seguridad* (1ª Ed.) Secretaria de Comunicaciones y Transportes.
https://www.academia.edu/20089239/Manual_Senalamiento_Vial_Dispositivos_Seguridad
- Ref. 19. (2018) *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras* (1ª Ed.) Secretaria de Comunicaciones y Transportes.
https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/manual-pg/MPGC_2018_16_11_18.pdf
- Ref. 20. Stewart J., (2012) *Cálculo de varias variables: Trascendentes Tempranas* (7ª Ed.) Cengage
- Ref. 21. Miramontes E., Vidaña J., Rodríguez M., (mayo 2015) Análisis y Evaluación de Intersecciones Urbanas. *Cultura Científica y Tecnológica Vol. 12 N.º 56 2015* pp 51-60

- Ref. 22. Torres, A. (2012). Metodología de evaluación de la seguridad vial en intersecciones basada en el análisis cuantitativo de conflictos entre vehículos. Tesis (Doctoral), [E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos \(UPM\)](https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.13743). <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.13743>.
- Ref. 23. Fandiño O., Gamba F., (2015) *Modelo de un diseño geométrico para intersecciones viales basados en un sistema de retornos* (Tesis de Grado. Universidad de la Gran Colombia) <https://repository.ugc.edu.co/server/api/core/bitstreams/2a937720-3e9d-4a57-b207-50ce79e072e5/content>
- Ref. 24. INEGI (2024) *Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas* https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?proy=atuu_s_accidentes
- Ref. 25. Gobierno de la Ciudad de México/Secretaría de Movilidad (2024). Reporte Trimestral de Hechos de Tránsito Enero-Marzo de 2024. https://www.semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/HT/2024/reporte_ht_1er_trimestre2024.pdf
- Ref. 26. Carreón N., (2017) *Metodología para la realización de inventarios viales en Intersecciones* (Tesina de Especialidad, Universidad Nacional Autónoma de México) <http://132.248.9.195/ptd2017/enero/0754358/0754358.pdf>
- Ref. 27. SCT (2023) *Manual de Señalización y Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras* (1ª Ed.) Secretaría de Comunicaciones y Transportes. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/norma/manual/man361_19jul24.pdf

