

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE INGENIERÍA

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



**ANÁLISIS DE SEGURIDAD VIAL EN LA INTERSECCIÓN: AVENIDA
CIRCUITO UNIVERSITARIO Y PASEOS DE LA UNIVERSIDAD**

POR:

MARIANA DEL PILAR RUIZ REYES

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN VÍAS TERRESTRES

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO

NOVIEMBRE, 2024



Análisis de seguridad vial en la intersección: Avenida Circuito Universitario y Paseos de la Universidad. Tesis presentado por Mariana del Pilar Ruiz Reyes como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ingeniería en Vías Terrestres, ha sido aprobado y aceptado por:



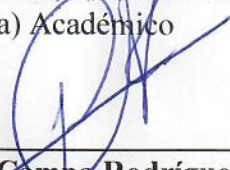
M.I. Fabián Vinicio Hernández Martínez
Director de la Facultad de Ingeniería



Dr. Fernando Martínez Reyes
Secretario de Investigación y Posgrado



M.I. María Selené Ruiz Rivero
Coordinador(a) Académico



Dr. Antonio Campa Rodríguez
Director(a) de Tesis

Noviembre 2024

Fecha

COMITÉ

Dr. Antonio Campa Rodríguez
M.D.U. Luis Carlos Máñez Hernández
M.I. América Martínez Soto
M.I. José Antonio Portillo Ocegüera



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

13 de noviembre de 2024.

ING. MARIANA DEL PILAR RUIZ REYES
Presente. -

En atención a su solicitud relativa al trabajo de tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en Vías Terrestres, nos es grato transcribirle el tema aprobado por esta Dirección, propuesto y dirigido por el director **Dr. Antonio Campa Rodríguez** para que lo desarrolle como tesis, con el título **“Análisis de seguridad vial en la intersección: avenida circuito universitario y paseos de la universidad”**.

Índice de Contenido

- 1 Capítulo I: Introducción
 - 1.1 Antecedentes
 - 1.2 Planteamiento del problema
 - 1.3 Objetivos
 - 1.3.1 Objetivos específicos
 - 1.4 Alcances
 - 1.5 Justificación
- 2 Capítulo 2: Marco Teórico
 - 2.1 Conceptos básicos
 - 2.2 Seguridad vial
 - 2.2.1 ¿Cuál es el origen de la seguridad vial?
 - 2.2.2 ¿Qué es seguridad vial?
 - 2.2.3 Tipos de seguridad
 - 2.3 Conceptos de ingeniería de tránsito
 - 2.3.1 Elementos del tránsito
 - 2.3.2 Características de tránsito

**FACULTAD DE
INGENIERÍA**

Circuito No. 1, Campus Universitario II
Tel. (614) 442-9500
Chihuahua, Chih., México
www.uach.mx/finp





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

- 2.4 Calidad del servicio de la infraestructura
 - 2.4.1 Capacidad
 - 2.4.2 Costo
 - 2.4.3 Nivel de servicio
 - 2.4.4 Consideraciones para Capacidad, costo y Nivel de servicio
 - 2.4.5 Infraestructura vial
- 2.5 Intersecciones
 - 2.5.1 Clasificación de las intersecciones
 - 2.5.2 Intersecciones no semaforizada HCM-2010
 - 2.5.3 Intersecciones semaforizada
- 2.6 Factores que intervienen en el problema del tránsito
 - 2.6.1 Diferentes tipos de vehículos en la misma vialidad
 - 2.6.2 Superposición del tránsito motorizado en vialidades inadecuadas
 - 2.6.3 Falta de planificación en el tránsito
 - 2.6.4 El automóvil no considera como una necesidad pública
 - 2.6.5 Falta de asimilación por parte del gobierno y del usuario
- 2.7 Tipos de solución
 - 2.7.1 Solución integral
 - 2.7.2 Solución parcial de alto costo
 - 2.7.3 Solución parcial de bajo costo
- 2.8 Bases para una solución del tránsito
- 2.9 Metodologías para seguimiento de una intersección como la zona de estudio
 - 2.9.1 Metodología de intersección TWSC del HCM 2010.
 - 2.9.2 Metodología de semaforización según HCM 2010
 - 2.9.3 Resumen del cálculo de los tiempos del semáforo

**FACULTAD DE
INGENIERÍA**

Circuito No. 1, Campus Universitario II
Tel. (614) 442-9500
Chihuahua, Chih., México
www.uach.mx/fin





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

2.10 Metodología del Manual de auditoria de seguridad vial de la SCT

3 Capítulo 3: Marco físico

3.1 Localización

3.2 Vías de comunicación

3.3 Climatología

3.4 Topografía y relieve

3.5 Edafología

3.6 Geología

3.7 Hidrografía

3.8 Uso del suelo y vegetación

3.8.1 Zonificación

4 Metodología

5 Resultados y Análisis

5.2 Información previa recopilada

5.2.1 Informes existentes

5.3 Inventario de características geométricas y de señalamiento existentes

5.4 Volúmenes de tránsito, clasificación vehicular y velocidades de operación existentes.

5.5 Historial de accidentes registrados

5.6 Levantamiento de daños superficiales

5.7 Descripción de las visitas de campo

5.7.1 Condiciones reales de operación

**FACULTAD DE
INGENIERÍA**

Circuito No. 1, Campus Universitario II
Tel. (614) 442-9500
Chihuahua, Chih., México
www.uach.mx/finp





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

- 5.8 Comentarios de usuarios
 - 5.8.1 Conductores
 - 5.8.2 Peatones
- 6 Conclusiones y recomendaciones
- 7 Referencias

ATENTAMENTE
"naturam subiecit aliis"

EL DIRECTOR

M.I. FABIÁN VINICIO HERNÁNDEZ

FACULTAD DE
INGENIERÍA
U.A.CH.



DIRECCIÓN

**SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO**

DR. FERNANDO MARTÍNEZ REYES

**FACULTAD DE
INGENIERÍA**

Circuito No. 1, Campus Universitario II
Tel. (614) 442-9500
Chihuahua, Chih., México
www.uach.mx/fing



Agradecimientos

Le doy gracias a Dios por darme la oportunidad de poder cumplir metas de su mano y sobre todo por darme mucha salud para lograr cada una de ellas, gracias por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por el amor y bondad de las personas que has puesto en mi camino.

A mi familia quiero agradecerles por la confianza que han depositado en mí y por haberme dado las herramientas para construir este sueño, gracias por vivirlo conmigo desde la distancia, alentándome incondicionalmente compartiendo logros y tropiezos, alegrías y tristezas que me han permitido crecer como persona y superarme cada día. También, a mi pareja Nicolás Sanabria por haber sido parte de mi soporte en cada segundo de este proceso tan importante. Por todo el ayer, les dedico con cariño todo mi mañana.

Gracias a la Universidad Autónoma de Chihuahua por haberme permitido formarme en ella, gracias a la maestra María de Lourdes Flores Portillo por su compañía y apoyo desde el momento de la inscripción hasta la finalización de la Maestría, al Dr. Fernando Martínez Reyes por su gestión para la obtención de aforos, al Dr. José Antonio Pérez Sánchez por su paciencia, dedicación y apoyo para iniciar con el contenido de este documento de aporte, al Dr. Antonio Campa Rodríguez por su dedicación para concluir con éxito, fueron muchas personas quienes invirtieron su tiempo para aportar un granito de arena a mi proyecto tesis y hacerlo posible, a todos ellos les agradezco.

Solamente tengo por decir... “Gracias”.

Resumen

El objetivo de esta investigación es desarrollar un análisis de seguridad vial en la intersección Avenida Circuito Universitario y Avenida Paseos de la Universidad, que se ubica en el Norte de la ciudad de Chihuahua. Esta intersección es el cruce con mayor número de accidentes y gran demanda vehicular, que permite el paso a diferentes centros de actividades, asimismo forma parte de la infraestructura vial importante para la ciudad de Chihuahua y se define como nodo conflictivo. Por tal motivo, se requiere de la toma de datos necesarios mediante visitas de campo para evaluar los factores influyentes en la seguridad vial de dicha intersección, tales como ingeniería de tránsito, diseño geométrico y estado físico del pavimento, con base en el Highway Capacity Manual (HCM), Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad 2014 y algunos conceptos del Manual de proyecto geométrico de carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). La metodología se basa en la etapa de Seguimiento de la Operación del Manual de Auditorías de Seguridad Vial 2018 de la Dirección General de Servicios Técnicos DGST, que forma parte de la SCT, en la cual se debe tener en cuenta el historial de siniestros viales, volúmenes de tránsito, velocidades de operación, levantamientos topográficos, trabajos de conservación y mantenimiento, y cualquier otro dato relevante que pueda afectar a la seguridad vial.

Conforme a lo anterior, definir el nivel de servicio y plasmar una propuesta que involucre la toma de decisiones con criterio ingenieril con el fin de dar solución a los problemas de siniestralidad vial dentro de esta intersección, y que funcione como aporte para la Dirección de Vialidad y Tránsito de Chihuahua.

Palabras Clave: seguridad vial, accidentes de tránsito, señales de tránsito, diseño geométrico.

Abstract

The objective of this research is to develop a road safety analysis at the intersection of Avenue Circuito Universitario and Paseos de la Universidad, located in the north of the city of Chihuahua. This intersection is the intersection with the highest number of accidents and high vehicular demand, which allows the passage to different centers of activities, it is also part of the important road infrastructure for the city of Chihuahua and is defined as a conflictive node. For this reason, the necessary data collection through field visits is required to evaluate the factors influencing road safety at this intersection, such as traffic engineering, geometric design and physical condition of the pavement, based on the Highway Capacity Manual (HCM), Road Signaling and Safety Devices Manual 2014 and some concepts of the Highway Geometric Project Manual of the Secretariat of Communications and Transportation (SCT).

The methodology is based on the Operation Monitoring stage of the SCT's 2018 Road Safety Audit Manual, in which the history of traffic accidents, traffic volumes, operating speeds, topographic surveys, conservation and maintenance works, and any other relevant data that may affect road safety must be taken into account.

According to the above, define the level of service and develop a proposal that involves decision making with engineering criteria in order to solve the accident rate problems at this intersection, and that works as a contribution to the Chihuahua Traffic and Roadways Department.

Key words: road safety, traffic accidents, traffic signals, geometric design.



Índice de Contenido

1	CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	ANTECEDENTES	2
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3	OBJETIVOS.....	5
1.3.1	Objetivos específicos	5
1.4	ALCANCES	5
1.5	JUSTIFICACIÓN	6
2	CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1	CONCEPTOS BÁSICOS	7
2.2	SEGURIDAD VIAL.....	9
2.2.1	¿Cuál es el origen de la seguridad vial?	9
2.2.2	¿Qué es seguridad vial?	10
2.2.3	Tipos de seguridad.....	12
2.3	CONCEPTOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO	13
2.3.1	Elementos del transito	14
2.3.2	Características de tránsito	17
2.4	CALIDAD DEL SERVICIO DE LA INFRAESTRUCTURA	21
2.4.1	Capacidad.....	21
2.4.2	Costo	21
2.4.3	Nivel de servicio	21
2.4.4	Consideraciones para Capacidad, costo y Nivel de servicio	23
2.4.5	Infraestructura vial.....	23
2.5	INTERSECCIONES.....	24
2.5.1	Clasificación de las intersecciones.....	25
2.5.2	Intersecciones no semaforizada HCM-2010	26
2.5.3	Intersecciones semaforizada.....	32

2.6	<i>FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROBLEMA DEL TRÁNSITO</i>	33
2.6.1	<i>Diferentes tipos de vehículos en la misma vialidad</i>	34
2.6.2	<i>Superposición del tránsito motorizado en vialidades inadecuadas</i>	34
2.6.3	<i>Falta de planificación en el tránsito</i>	34
2.6.4	<i>El automóvil no considera como una necesidad pública</i>	34
2.6.5	<i>Falta de asimilación por parte del gobierno y del usuario</i>	35
2.7	<i>TIPOS DE SOLUCIÓN</i>	35
2.7.1	<i>Solución integral</i>	35
2.7.2	<i>Solución parcial de alto costo</i>	35
2.7.3	<i>Solución parcial de bajo costo</i>	37
2.8	<i>BASES PARA UNA SOLUCIÓN DEL TRANSITO</i>	38
2.9	<i>METODOLOGÍAS PARA SEGUIMIENTO DE UNA INTERSECCIÓN COMO LA ZONA DE ESTUDIO</i>	38
2.9.1	<i>Metodología de intersección TWSC del HCM 2010</i>	38
2.9.2	<i>Metodología de semaforización según HCM 2010</i>	71
2.9.3	<i>Resumen del cálculo de los tiempos del semáforo</i>	79
3	<i>METODOLOGÍA</i>	83
3.1	<i>PASO 1: DESCRIPCIÓN DEL MARCO FÍSICO DEL SITIO</i>	83
3.2	<i>PASO 2: DESCRIPCIÓN DE CONDICIONES ACTUALES DE LA INTERSECCIÓN</i>	83
3.3	<i>PASO 3: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN</i>	83
3.4	<i>PASO 4: VISITAS DE CAMPO Y LEVANTAMIENTOS</i>	83
3.5	<i>PASO 5: ANÁLISIS Y PROPUESTA DE SEMAFORIZACIÓN</i>	84
3.6	<i>PASO 6: CÁLCULO DEL TIEMPO DE SEMAFORIZACIÓN</i>	84
4	<i>RESULTADOS Y ANÁLISIS</i>	85
4.1	<i>ANÁLISIS DEL MARCO FÍSICO DEL SITIO</i>	85
4.1.1	<i>Localización</i>	86
4.1.2	<i>Vías de comunicación</i>	87
4.1.3	<i>Climatología</i>	87

4.1.4	<i>Topografía y relieve</i>	89
4.1.5	<i>Edafología</i>	90
4.1.6	<i>Geología</i>	92
4.1.7	<i>Hidrografía</i>	93
4.1.8	<i>Uso del suelo y vegetación</i>	94
4.1.9	<i>Zonificación</i>	95
4.2	ANÁLISIS DE LA INTERSECCIÓN	96
4.2.1	<i>Descripción de la intersección</i>	96
4.2.2	<i>Información previa recopilada</i>	97
4.2.3	<i>Informes existentes</i>	97
4.2.4	<i>Inventario de características geométricas y de señalamiento existentes</i>	100
4.2.5	<i>Volúmenes de tránsito, clasificación vehicular y velocidades de operación existentes</i>	101
4.2.6	<i>Historial de accidentes registrados</i>	104
4.2.7	<i>Levantamiento de daños superficiales</i>	108
4.2.8	<i>Descripción de las visitas de campo</i>	109
4.2.9	<i>Condiciones reales de operación</i>	111
4.2.10	<i>Comentarios de usuarios</i>	112
4.2.11	<i>Intersección semaforizada</i>	122
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	124
6	REFERENCIAS	126



Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación del proyecto (Google Maps, 2024)	3
Figura 2. Camiones Girando hacia Home Depot (Sanabria, 2023)	4
Figura 3. Seguridad pasiva y seguridad activa (Pérez, 2021)	12
Figura 4. Sección transversal (DNV, 2016)	15
Figura 5. Movilidad sostenible un paso al futuro (UMH, 2022)	16
Figura 6. Infraestructura vial Chihuahua (IMPLAN, 2020)	24
Figura 7. Movimiento para intersección de 4 ramales y en T (HCM, 2010)	27
Figura 8. Metodología de intersección TWSC (HCM, 2010).	29
Figura 9. Caso de análisis para intersecciones AWSC (HCM, 2010).	30
Figura 10. Metodología de intersección AWSC (HCM, 2010).	31
Figura 11. Cómo ingresar a una glorieta (Trujillo, 2019)	32
Figura 12. Metodología para intersecciones semaforizadas (HCM, 2010).	33
Figura 13. Trazo del futuro (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018)´	36
Figura 14. Solución de alto costo – Caso construcción del paso superior Sur Fuentes Mares Chihuahua (Soy Chihuahua, 2024)	37
Figura 15. Solución de bajo costo (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018)	37
Figura 16. Templo de seguridad vial (Tabasso, 2013) y (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).	38
Figura 17. Giros de intersecciones ejemplo (HCM, 2010)	39
Figura 18. Movimientos de giro a la izquierda en calles principales	42
Figura 19. Movimientos de giro a la derecha en calles secundarias (Rango2: movimientos 9 y 12) (HCM, 2010)	43
Figura 20. Movimientos en conflicto para calles secundarias (HCM, 2010).	45
Figura 21. Espacio para girar a la izquierda (HCM, 2010).	57
Figura 22. Factor de ajuste de impedancia de la calle mayor giro a la izquierda y calle secundaria que cruza (HCM, 2010).	62

Figura 23. Capacidad de carril ensanchado al aproximarse (HCM, 2010).....	65
Figura 24. Intervalo de cambio de fase.....	73
Figura 25. Ciclo óptimo	73
Figura 26. Modelo básico del flujo de saturación (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).....	76
Figura 27. Resumen del cálculo de los tiempos del semáforo (Tapia & Veizaga, 2006).....	82
Figura 28. Metodología del Manual de Auditorias de Seguridad Vial (SCT, 2018).....	84
Figura 29. Entorno de ArcMap.....	85
Figura 30. Localización (Ruiz, 2023).....	86
Figura 31. Vías de comunicación (Google Maps, 2023).....	87
Figura 32. Grados de temperatura de Chihuahua (weatherspark, 2023).....	88
Figura 33. Temperatura de Chihuahua (weatherspark, 2023).....	88
Figura 34. Vientos en Chihuahua (weatherspark, 2023).....	88
Figura 35. Topografía de la zona de estudio (INEGI, 2023; IMPLAN , 2015; Ruiz, 2023).....	89
Figura 36. Edafología en el Estado de Chihuahua (IMPLAN , 2015; Ruiz, 2023).....	90
Figura 37. Edafología de la zona de estudio (INEGI, 2023; IMPLAN , 2015; Ruiz, 2023).....	91
Figura 38. Geología (INEGI, 2023; Ruiz, 2023).....	92
Figura 39. Hidrografía (SIATL v4, 2023; Ruiz, 2023).....	93
Figura 40. Uso del suelo y vegetación (INEGI, 2023; Ruiz, 2023).....	94
Figura 41. Zonificación de la zona de estudio (Google Earth Pro, 2021; INEGI, 2023)	95
Figura 42. Mapa vista en planta de la intersección (Ruiz, 2023)	96
Figura 43. Mapa del proyecto y área de influencia (Impacto Vial Soluciones a la medida, 2019).....	98
Figura 44. Resultados del software Synchro 8.0 (Impacto Vial Soluciones a la medida, 2019).....	99
Figura 45. Geometría y señalización de la intersección (Ruiz, 2023).....	101
Figura 46. Aforo – 23 de mayo del 2017 (Vialidad Chihuahua, 2022).....	102
Figura 47. Aforo – Marzo 2022 – 7:15am (Vialidad Chihuahua, 2022).....	103
Figura 48. Aforo – Marzo 2022 – 5:30pm (Vialidad Chihuahua, 2022).....	104
Figura 49. Diagrama circular en el por tipo de accidente entre el 2020-2022.....	106
Figura 50. Choque – Febrero 2 del 2023 (Sanabria, 2023)	106

Figura 51. Choque – Marzo 23 del 2023 (Sanabria, 2023).	107
Figura 52. Choque – Marzo 25 del 2023 (Sanabria, 2023).	107
Figura 53. Giro en U que puede ocasionar accidente (Sanabria, 2023)	108
Figura 54. Levantamiento de daños superficiales en la intersección (Salazar, 2023; Ruiz, 2023)	109
Figura 55. Posición de las mangueras (Ruiz, 2023)	110
Figura 56. Registro fotográfico – Posición de mangueras I (Ruiz, 2023)	111
Figura 57. Registro fotográfico – Posición de mangueras II (Ruiz, 2023)	111
Figura 58. Numeración de los movimientos presentes en la intersección (Ruiz, 2023).	113
Figura 59. Entradas por cada tipo de movimiento en la intersección (Ruiz, 2023).	114
Figura 60. Giro a la izquierda en calles principales (Ruiz, 2023).	116
Figura 61. Giro a la derecha en calles secundarias (Ruiz, 2023).	116
Figura 62. Movimientos directos en calles secundarias (Ruiz, 2023).	116
Figura 63. Giros a la izquierda en calles secundarias (Ruiz, 2023).	117
Figura 64. Diferencia de altura de Avenida Circuito Universitario entre ambos sentidos.	118
Figura 65. Intervalos de salida y entrada (Ruiz, 2023).	119
Figura 66. Fases de semaforización (Ruiz, 2023).	122
Figura 67. Esquema de ciclos de semaforización (Ruiz, 2023).	123

Índice de tablas

Tabla 1. Nomenclatura de vehículos o configuración (NOM-012-STC-2-2017 , 2017).	18
Tabla 2. Nomenclatura autobús (B) (NOM-012-STC-2-2017 , 2017).	18
Tabla 3. Nomenclatura camión unitario (C) (NOM-012-STC-2-2017 , 2017).	19
Tabla 4. Nomenclatura tracto camión articulado (T-S) (NOM-012-STC-2-2017 , 2017).	19
Tabla 5. Nomenclatura tracto camión semirremolque-remolque (T-S-R).	19
Tabla 6. Niveles de servicio (LOS, Leves of Service) (HCM, 2010).	22
Tabla 7. Tipos de intersección T, Y, + y X (Gobierno de México, 2019).	26
Tabla 8. Tipos de intersección + y X (Gobierno de México, 2019).	26

Tabla 9. Intervalo de tiempo crítico base, $t_{base}(s)$ (HCM, 2010).	49
Tabla 10. Intervalo base de seguimiento (HCM, 2010),	50
Tabla 11. Proporción para el movimiento $p_{b,x}$ (HCM, 2010).	52
Tabla 12. Valores para factores de vehículos equivalentes (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).	75
Tabla 13. Volumen actual de la intersección y proyección futura 5 años (Impacto Vial Soluciones a la medida, 2019).	99
Tabla 14. Nivel de servicio de la intersección actual y futuro a 5 años (Impacto Vial Soluciones a la medida, 2019).	100
Tabla 15. Accidentes registrados entre el 2020-2022 de la intersección (Vialidad Chihuahua, 2022). ..	105
Tabla 16. Valores de intervalo critico base predeterminados (HCM, 2010).	118
Tabla 17. Valores de intervalo continuo base predeterminados.	119
Tabla 18. Cálculo de capacidades potenciales (Ruiz, 2023).	120
Tabla 19. Probabilidad de impedimento vehicular (Ruiz, 2023).	120
Tabla 20. Capacidad de carril compartido (Ruiz, 2023).	120
Tabla 21. Niveles de servicios o LOS (HCM, 2010).	120
Tabla 22. Resumen de los resultados (Ruiz, 2023).	121

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Volumen de máxima demanda por hora (HCM, 2010).	41
Ecuación 2. $V_{C,1}$ Movimiento 1 (HCM, 2010).	42
Ecuación 3. $V_{C,4}$ Movimiento 4 (HCM, 2010).	42
Ecuación 4. $V_{C,9}$ Movimiento 9 – dos carriles (HCM, 2010).	44
Ecuación 5 $V_{C,12}$ Movimiento 12– dos carriles (HCM, 2010).	44
Ecuación 6. $V_{C,9}$ Movimiento 9 – cuarto carriles (HCM, 2010).	44
Ecuación 7. Movimiento 9 – cuarto carriles (HCM, 2010).	44
Ecuación 8. $V_{C,9}$ Movimiento 9 – seis carriles (HCM, 2010).	44
Ecuación 9. Movimiento 9 – seis carriles (HCM, 2010).	44

Ecuación 10. Escenario I – movimiento 8 (HCM, 2010).	45
Ecuación 11. Escenario I – movimiento 11 (HCM, 2010).	46
Ecuación 12. Escenario I I– movimiento 8 (HCM, 2010).	46
Ecuación 13. Escenario I I– movimiento 11 (HCM, 2010).	46
Ecuación 14. Escenario I - movimiento 7 - dos carriles (HCM, 2010).	46
Ecuación 15. Escenario I – movimiento 10 - dos carriles (HCM, 2010).	47
Ecuación 16. Escenario I – movimiento 7 – cuatro carriles (HCM, 2010).	47
Ecuación 17. Escenario I – movimiento 10 – cuatro carriles (HCM, 2010).	47
Ecuación 18. Escenario I – movimiento 7 – seis carriles (HCM, 2010).	47
Ecuación 19. Escenario I – movimiento 10 – seis carriles (HCM, 2010).	47
Ecuación 20. Escenario II - movimiento 7 - dos carriles (HCM, 2010).	48
Ecuación 21. Escenario I – movimiento 10 - dos carriles (HCM, 2010).	48
Ecuación 22. Escenario II – movimiento 7 – cuatro carriles (HCM, 2010).	48
Ecuación 23. Escenario I I– movimiento 10 – cuatro carriles (HCM, 2010).	48
Ecuación 24. Escenario II – movimiento 7 – seis carriles (HCM, 2010).	48
Ecuación 25. Escenario II – movimiento 10 – seis carriles (HCM, 2010).	48
Ecuación 26. Intervalo de tiempo crítico para movimiento (HCM, 2010).	49
Ecuación 27. Intervalo de tiempo de seguimiento (HCM, 2010).	50
Ecuación 28. Capacidad Potencial del movimiento	51
Ecuación 29. flujo conflictivo para el movimiento x durante el período desbloqueado (HCM, 2010).	52
Ecuación 30. Capacidad potencial del sujeto de movimiento x, teniendo en cuenta el efecto de pelotón (HCM, 2010).	53
Ecuación 31. Capacidad potencial del sujeto de movimiento x, teniendo en cuenta el efecto de pelotón II (HCM, 2010).	53
Ecuación 32. Capacidad de movimiento para giro a la izquierda en calles principales (HCM, 2010).	54
Ecuación 33. Factor de ajuste de capacidad o Probabilidad de giros en U en calles principales del movimiento 1 (HCM, 2010).	55

Ecuación 34. Factor de ajuste de capacidad o Probabilidad de giros en U en calles principales del movimiento 4 (HCM, 2010).	55
Ecuación 35. Capacidad de movimiento para cambios de sentidos en calles principales (HCM, 2010).	55
Ecuación 36. Capacidad de compartir un carril (HCM, 2010).	56
Ecuación 37. Probabilidad que el tráfico gire a la izquierda en un estado sin cola (HCM, 2010)	56
Ecuación 38. Probabilidad de giro a la izquierda en calles principales sin cola (HCM, 2010).	57
Ecuación 39. Grado de saturación para la calle principal y el giro a la derecha. (HCM, 2010).	57
Ecuación 40. Probabilidad para el movimiento j asumiendo un estado exclusivo carril de giro a la izquierda en la calle principal (HCM, 2010).	58
Ecuación 41. Factor de ajuste de capacidad (HCM, 2010).	59
Ecuación 42. Capacidad de movimientos de calles menores de rango 3 (HCM, 2010).	60
Ecuación 43. Factor de ajuste a	60
Ecuación 44. Variable intermedia.	60
Ecuación 45. Capacidad total para el sujeto en movimiento en II etapas y $\neq$ de 1 (HCM, 2010).	61
Ecuación 46. Capacidad total para el sujeto en movimiento en II etapas y $=1$ (HCM, 2010).	61
Ecuación 47. Ajuste del factor de impedancia de la calle principal y la calle secundaria que cruza (HCM, 2010).	61
Ecuación 48. Factor de ajuste de capacidad para rango 4 calles secundarias con giros a la izquierda	62
Ecuación 49. Capacidad de movimiento para rango 4 (HCM, 2010).	63
Ecuación 50. Factor de ajuste a para rango 4 en dos etapas (HCM, 2010).	63
Ecuación 51. Variable intermedia a para rango 4 en dos etapas (HCM, 2010).	63
Ecuación 52. Capacidad de carril compartido.	64
Ecuación 53. Longitud de cola para movimientos considerando un carril separado (HCM, 2010).	65
Ecuación 54. Longitud del área de almacenamiento (HCM, 2010).	66
Ecuación 55. Capacidad para un carril separado (HCM, 2010).	66
Ecuación 56. Capacidad real del carril ensanchado (veh/h)	67
Ecuación 57. Retardo de control (HCM, 2010).	68
Ecuación 58. Retraso a vehículos rango 1 (HCM, 2010).	69

Ecuación 59. Retraso de con control por aproximación (HCM, 2010).	70
Ecuación 60. Retraso de control por intersección (HCM, 2010).	70
Ecuación 61. Percentil 95 para longitud de cola (HCM, 2010).	71
Ecuación 62. Factor de ajuste por efectos de vehículos pesados (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).	74
Ecuación 63. Flujo de automóviles directos equivalentes (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).	75
Ecuación 64. Demora (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).	76
Ecuación 65. Ganancia final (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).	77
Ecuación 66. Tiempo perdido por fase (l_i) (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).	77
Ecuación 67. Tiempo de verde efectivo (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).	77
Ecuación 68. Tiempo perdido por fase (l_i) en función de equivalencia de tiempo en verde. (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).	77
Ecuación 69. Intervalo de cambio de fase y_i = intervalo amarillo A_i	77
Ecuación 70. Tiempo perdido por fase (l_i) en función de intervalo en amarillo, tiempo de verde efectivo. (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).	78
Ecuación 71. Tiempo perdido = intervalo de cambio de fase y_i =intervalo en amarillo (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).	78
Ecuación 72. Tiempo perdido por ciclo (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).	78
Ecuación 73. Tiempo verde efectivo total (g_T) (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).	78
Ecuación 74. Demora total mínima (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).	79
Ecuación 75. Magnitud de intervalos de cambio.	123
Ecuación 76. Ciclo óptimo	123



1 Capítulo I: Introducción

Chihuahua es una ciudad extensa y vasta que como muchas ciudades de México se cuenta con problemas de movilidad, en especial en ciudades que se encuentran cerca de Estados Unidos, esta cercanía ha contribuido al aumento el número de vehículos y de usuarios. Lo que ha hecho que ocasione un gran problema de congestionamiento, y que en paralelo se incrementen los siniestros, accidentes y en general problemas de seguridad vial.

En este documento se mencionan algunos de los puntos de conflicto dentro de la ciudad de Chihuahua, y particularmente se realiza un estudio de uno de los puntos más conflictivos; es decir, uno de los puntos que presenta mayor número de accidentes.

A menudo, se presentan acontecimientos catastróficos en los cuales pueden ocurrir afectaciones en las condiciones físicas de las personas que se trasladan en los vehículos, perturbando la integridad de las personas, y en algunas ocasiones incrementando el índice de fatalidades. A estos sucesos se les conoce como siniestro vial.

Estos siniestros, cuestan la vida de miles de personas año tras año, es por ello que la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) en conjunto con otras dependencias gubernamentales y organismos vinculados, formaron la Ley General de Movilidad y Seguridad Vial de México en cuanto a dispositivos para el control del tránsito en calles y caminos (Gobierno de México, 2022).

En relación con lo anterior, se establece en este documento una propuesta para atender la problemática de seguridad vial en la ciudad de Chihuahua, específicamente en la intersección Av. Circuito Universitario y Av. Paseos de la Universidad en la cual se viene presentando un alto índice de siniestralidad vial para el 2022 y 2023.

Por tal razón, se plantea en este escrito la realización de un estudio de seguridad vial en la intersección mencionada anteriormente, en el que se establezca un análisis de datos suministrados por la Dirección de Vialidad de Chihuahua, además un estudio de la infraestructura existente y un respectivo inventario de señalización vertical y horizontal. Posterior a la realización del



levantamiento de información y análisis, se procede a realizar un aporte social estableciendo una solución a la problemática presentada debidamente soportada a partir del estudio de la información obtenida.

1.1 Antecedentes

En México, se ha venido presentando un número muy elevado de siniestros, que para el año 2022 fueron aproximadamente 377.231 siniestros en zonas urbanas y suburbanas de los cuales el 60.95% fueron choques vehiculares (Seguros GNP, 2023).

En bases de datos del INEGI¹ en la información recopilada, se encuentra un balance de accidentabilidad por estados; donde se reporta que el Estado de Chihuahua es uno de los estados que más presenta problemas de accidentabilidad. El Estado de Chihuahua tiene dificultades en cuanto a siniestros viales, tanto por medio carretero como en zonas urbanas de las ciudades o municipios más concurridos dentro del estado.

Por consiguiente, se indaga acerca de los puntos de conflicto en la capital del Estado de Chihuahua, encontrando varios nodos de conflicto². Y a partir de esta inmersión, se sesga esta investigación enfocándose especialmente en un punto al norte de la capital Chihuahuense, más exactamente en la Av. Circuito Universitario y Av. Paseos de la Universidad. Esta, se identifica como la intersección con mayor número de casos de conflicto. Presenta el índice de siniestros viales más alto de toda la ciudad de Chihuahua.

Una vez identificada esta vialidad, se establece un plan de trabajo, dentro del cual se debe realizar un levantamiento de información existente, un aforo vehicular para conocer la demanda máxima, un estudio de seguridad para establecer cómo se puede mejorar y reducir los índices de siniestralidad vial. Y finalmente, realizar una propuesta que permita solucionar el tema de movilidad y bajar el número de siniestros que se presentan año tras año en la intersección.

¹ INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Proporciona datos estadísticos, geográficos y económicos a nivel nacional para cada entidad federativa en México.

² Nodos conflicto: son puntos que presentan siniestros, accidentes o coaliciones dentro de un cruce.



1.2 Planteamiento del problema

El cruce de Av. Circuito Universitario y Av. Paseos de la Universidad es una intersección de 2 altos ubicados sobre la Av. Paseos de la universidad, el flujo vehicular de la Av. Circuito Universitario es controlado por el semáforo de la intersección anterior sobre la Av. Tecnológico en sentido Este- Oeste. En las horas pico las personas que requieren salir de Av. Paseos de la Universidad deben esperar a que el semáforo proveniente del Tecnológico se ponga en rojo para que ellos puedan cruzar, cuando está en verde cruzar se convierte un problema, que con frecuencia ocasiona siniestros y accidentes viales en la intersección debido a las altas velocidades con la que transitan sobre la Av. Circuito Universitario. Se muestra en la Figura 1 una referencia visual de lo antes mencionado.

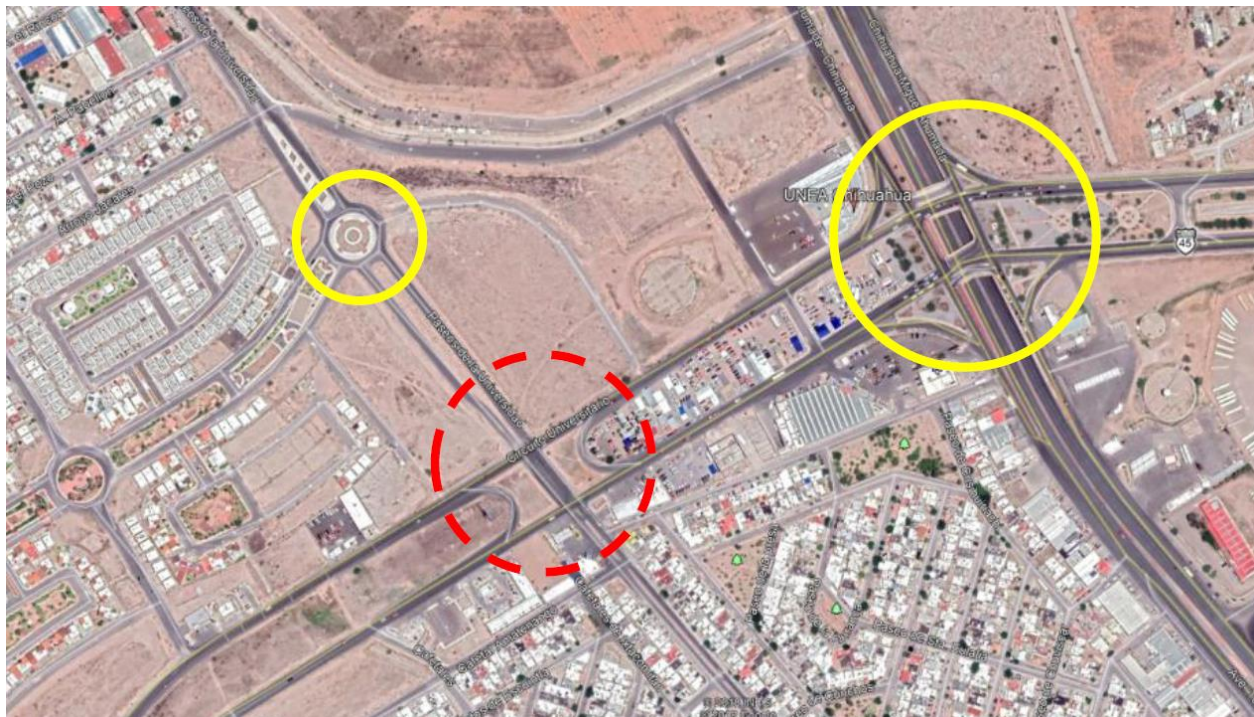


Figura 1. Ubicación del proyecto (Google Maps, 2024)

Según un estudio realizado para la construcción del The Home Depot por la empresa Impacto Vial Soluciones a la medida, calcularon un flujo vehicular de 4200 veh/h en la hora pico para el año 2019. En otro estudio realizado por el Gobierno del Estado Chihuahua, se menciona que para el



2020 HMD³ se tenía 1684 veh/h en la Av. Circuito universitario (Gobierno del Estado Chihuahua, 2020).

La zona de estudio es habitacional, en la cual se ubican diferentes fraccionamientos y zonas de recreación. adicionalmente cuenta, con características particulares de una zona comercial debido al posicionamiento de una tienda de Home Depot que requiere de un comportamiento especial para su tema de abastecimiento y venta de insumos, esto quiere decir, que para su proceso logístico es necesario que ingresen vehículos de distintas dimensiones, lo que también con frecuencia afecta la movilidad de la intersección, pese a que requieren ocupar en algunas ocasiones dos o más carriles para realizar el giro proveniente de la Av. Tecnológico pasando por Av. Circuito Universitario y girando a la derecha por Av. Paseos de la Universidad y así, finalmente ingresar a Home Depot.



Figura 2. Camiones Girando hacia Home Depot (Sanabria, 2023)

Dicho de otro modo, debido a que el cruce requiere de tantos movimientos para salir o incorporarse, se presentan diferentes siniestros y accidentes viales diariamente en la zona de estudio, lo que conlleva a que este lugar debe ser estudiado para conocer su comportamiento vehicular, posterior a esto será necesario realizar un análisis de seguridad vial, para ver si las condiciones de la infraestructura existentes de la intersección, si cumple o no con la demanda vehicular actual.

³ HMD= hora de máxima demanda



Finalmente, si se comprueba que la demanda vehicular ya sobrepasa los límites para una intersección de dos altos, se procederá a realizar una o varias propuestas conceptuales para mejorar la condición de la vialidad estudiada y realizar un aporte social a la comunidad en general para que funcione como complemento de un estudio más a detalle para la implementación de una nueva alternativa dentro de los próximos años.

1.3 Objetivos

Desarrollar un estudio de seguridad vial en la intersección con mayor número de accidentes y definida como nodo conflictivo en Av. Circuito Universitario y Av. Paseos de la Universidad, que se ubica en el Norte de la ciudad de Chihuahua.

1.3.1 Objetivos específicos

- Evaluar las condiciones de operación de la intersección.
 - Identificar movimientos de la intersección
 - Realizar aforo vehicular
 - Determinar hora de máxima demanda
- Identificar los problemas potenciales de seguridad vial de la intersección.
- Establecer una propuesta conceptual que aporte a la reducción de accidentes.

1.4 Alcances

Esta investigación inicia como descriptivo, analizando la infraestructura existente y realizando un detallado levantamiento de información vehicular para posteriormente explicar y correlacionar los datos con los accidentes viales, estableciendo una relación usuaria, vía y vehículo. Todo esto, para poder entender por qué ocurre congestionamiento vehicular y siniestros.

Una vez analizado cada uno de los componentes mencionados anteriormente se pretende dar un conocimiento ingenieril que sustente una reducción de accidentes y se pueda proteger la integridad física de los usuarios.



1.5 Justificación

El propósito por el cual se realiza esta investigación es que desea contribuir desde la Maestría en Vías Terrestres un aporte social, para salvaguardar la integridad física de las personas que arriesgan su vida en la intersección Av. Circuito Universitario y Av. Paseos de la Universidad al momento de realiza giros por salida o por incorporación dentro de la intersección.

El problema de la intersección ha ocasionado fatalidades, se caracteriza como nodo conflictivo siendo uno de los cruceros con mayor número de siniestros y gran demanda vehicular que permite el paso a diferentes centros de actividades, asimismo forma parte de una infraestructura vial importante para la ciudad de Chihuahua. Por tal razón, conviene establecer unos fundamentos teóricos y prácticos que permitan entender por qué ocurren estos accidentes y cómo a partir de la ingeniería se pueden evitar estos accidentes.

Se realiza un levantamiento de la información básica de la intersección, se inicia un detallado proceso de análisis para determinar cuáles son las causas por las que ocurren estos sucesos en la intersección. Para esto, ha de ser necesario estudiar la composición de la infraestructura existente. Una vez identificado esto. Se puede correlacionar con los siniestros encontrados y así poder saber cuáles son las causas por las que ocurren estos acontecimientos.

Finalmente, será necesario establecer la relación clave que debe existir entre usuario, vía y vehículo. Para que los índices de siniestralidad vial bajen en la intersección a estudiar.



2 Capítulo 2: Marco Teórico

2.1 Conceptos básicos

Siniestros de tránsito: Se entiende por siniestro a todo hecho que pudo haber sido evitado, es decir, son situaciones previsibles. (Hipotecario Seguros, 2022)

Accidente de tránsito: Se entiende por accidente a todo hecho fortuito e involuntario, son situaciones que se dan de manera casual e inesperada. (Hipotecario Seguros, 2022)

Vía: Es un espacio donde se desarrolla el tránsito. Se entiende que toda calle, avenida o bulevar que este en camino abierto al uso público se denomina vía. También se encuentran vías en zonas rurales caminos de terracería o carreteras que conectan de un lugar a otro. (Gobierno de Perú, 2007)

Usuario de la vía: El usuario es el primer y más importante elemento dentro de una vía, se refiere a usuario a quien requiere o tenga la necesidad de moverse de un lugar a otro por medio de un camino o una vía (Díaz, Pérez, Gómez, & Corporán, 2012).

Intersección: Es el punto donde se interceptan dos o más vías en un paso, ya sea a nivel o desnivel, busca articular los flujos vehiculares en una vialidad, con el objetivo de incrementar la capacidad vehicular, mejorar los tiempos de viaje y disminuir los siniestros y/o accidentes en una vía (Secretaría de Movilidad, 2019).

Diseño geométrico: Como su nombre lo indica, el diseño consiste en un trazo espacial sobre determinado terreno, acoplándose a sus características y condiciones climáticas. El diseño geométrico es un proceso iterativo, donde se va proyectando una alternativa de modelo espacial de una vía. Existen diferentes elementos que dan forma a una vía entre los cuales se destaca pendiente, sobreelevación, bombeo, obras de drenaje, etc. (García García, Pérez Zuriaga, &



Camacho Torregrosa, 2012). Por lo cual, se requiere de la verificación de los elementos geométricos del alineamiento horizontal y vertical que conforman la vía de acuerdo al Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, dado que estos alineamientos influyen indirectamente en las tasas de accidentes de tránsito y, por lo tanto, en la ejecución del estudio de seguridad vial.

Señalización: Es un sistema de señalización que reglamenta, informa y previene a los usuarios en las vías en zonas urbanas o zonas rurales. Las señales ayudan al usuario como guía en el camino (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014).

Señalización vertical: Es el conjunto de señales en tableros con leyendas y pictogramas. Cuentan con una base y un poste para poner los tableros. Se clasifican en informativas, preventivas y restrictivas (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014).

Señales informativas: Son aquellas que indican lugares y son de color azul (servicios y turismo), verde (destino), blancas con escudo (identificación), blancas (recomendación e informacional general) (ApoyoVial.net, 2016).

Señales preventivas: Son las señales de color amarillo con negro cuyo propósito es alertar a los usuarios sobre posibles peligros o modificaciones en el trayecto. (Totalmente Reflejante, s.f).

Señales restrictivas y/o prohibición: Estas señales son de color rojo y advierten sobre las restricciones físicas o reglamentarias en la circulación. (Totalmente Reflejante, s.f)

Señalización Horizontal: Es el conjunto de marcas y dispositivos pintados o instalados sobre el pavimento, así como de elementos, bordillos y estructuras, cuyo objetivo es definir la geometría de una vía o carretera. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014).



2.2 Seguridad vial

2.2.1 ¿Cuál es el origen de la seguridad vial?

París forma parte clave del desarrollo de la seguridad vial, para 1769 se inicia el cambio de transporte animal, por coches (triciclos) a vapor una vez la gente empezaba a comprar se iba asociando más la idea de que estos vehículos generaban mayor peligro (An Abertis Company, 2017).

Con el pasar del tiempo, la evolución del vehículo hizo que para principios del siglo XX subieran considerablemente los accidentes de tránsito. Tanto así, que Estados Unidos se convirtió en uno de los países con la primera causa de muerte accidental sobre la cual caía la culpa al conductor y no a la máquina. (An Abertis Company, 2017).

Fue normal ver que la gente mezclaba alcohol y velocidad. Así que a partir de este suceso se crea una serie de normas y controles de cómo debían comportarse los conductores para evitar accidentes.

El control del tráfico tuvo lugar en Londres donde a los carruajes se les controlaba por una persona que direcciona el tráfico con las manos. Más adelante, se dio pie a la invención del primer semáforo a cargo de Garret Morgan, quien a partir de dos señales de pare y siga. Luego de esto la patente de esta invención es comprada por General Electric y son ellos quienes desarrollan lo que hoy conocemos como semáforo. (SICE, 2023).

En Estados Unidos, para 1935 se crea el primer manual sobre Sistemas Uniformes de control de tráfico, en el cual se explicaban las señales de tráfico de una manera estandarizada y con algunos códigos que se manejaban en aquel entonces.

Volvo, una gran empresa de construcción de vehículos inicia una inmersión sobre temas de seguridad en sus vehículos. Patentando los primeros cinturones de seguridad, tras muchas pruebas finalmente dieron con el cinturón de tres puntos que conocemos en la actualidad. Esto sin duda, marca un quiebre importante para comenzar una evaluación de la seguridad del usuario que se continuaría estudiando. (An Abertis Company, 2017).



Años más tarde en 1968, ocurriría una regularización con países de Europa, Asia y África. En cuanto a temas de señalización y estandarización de normas de seguridad en la carretera (An Abertis Company, 2017).

En Estados Unidos, se iniciaban estudios de carreteras en el cual vinculaban factores como condiciones climáticas, estado del conductor, tipos de superficie que permitían estudiar el comportamiento bajo diferentes condiciones y así poder establecer como se podía prevenir o reducir los índices de accidentabilidad. (AASHO, 1960).

Los avances de seguridad vial fueron adentrándose más y más sobre los deportes a motor iban dejando un mayor número de fatalidades con el paso del tiempo, por esta razón muchos fabricantes de vehículos fueron implementando estrategias para mejorar las condiciones de seguridad de los conductores y así se fue marcando el desarrollo de la seguridad vial.

2.2.2 ¿Qué es seguridad vial?

Los accidentes son los principales problemas en las ciudades y carreteras, pese a que la humanidad se ha ido expandiendo y desarrollando a lo largo del tiempo. Por consiguiente, el crecimiento en cuanto a la infraestructura vial requiere ser controlada por medio de la implementación de un conjunto de acciones y mecanismos que garanticen la seguridad de los usuarios y los peatones en la vía. Para poder garantizar la seguridad vial, se debe tener una relación entre el usuario, la vía y el auto.

La seguridad vial se define como las acciones orientadas a prevenir, controlar y disminuir los índices de accidentabilidad tanto por lesiones como por muertes a las que se enfrenta el usuario durante determinado viaje en una vía (ANSV, 2013).

Otros autores como Jara Niño & Mestre Hernández (2020) han informado en su documento que la seguridad vial es la predicción más deseable de una situación futura a partir de postulados teóricos que actúan de forma diferente según sean ingresada la información.



Sin embargo, existen otras definiciones de la seguridad vial se refiere al conjunto de acciones y mecanismos destinados a asegurar un funcionamiento adecuado de la circulación del tráfico. Esto se logra a través de la aplicación de conocimientos especializados y el cumplimiento de normas de conducta. Estos principios, descritos en la Cultura Vial (2011), buscan promover prácticas que garanticen una circulación segura y eficiente en las vías. Y se relacionan otros escenarios que contribuyen a la influencia de la ocurrencia de estos accidentes, primero: factor humano, segundo: diseño geométrico, y tercero: los vehículos.

En la actualidad, la seguridad vial es una cuestión de alta prioridad para los gobiernos, y esta preocupación se fundamenta en tres razones principales:

- Primero, se busca proteger la vida y la integridad física de los ciudadanos. Los accidentes de tráfico pueden causar graves lesiones y pérdidas humanas, por lo que garantizar una circulación segura es esencial para salvaguardar a la población.
- En segundo lugar, la seguridad vial tiene un impacto significativo en la economía. Los accidentes no solo generan costos médicos y daños materiales, sino que también afectan la productividad laboral y las infraestructuras. Por lo tanto, invertir en seguridad vial puede contribuir a una economía más estable y eficiente.
- Tercero, la gestión adecuada de la seguridad vial ayuda a mejorar la calidad de vida en las ciudades y comunidades. Una circulación más segura reduce el estrés y los conflictos en las vías, promoviendo un entorno urbano más ordenado y agradable para todos.

Finalmente, garantizar la integridad física, mejorar la movilidad de los usuarios, y una razón netamente socioeconómica, se han ido creando un conglomerado de normas tanto de diseño geométrico de vías como para seguridad vial, con el fin de prevenir accidentes de tránsito y minimizar sus consecuencias (Camino y Puentes Federales, 2022).



2.2.3 Tipos de seguridad

Existen diferentes tipos de seguridad en relación con la seguridad vial, en el siguiente apartado se mencionan.

2.2.3.1 Seguridad activa

La seguridad activa tiene como objeto evitar que el accidente suceda, generalmente suele aplicarse al factor humano, a los vehículos y a las vías. Para clarificar esto observe la Figura 3.

2.2.3.2 Seguridad pasiva

La seguridad pasiva es la que trata de disminuir al máximo la gravedad de las lesiones, es decir ayuda a afrontar una vez ocurrido un siniestro. Para clarificar esto observe la Figura 3.



Figura 3. Seguridad pasiva y seguridad activa (Pérez, 2021)



2.2.3.3 Seguridad nominal

La seguridad nominal, se relaciona con lo legal o normativo. En muchos países existen normas y cada lugar aplica de distintas formas según su región. Se puede implementar el cumplimiento de las normas y en caso de que se presente una eventualidad y/o accidente vial. Será necesario identificar la zona y analizar si ha incumplido las normas con el fin de clarificar lo sucedido (Dexter, 2010 como citó en (Revilla, 2023)).

Las personas encargadas de desarrollar estas normas son ingenieros que han calculado parámetros de diseño de una vía especificando radios mínimos de curvas, sobreelevaciones, pendientes y otros elementos que son clave al momento de diseñar.

2.2.3.4 Seguridad sustantiva

La seguridad sustantiva es la cuantificación de unos datos por ocurrencia de los accidentes, es decir, se relaciona con probabilidades y estadísticas. Este es un análisis que puede evaluar una vez que se ha descubierto un punto donde con frecuencia se presentan accidentes. Y a partir de esta información se puede establecer si es seguro o no.

2.2.3.5 Percepción de seguridad

Cada conductor tiene la capacidad de percepción de la seguridad, es decir cada persona tiene la habilidad suficiente para percibir un evento de riesgo. Sin embargo, es fundamental, que los arquitectos e ingenieros diseñen entornos y espacios públicos que integren vía, usuarios y vehículos. Para que con estos elementos exista una percepción que ayude al usuario a no tener ningún riesgo que afecta su integridad.

2.3 Conceptos de ingeniería de tránsito

La ingeniería de tránsito es la ingeniería detrás del transporte, es decir, se encarga de planear, proyectar a través de diseño geométrico la operación del tránsito tanto en zonas urbanas como en zonas rurales. Es común ver aplicación de ingeniería en tránsito en vías terrestres. Tanto en carreteras y vías, como también aplicación para sistemas de vías férreas, entre otros (Quintero, 2016).



2.3.1 Elementos del tránsito

Los elementos del tránsito son clasificados en tres elementos 1) usuario 2) vía y 3) vehículo.

2.3.1.1 Usuario

El usuario juega el papel más importante dentro de la ingeniería de tránsito, es un sujeto dentro de un entorno que puede actuar como conductor o peatón. Donde puede ocupar varios roles, si va como conductor puede realizar maniobras en el tránsito salvaguardo la seguridad de peatones, pero si su rol es de peatón puede estar más vulnerable a que un automotor (conductor) actúe de manera diferente y afecte la integridad del peatón.

2.3.1.1.1 Clasificación de usuarios

- Peatón: son los usuarios que caminan por un entorno urbano o rural en un costado anexo a la vía.
- Conductor: es la persona que va sobre un vehículo motorizado o no motorizado, que puede llegar a afectar la integridad física de otros peatones, conductores y/o pasajeros.
- Pasajeros: son pasajeros las personas que se encuentran realizando un uso de un sistema de movilidad bien sea auto, autobús o cualquier otro medio de transporte.

2.3.1.2 Vía

Se entiende por vía como el elemento principal dentro de la infraestructura de un sistema de transporte, es un corredor mediante el cual diferentes usuarios (conductores y peatones) transitan para movilizarse del punto A al punto B.

Generalmente estas vías suelen estar acompañadas por unas banquetas en zonas urbanas, y por sobre anchos en zonas rurales.

A continuación, se presenta una sección transversal típica ver Figura 4.

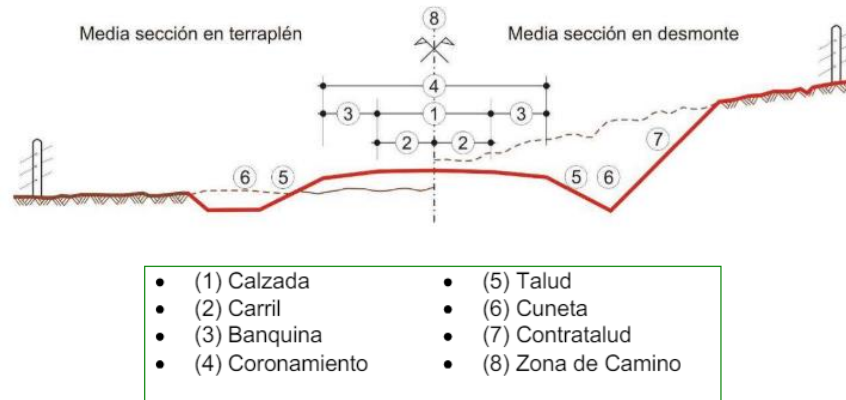


Figura 4. Sección transversal (DNV, 2016).

2.3.1.2.1 Clasificación de las vías urbanas

En México, la clasificación de las vías esta descrita por (Escuela Drive, s.f):

2.3.1.2.1.1 Vías de primer orden

Las vías primarias facilitan el flujo de tránsito vehicular continuo o controlado por semáforos,

2.3.1.2.1.2 Vías secundarias

Las vías secundarias son las vías que conectan las colonias, son vías un poco más angostas que las vías primarias y en algunas ocasiones se puede estacionar a los lados.

2.3.1.2.1.3 Vías de acceso controlado

Son las vías a desnivel generalmente conectadas con vías primarias; cuentan con accesos de incorporación y desincorporación, todo esto debe ocurrir en carriles de aceleración y desaceleración.

2.3.1.2.1.4 Vías de tránsito lento

Son una zona delimitada por distintos colores representativos como amarillo o azul, marcando pasos por zonas escolares, hospitales o zonas de diversión como parques y polideportivos.

2.3.1.2.1.5 Vías peatonales

Son vías destinadas al uso exclusivo de peatones y personas con capacidad reducida⁴. Se encuentran las banquetas, rampas, puentes y cruces peatonales.

⁴ Capacidad reducida: personas con discapacidad o movilidad limitada.



2.3.1.3 Vehículo

Es un medio de transporte mediante en el cual las personas pueden ir de un lugar a otro. Existen transportes motorizados y no motorizados.

2.3.1.3.1 Transportes motorizados

Se entiende por transportes motorizados todos los vehículos que usan batería para su movilidad dentro de esta categoría se destacan la mayoría de los vehículos.

- Motos
- Autos
- Autobuses
- Camiones
- Entre otros

2.3.1.3.2 Transportes no motorizados

En esta categoría se destacan los transportes que funcionan sin necesidad de una batería, pero que especialmente requieren de un movimiento mecánico.

- Bicicleta
- Triciclo
- Patineta
- Patines



Figura 5. Movilidad sostenible un paso al futuro (UMH, 2022)

La movilidad sostenible abarca sistema de transporte que reduzcan significativamente las emisiones de gases contaminantes haciendo uso de bicicletas, patinetas o viajes a pie.



2.3.2 Características de tránsito

2.3.2.1 Volumen

Se define como el número de vehículos que pasan por un punto, carril o calzada, durante un periodo de tiempo determinado.

2.3.2.2 Velocidad

Se define como la tasa de desplazamiento, expresada como distancia por unidad de tiempo, en km/h

2.3.2.3 Densidad

La densidad es el número de vehículos (personas) que ocupan una longitud determinada de un canal o de una vía en un instante particular se expresa en (veh/km).

2.3.2.4 Tiempos de recorrido y demoras

Los tiempos recorridos de un lugar a otro son importantes en tránsito para poder determinar velocidades, hay tiempos de demora que son tenidos en cuenta al momento que se generan colas de vehículos en el tránsito.

2.3.2.5 Intervalos entre vehículos

Para un movimiento determinado es definido como el intervalo al tiempo que puede existir entre un vehículo y otro.



2.3.2.6 Composición vehicular en el tráfico

En México existe una configuración de vehículos sobre el sistema carretero, mediante el cual se clasifican como se observa en las siguientes tablas de nomenclatura según el tipo de vehículo.

Tabla 1. Nomenclatura de vehículos o configuración (NOM-012-STC-2-2017 , 2017)

CLASE: VEHÍCULO O CONFIGURACIÓN	NOMENCLATURA
AUTOBÚS	B
CAMIÓN UNITARIO	C
TRACTOCAMIÓN	T
CONVERTIDOR	D
CAMIÓN REMOLQUE	C-R
TRACTOCAMIÓN ARTICULADO	T-S
TRACTOCAMIÓN DOBLEMENTE ARTICULADO	T-S-R Y T-S-S

Tabla 2. Nomenclatura autobús (B) (NOM-012-STC-2-2017 , 2017).

AUTOBÚS (B)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
B2	2	6	
B3	3	8 o 10	
B4	4	10	



Tabla 3. Nomenclatura camión unitario (C) (NOM-012-STC-2-2017 , 2017).

CAMIÓN UNITARIO (C)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
C2	2	6	
C3	3	8-10	
CAMIÓN-REMOLQUE (C-R)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
C2-R2	4	14	
C3-R2	5	18	
C2-R3	5	18	
C3-R3	6	22	

Tabla 4. Nomenclatura tracto camión articulado (T-S) (NOM-012-STC-2-2017 , 2017).

TRACTOCAMION ARTICULADO (T-S)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T2-S1	3	10	
T2-S2	4	14	
T2-S3	5	18	
T3-S1	4	14	
T3-S2	5	18	
T3-S3	6	22	

Tabla 5. Nomenclatura tracto camión semirremolque-remolque (T-S-R)



TRACTOCAMIÓN SEMIRREMOLQUE-REMOLQUE (T-S-R)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T2-S1-R2	5	18	
T2-S2-R2	6	22	
T2-S1-R3	6	22	
T3-S1-R2	6	22	
T3-S1-R3	7	26	
T3-S2-R2	7	26	
T3-S2-R3	8	30	
T3-S2-R4	9	34	
T2-S2-S2	6	22	
T3-S2-S2	7	26	
T3-S3-S2	8	30	



2.4 Calidad del servicio de la infraestructura

Existen diferentes formas de realizar evaluaciones de servicio de la infraestructura. Sin embargo, antes de abordar métodos de evaluación es necesario entender conceptos básicos para la aplicación de evaluaciones de servicio de infraestructura.

2.4.1 Capacidad

La capacidad es una característica compleja y multidimensional afectada por la infraestructura, los vehículos, la tecnología, leyes y normativas vigentes que regulan o controlan la operatividad del sistema. (Espejel, 2022).

Otros factores adicionales, como instituciones vinculadas a la rama de la ingeniería de tránsito. En la teoría clásica se pueden tener dos tipos de capacidad:

1. Sistemas de transporte económicos y de baja capacidad
2. Sistemas de transporte más costoso y de alta capacidad

Para determinar cuál es mejor se deben analizar y tomar decisiones, conociendo necesidad y lo que requiere determinada ciudad.

2.4.2 Costo

Se entiende por costo a todo el proceso del costo operación vehicular, un precio estimado de lo que vale hacer uso de un vehículo cualquiera que sea.

2.4.3 Nivel de servicio

El concepto de nivel de servicio está relacionado con la compensación del costo y la capacidad. El nivel de servicio está proporcionado por el transporte en función del volumen de tránsito.

En los Estados Unidos desarrollaron el “Highway Capacity Manual 2010 (HCM 2010)”. En este, se determinan los niveles de servicio con los cuales operan diferentes países, adaptándolo a su geometría y estableciendo un Tránsito Diario Anual (TDA).

El nivel de servicio es una clasificación para caracterizar las condiciones de operación del tránsito. El HCM 2010 se establecen seis niveles de servicios A.B.C.D.E y F. Siendo A la valoración más alta con una condición excelente y F la más baja con la peor condición (Ver Tabla 6) (HCM, 2010).

Tabla 6. Niveles de servicio (LOS, Leves of Service) (HCM, 2010).

Nivel de Servicio	Concepto	Demoras Promedio (seg/veh)	Clasificación
A	Condición de flujo libre con bajos volúmenes de tránsito y altas velocidades. Los conductores tienen poca restricción para maniobrar y pueden mantener la velocidad deseada con poca demora.	0 - 10	 (a) LOS A <u>Excelente</u>
B	Las velocidades de operación están un poco restringidas por las condiciones del tránsito. Los conductores mantienen una considerable libertad para maniobrar y mantener la velocidad deseada con poca demora.	10-15	 (b) LOS B <u>Muy bueno</u>
C	Volúmenes de tránsito más altos controlan las velocidades y la posibilidad de maniobrar. Los conductores tienen restricciones para cambiar de carril, rebasar y mantener la velocidad deseada. Se producen demoras de bajas magnitudes.	15-25	 (c) LOS C <u>Bueno</u>
D	La condición de flujo se acerca a la inestabilidad, con velocidades tolerables mantenidas pero afectadas por los cambios operacionales del tránsito. Los conductores tienen poca libertad para maniobrar. Demoras de magnitudes aceptables.	25-35	 (d) LOS D <u>Aceptable</u>
E	Condición de flujo inestable, con altos volúmenes de tránsito y bajas velocidades. Los conductores tienen muy poca libertad para maniobrar y el flujo puede tener interrupciones momentáneas. Demoras considerables.	35-50	 (e) LOS E <u>Falta capacidad</u>
F	Condición de flujo congestionado, donde la velocidad de circulación es extremadamente baja, resultando en demoras significativas.	>50	 (f) LOS F <u>Malo</u>



2.4.4 Consideraciones para Capacidad, costo y Nivel de servicio

- Los vínculos entre capacidad, costo y nivel de servicio es un desafío central del diseño de sistemas de transporte.
- Si no se invierte en capacidad, el nivel de servicio puede no ser competitivo. Si se sobre invierte, el nivel de servicio puede ser bueno pero los costos se elevarán y los precios no son competitivos.
- Tomar esta decisión involucra las inversiones incómodas y la relación nivel de servicio volumen.

2.4.5 Infraestructura vial

Los entornos compuestos por infraestructura vial, incrementan el valor comercial de los lugares, es decir incrementa su plusvalía⁵. La infraestructura vial, es un sistema terrestre que facilita el desplazamiento de las personas de forma segura y confiable (IMPLAN, 2016). Su ubicación es clave para el desarrollo de ciudades, municipios y para el desarrollo general de un país. Es por esto, que se debe realizar una construcción y se debe realizar un respectivo mantenimiento para mantener en buenas condiciones esta infraestructura.

Chihuahua cuenta con 15 distribuidores viales, 28 puentes vehiculares, 335 km de vías primarias, 15 pares viales, 68 km de circuito interior y 94 km de libramientos. Todo esto, conecta con los puntos de producción y consumo dentro de la ciudad (IMPLAN, 2016).

En distintos puntos de la ciudad se presentan diferentes problemas de inseguridad vial, y esto es debido a la falta de una mejora o modernización en cuanto a temas de seguridad vial. Dentro de las que se destacan falta de guarniciones, falta de elementos de protección y señalización.

A continuación, se presenta infraestructura vial existente en la Figura 6.

⁵ Plusvalía: es el aumento en el valor de una propiedad a lo largo del tiempo, influenciado por diversos factores como la accesibilidad, su ubicación en el entorno urbano, los servicios e infraestructura disponibles, así como el valor urbano y arquitectónico.. (BBVA, s.f)

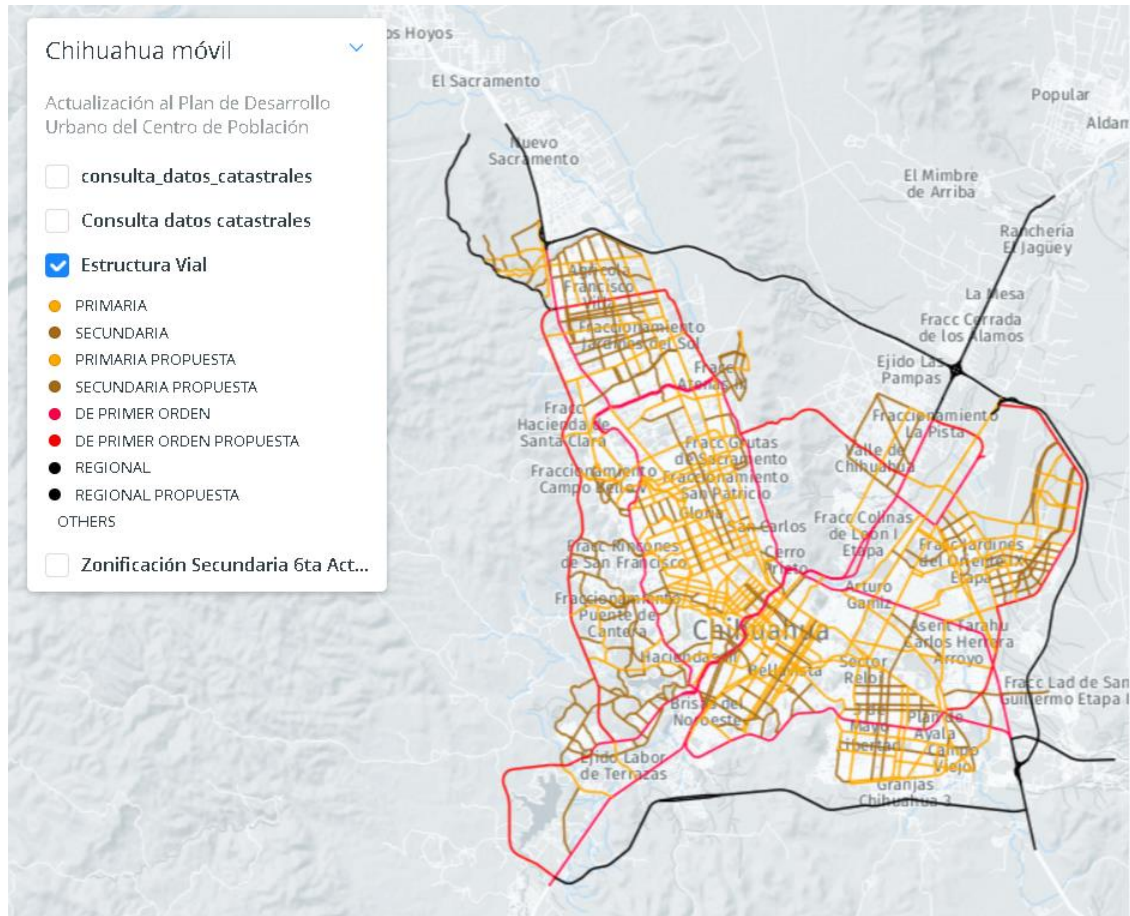


Figura 6. Infraestructura vial Chihuahua (IMPLAN, 2020).

2.5 Intersecciones

Las intersecciones son áreas en común que tienen dos o más vías, funcionan para poder realizar algún cambio de dirección (UNI, 2008). La configuración particular de cada intersección determina su forma de ser abordada, toda intersección requiere de una toma de decisión del conductor según su ruta de elección. En cualquier intersección siempre se suele presentar un conflicto entre la toma de decisiones de los conductores, que en ocasiones generan choques o accidentes graves, por otros factores externos como velocidad y vehículo. Sin embargo, hay formas de controlar estas intersecciones reduciendo las posibilidades de conflicto y determinando unas áreas dentro de las mismas para posibilitar el paso de vehículos de un lado al otro según como sea el tipo de intersección.



2.5.1 Clasificación de las intersecciones

La clasificación de las intersecciones se relaciona con tres grupos desnivel sin rampas, desnivel con rampas, intersecciones a nivel.

2.5.1.1 Desnivel sin rampas

Las intersecciones a desnivel cuentan con estructuras que distribuyen el tráfico para que cruce a niveles diferentes sin interrupciones (distancias verticales) (UNI, 2008).

2.5.1.2 Desnivel con rampas

Se conocen como desnivel con rampas a los distribuidores viales son proyectos que se planean con el objetivo de liberar embotellamientos que se presentan en determinadas vías que suelen ser muy concurridas (VISE México, 2022).

2.5.1.3 Intersecciones a nivel

Como su nombre lo indica son intersecciones a nivel, con frecuencia suelen ocurrir conflictos entre los vehículos al momento de cruzar.

- Ramales en T y Y
- Ramales en “cruz” y “equis”
- Ramales múltiples
- Glorietas o rotondas



Tabla 7. Tipos de intersección T, Y, + y X (Gobierno de México, 2019).

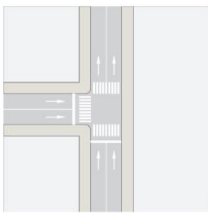
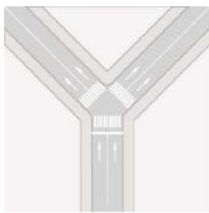
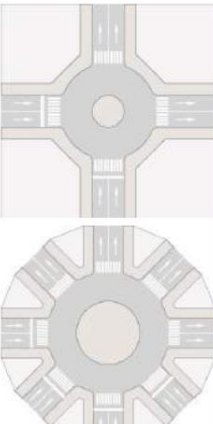
Intersecciones	Perpendiculares	Oblicuas
3 Ramales	en T 	en Y 
4 Ramales	en cruz 	en equis 

Tabla 8. Tipos de intersección + y X (Gobierno de México, 2019).

Intersecciones	Perpendiculares	Oblicuas
Múltiples		—
Glorietas/ rotondas		—

2.5.2 Intersecciones no semaforizada HCM-2010

Según el HCM 2010, existen tres tipos de intersecciones no semaforizadas consideradas:



1. Intersecciones con prioridad “Two-way stop controlled” (TWSC)
2. Intersecciones sin prioridad “All-way stop controlled” (AWSC)
3. Glorietas o “Roundabout”

Se deben seguir los siguientes pasos para intersecciones no semaforizadas, sin embargo, ha de ser necesario analizar primero el tipo de intersección porque en algunas ocasiones conviene aplicar determinada metodología para cada intersección de una forma diferente según sea la geometría de la intersección.

2.5.2.1 Intersecciones con prioridad “Two-way stop controlled” (TWSC)

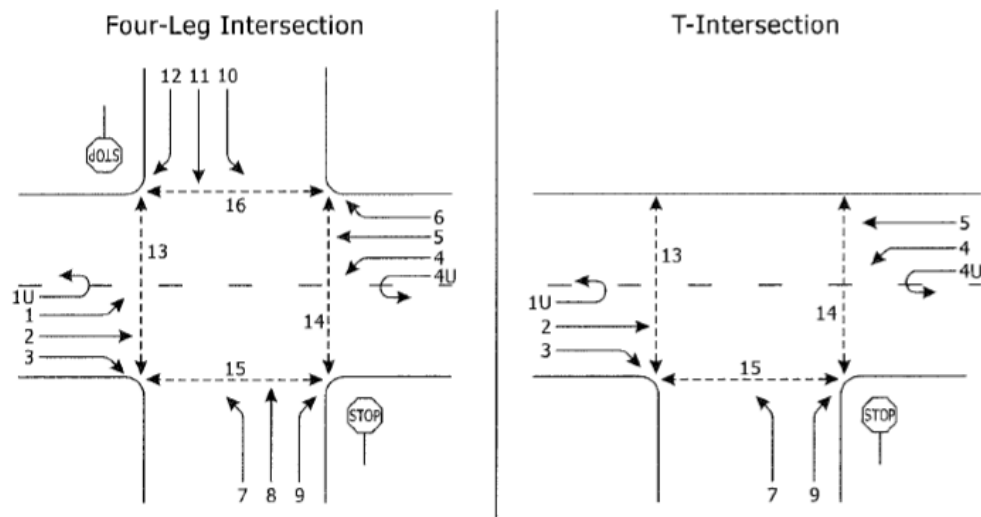


Figura 7. Movimiento para intersección de 4 ramales y en T (HCM, 2010)

Según el HCM (2010), los movimientos se pueden clasificar según la prioridad del derecho de paso de la siguiente forma:

- Movimientos de Rango 1: abarcan el tráfico directo en la calle principal, los vehículos que giran a la derecha desde la calle principal y los peatones que cruzan la calle secundaria.
 Ramal de 4 puntas: Rango 1: 2, 3, 5 y 6 movimiento vehicular y peatonales (15 y 16).
- T: Rango 1: 2,3,5 y el 15 peatonal.
- Los movimientos de Rango 2: (subordinados al Rango 1) incluyen tráfico de giro a la izquierda y giro en U desde la calle principal, tráfico de giro a la derecha en la calle principal y movimientos de peatones que cruzan la calle principal (supuestos para este procedimiento).



- Ramal de 4 puntas: Rango 2: 2,3 y 6 movimiento vehicular y peatonales (15 y 16).
 - T: Rango 2: 4 y 9 movimiento vehicular y peatonal (13 y 14).
- Los movimientos de Rango 3: (que tienen menor prioridad respecto a los Rangos 1 y 2) incluyen el tráfico que circula por la calle secundaria en una intersección de cuatro vías y el tráfico que gira a la izquierda desde la calle secundaria en una intersección en T).
- Ramal de 4 puntas: Rango 3: 8 y 11 movimiento vehicular.
- Los movimientos de Rango 4: (que tienen la menor prioridad respecto a los demás) comprenden el tráfico que gira a la izquierda desde la calle secundaria. Estos movimientos de Rango 4 se producen únicamente en intersecciones de cuatro vías.
- Ramal de 4 puntas: Rango 4: 7 y 10 movimiento vehicular.

En general, el orden de prioridad prima por derecha y por aproximación. Para este documento se omiten giros en U y no se tienen presente movimientos peatonales pese que al momento de realizar los aforos vehiculares no se encontró un numero alto de personas que cruzan la intersección estudiada.

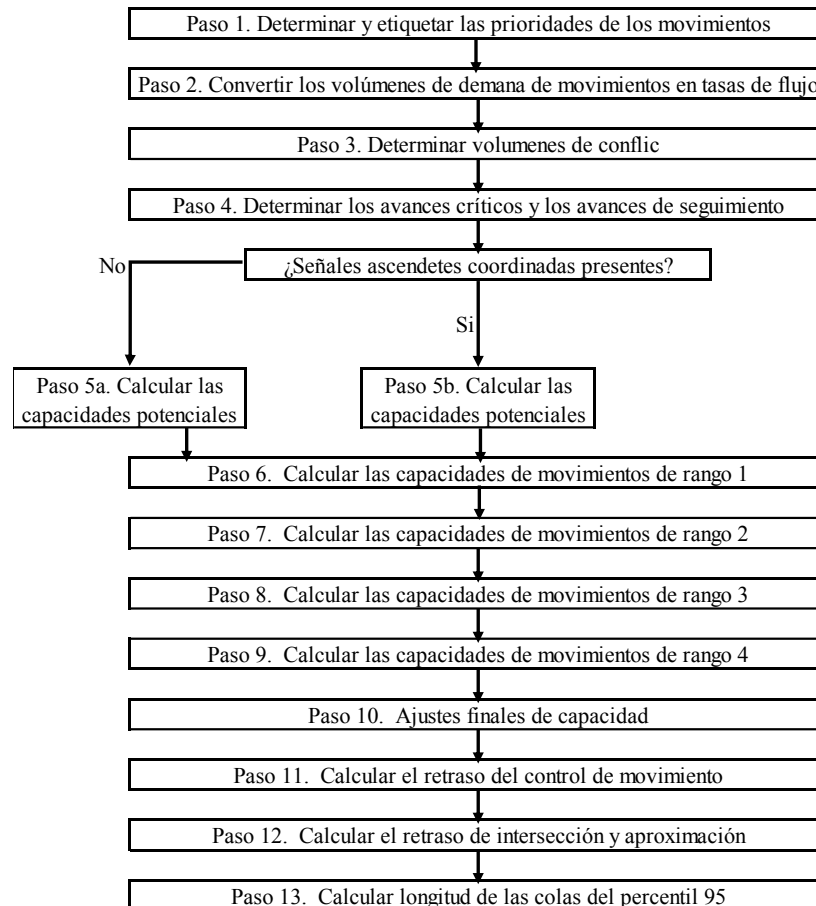


Figura 8. Metodología de intersección TWSC (HCM, 2010).

2.5.2.2 Intersecciones sin prioridad “All-way stop controlled” (AWSC)

Las intersecciones con 4 altos, nos las más implementadas en la actualidad, funcionan para controlar paulatinamente el sistema de la intersección y permiten, que el usuario frene y pueda tomar una decisión para continuar su camino. Es parte fundamental que se le dé prioridad al usuario que aborda en primer lugar la intersección y así sucesivamente con los demás usuarios. Sin embargo, si dos llegan al tiempo uno debe dar prioridad al otro para que este cruce.

Hay distintas formas de analizar los conflictos que se generan en este tipo de intersecciones el HCM 2010 establece teoría de la siguiente forma.

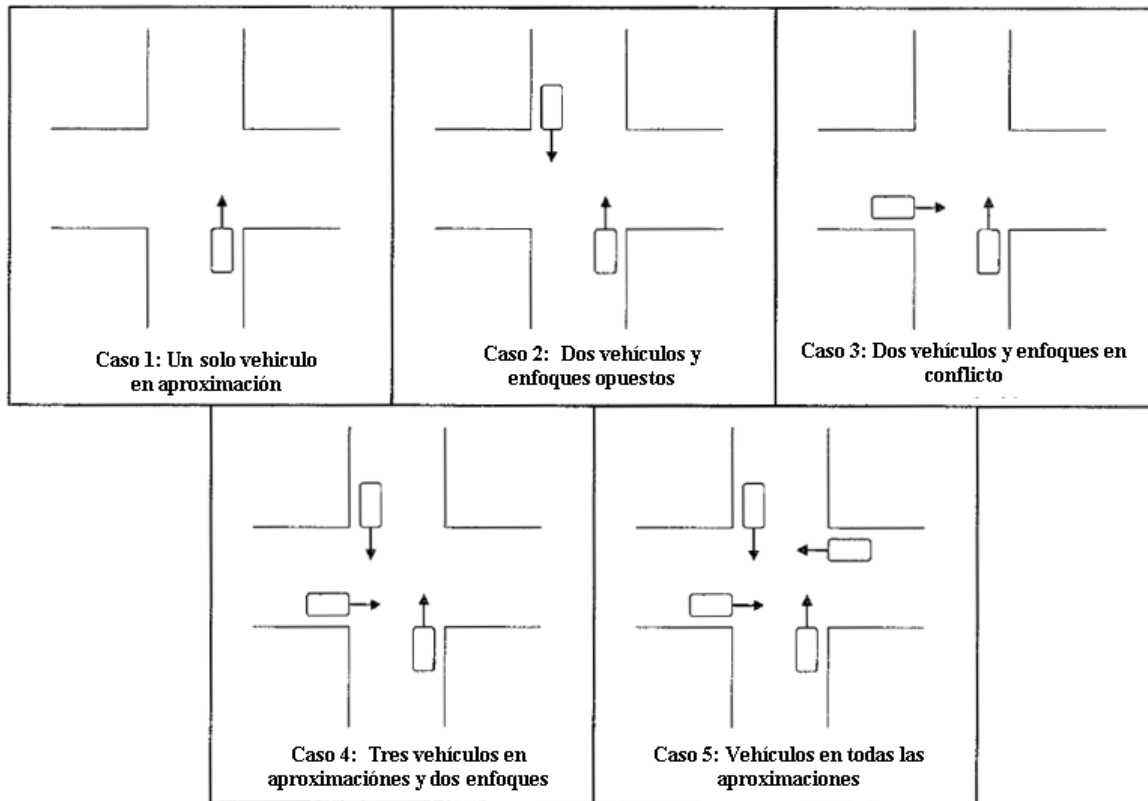


Figura 9. Caso de análisis para intersecciones AWSC (HCM, 2010).

El tiempo abordó de la intersección variará de acuerdo al tipo de conflicto generado en la intersección al momento de abordarla.

Entonces una operación de una intersección AWSC, puede describirse como indica el (HCM, 2010).

- Intervalo de saturación: es el tiempo entre salidas sucesivas de vehículos en una aproximación dada a partir de un caso en particular.
- Intervalo de salida: es el tiempo promedio entre las salidas de vehículos sucesivos en una determinada aproximación teniendo en cuenta la probabilidad de cada caso posible.
- Tiempo de servicio: es el tiempo medido que pasa un vehículo en primera posición esperando para salir. Es igual al intervalo de salida menos el tiempo que tarda un vehículo en pasar de la segunda posición a la primera posición.

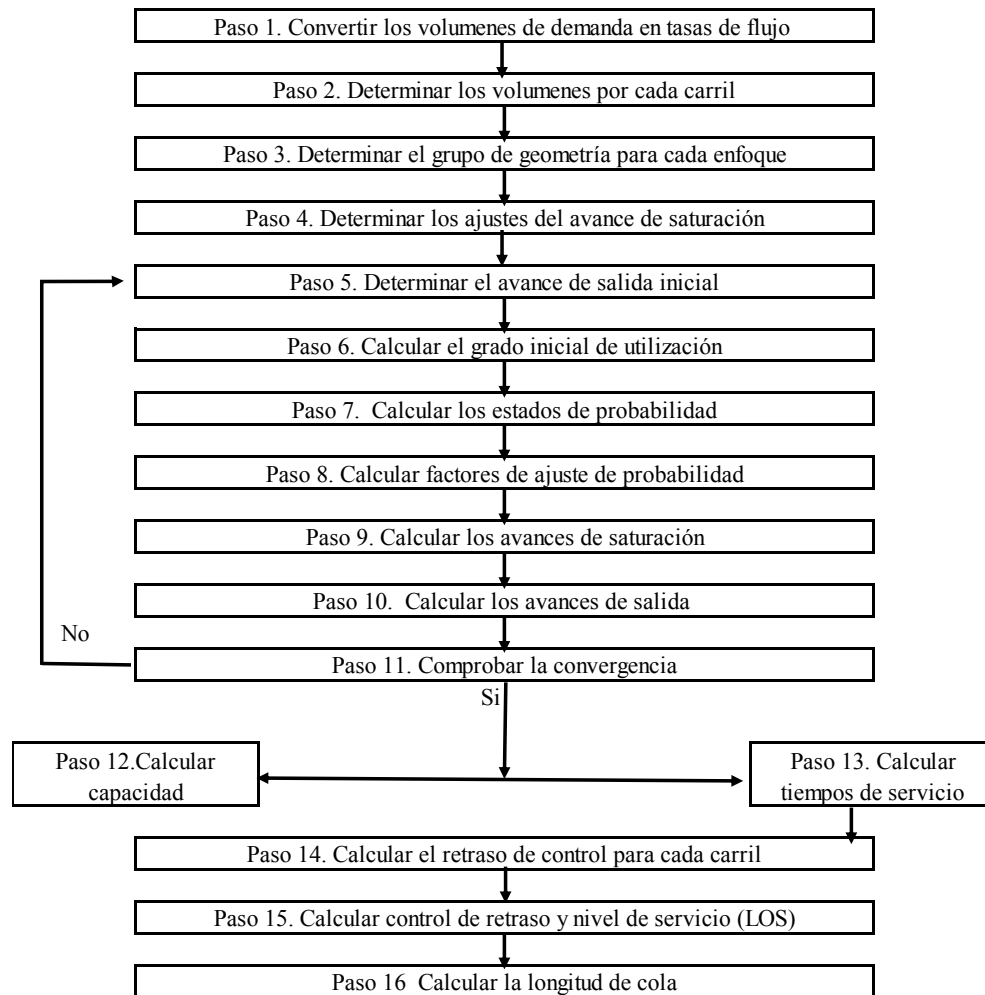


Figura 10. Metodología de intersección AWSC (HCM, 2010).

2.5.2.3 Glorietas o “Roundabout”

Las glorietas son la solución más segura y confiable para implementar intersecciones, lamentablemente en Latinoamérica y en especial en México los usuarios no saben cómo abordar una glorieta de una manera eficiente y rápida. A diferencia de las metodologías implementadas anteriormente, no lleva prioridad quien va a la derecha, sino quien está dentro de la intersección en este caso dentro de la glorieta. (Hernández, 2023)

Según el (HCM, 2010). Se deben tener en cuenta tres momentos clave para las glorietas.

1. Saber cuándo entrar a la glorieta



2. Como circular interiormente
3. Cómo salir de la glorieta

Entrada: observar a la izquierda, reducir velocidad y dar prioridad a los que van adentro.

Al interior: si va a salir próximamente usar carril exterior, si va a continuar será necesario cambiar de carril al más interior de los carriles dentro de la intersección.

Salida: se debe usar el carril exterior más próximo a la salida este movimiento debe ser rápido para evitar que los usuarios en la parte de atrás pierdan su continuidad y tengan que frenar.

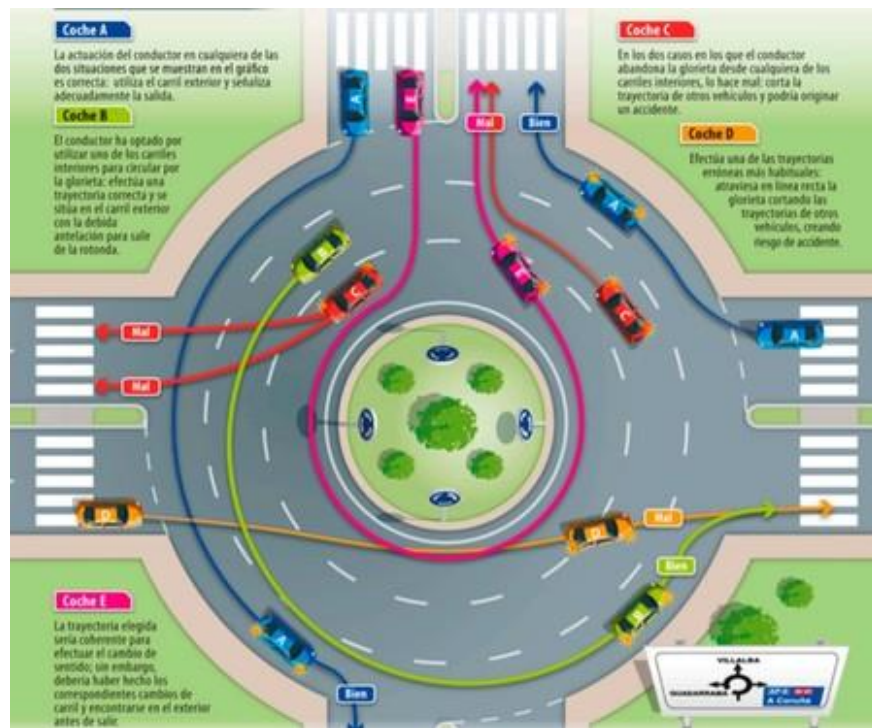


Figura 11. Cómo ingresar a una glorieta (Trujillo, 2019)

2.5.3 Intersecciones semaforizadas

La intersección semaforizada cuenta con apoyo controlado por semáforo, generalmente se pueden ubicar en dos posiciones, después de la intersección como se usa en México y Estados Unidos o antes de la intersección como se usa en Colombia y Alemania. Es importante mencionar que si se usa la de antes, el observador de aproximación solo podrá ver la luz que indica su dirección y no podrá percibir las otras luces de los otros semáforos (Saniger, 2021).



Para determinar si una intersección requiere o no requiere semáforo, será necesario realizar un análisis de medición de volúmenes de tránsito vehicular para determinar el máximo volumen de vehículos por hora en hora pico.

A continuación, en la Figura 12 la metodología para intersecciones semaforizadas.

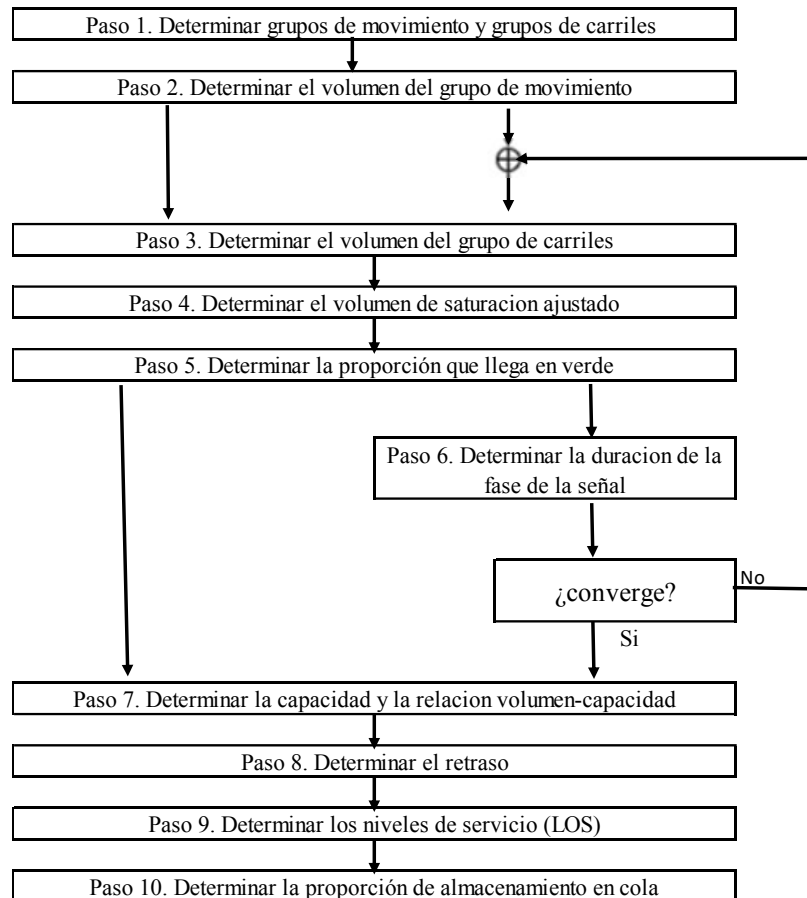


Figura 12. Metodología para intersecciones semaforizadas (HCM, 2010).

2.6 Factores que intervienen en el problema del tránsito

Muchas veces los sistemas de transporte deben realizar operación de servicio, sobrepasando los niveles de capacidad y todo esto porque hay demasiados vehículos que salen en determinada hora al mismo tiempo, haciendo que la demanda del servicio incremente considerablemente. Y todo esto, genera problemas de tránsito, siniestros, accidentes y tráfico lento (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).



A continuación, se mencionan cinco factores problema que influyen en el tránsito (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

2.6.1 Diferentes tipos de vehículos en la misma vialidad

- Diferentes características en cuanto a velocidad, dimensión y aceleración.
- Automóviles modificados.
- Camiones y autobuses, de alta velocidad.
- Camiones pesados, de baja velocidad, incluyendo remolques.
- Vehículos de tracción animal.
- Motos, bicicletas, etc.

2.6.2 Superposición del tránsito motorizado en vialidades inadecuadas

- Cambios relativamente mínimos en el trazado urbano.
- Calles estrechas, curvas y con pendientes pronunciadas.
- Aceras insuficientes.
- Carreteras que no han experimentado mejoras.

2.6.3 Falta de planificación en el tránsito

- Malos diseños y construcciones con especificaciones inadecuadas en obras de (calles, carreteras, puentes, túneles, etc) y otros.
 - Intersecciones proyectadas sin base técnica, ni aforos vehiculares.
 - Falta de planeación para espacio para estacionamiento en zonas urbanas.
- Inconsistencia en la planeación urbana al construir residencias en zonas industriales y viceversa.

2.6.4 El automóvil no se considera como una necesidad pública

- Carencia de percepción y criterio objetivo por parte de las autoridades respecto a la necesidad del vehículo en la economía del transporte.
- Falta de reconocimiento por parte del público en general sobre la importancia del vehículo automotor.



2.6.5 Falta de asimilación por parte del gobierno y del usuario

- Legislación y reglamentos del tránsito obsoletos que tienden más a imponer al usuario el cumplimiento de estas normas en lugar de ajustarse a las necesidades de los usuarios.
- Insuficiente educación vial para conductores, pasajeros y peatones.

2.7 Tipos de solución

La insuficiencia de infraestructura moderna y la falta de actualización de las vialidades por parte de los gobiernos deja un número considerable de siniestros en los que ocurren accidentes con heridos o muertos en algunas ocasiones. Con esto se quiere decir que, falta seguridad vial. Y para esto será necesario plantear soluciones a continuación se presentan algunas para el problema del tránsito (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

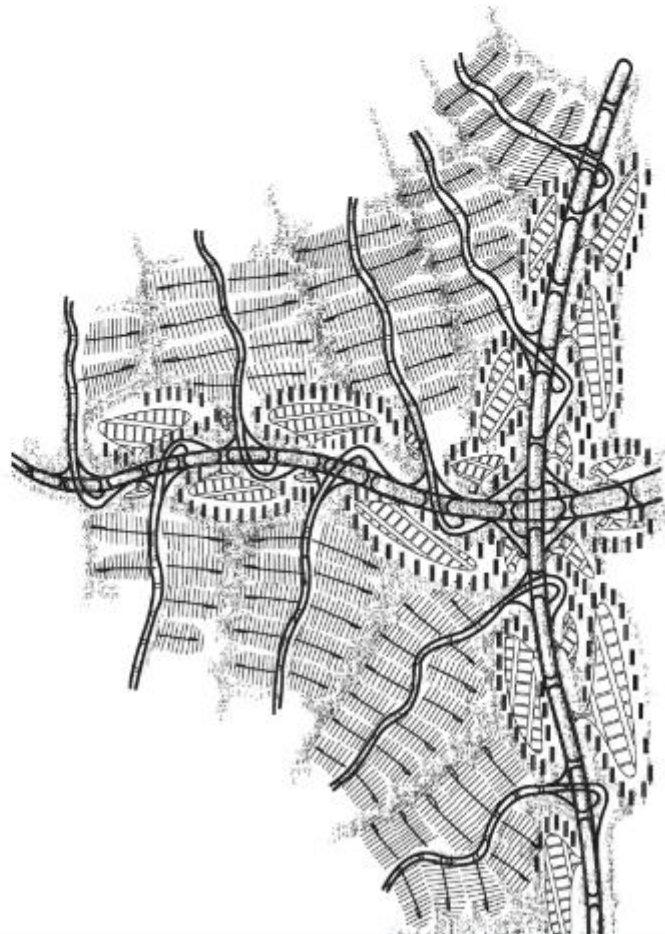
2.7.1 Solución integral

La solución integral funciona en conjunto, cómo funciona el sistema de circulación de la sangre, o una demarcación de ríos sobre una cuenca. Arranca el viaje por el centro, luego pase por calles arteriales trocales, conectadas con las calles secundarias que finalmente llegan a la zona residencia. Todo esto está revolucionando los sistemas de transporte de las ciudades modernas, en la actualidad es muy difícil aplicar algo así, pero sería la solución ideal si se relaciona con zonas ambientales que funcionen como pulmones dentro de las ciudades. Se muestra la Figura 13 propuesta por Cal y Mayor de la ciudad futurista (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

2.7.2 Solución parcial de alto costo

Éstas soluciones requieren un capital importante para su ejecución, presenta cambios visuales importantes, requiere de un buen diseño que integre una buena composición vial. Dentro de este rango se destacan ensanchamientos, aumento de capacidad de servicio, controles modernos de tráfico, pasos a desnivel, entre otros. A continuación, se muestra en la Figura 14 un ejemplo de solución de alto costo (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

TRAZO DEL FUTURO



SIGNOS	CONVENCIONALES
	Arterias principales
	Arterias con retorno
	Multifamiliares
	Habitación familiar
	Zonas de estacionamiento
	Zona verde

Figura 13. Trazo del futuro (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018)'



Figura 14. Solución de alto costo – Caso construcción del paso superior Sur Fuentes Mares Chihuahua (Soy Chihuahua, 2024)

2.7.3 Solución parcial de bajo costo

Esta solución se suele aplicar mucho en los gobiernos actuales, realiza una inspección de la infraestructura existente, se optimiza al máximo la regulación funcional del tránsito, con educación vial, señalización eficiente. Se debe incluir la legislación vigente de la zona a solucionar.



Figura 15. Solución de bajo costo (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).



2.8 Bases para una solución del tránsito

Para cualquier solución que se planté será necesario aplicar los tres elementos para un tránsito seguro y eficiente (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

1. La ingeniería de tránsito
2. La educación vial
3. La legislación y vigilancia policíaca



Figura 16. Templo de seguridad vial (Tabasso, 2013) y (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

2.9 Metodologías para seguimiento de una intersección como la zona de estudio

2.9.1 Metodología de intersección TWSC del HCM 2010.

La metodología de intersección Two Ways Signal Control es el nombre en inglés, lo que en español sería como control por dos altos en una vía de doble sentido. Es uno de los sistemas más comunes dentro de las configuraciones del tránsito. Para este estudio en particular no se considera movimientos en U ni peatones.

Según el Highway Capacity Manual , se deben considerar los siguientes pasos para el cálculo de capacidad y nivel de servicio, ver Figura 8 (HCM, 2010).



Paso 1: Determinar y etiquetar las prioridades de movimiento:

Dentro de las intersecciones TWSC, se deben ubicar los movimientos, identificando el orden de prioridad, para luego poder clasificar los movimientos en su respectivo rango. Este proceso es clave para la secuencia que se le dará al análisis de los cálculos de capacidad. Dado que la metodología se basa en el uso prioritario del espacio vehicular dentro de la intersección TWSC.

1. Giros a la izquierda desde la calle principal,
2. Giros a la derecha desde la calle secundaria,
3. Giros en U desde la calle principal,
4. A través de los movimientos de la calle secundaria, y
5. Giros a la izquierda desde la calle secundaria.

Cada movimiento tiene una clasificación diferente en una jerarquía de prioridad. En general, los procesos de aceptación de los espacios asumen que los conductores en la calle principal no se ven impactados por los movimientos en las calles secundarias.

Al utilizar la metodología de intersección TWSC, es necesario determinar la prioridad del derecho de paso para cada tipo de movimiento. Algunos movimientos tienen prioridad absoluta, mientras que otros deben ceder el paso o dar prioridad a los movimientos de mayor jerarquía.

En la Figura 7 se observa la numeración supuesta de los movimientos en las intersecciones en T y ramal de 4 puntas y su respectiva descripción de movimientos.

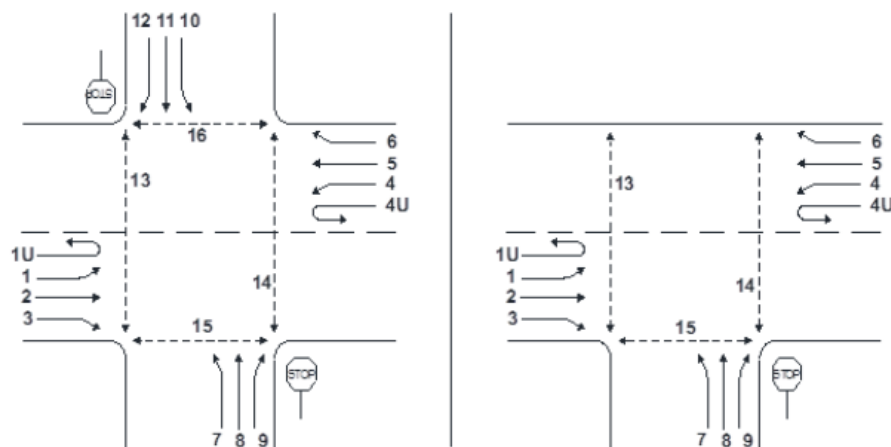


Figura 17. Giros de intersecciones ejemplo (HCM, 2010).

Los movimientos se pueden clasificar por prioridad de derecho de paso de la siguiente manera:



- Movimientos de Rango 1: abarcan el tráfico directo en la calle principal, los giros a la derecha desde la calle principal y los peatones que cruzan la calle secundaria.
- Movimientos de Rango 2: (con menor prioridad que el Rango 1) incluyen giros a la izquierda y giros en U desde la calle principal, giros a la derecha en la calle principal, y los peatones que cruzan la calle principal (según los supuestos para este procedimiento).
- Movimientos de Rango 3: (con menor prioridad que los Rangos 1 y 2) comprenden el tráfico que circula por la calle secundaria en intersecciones de cuatro vías, y los giros a la izquierda desde la calle secundaria en intersecciones en T.
- Movimientos de Rango 4: (con la menor prioridad de todos) incluyen los giros a la izquierda desde la calle secundaria. Estos movimientos de Rango 4 solo se producen en intersecciones de cuatro vías.

Toda aproximación o movimiento será elección del usuario. Ya se explicó el orden de prioridad, que indica el manual. Sin embargo, es necesario que cada usuario se percate muy bien hacia dónde va a seguir su camino y como va hacer la aproximación, regularme tendrá prioridad los que van en la vía principal y en secuencia podrían continuar los de las vías secundarias.

Paso 2: Convertir volúmenes de demanda de movimiento en tasas de flujo:

Para el análisis de volumen de demanda máxima se debe contar el número de vehículos que pasan en una cada dirección, los volúmenes se deben medir en intervalos de 15 minutos, será necesario revisar cual es el periodo más alto dentro del tiempo medido. Es decir, si se medió una hora se tomará los 15 minutos de máxima demanda, que serán el flujo durante un periodo máximo de 15 minutos. Mientras que para calcular el volumen de hora máxima será necesario multiplicar el flujo máximo por 15 minutos por 4 (HCM, 2010).

Para el análisis de las condiciones proyectadas o cuando no se dispone de datos de 15 minutos, los volúmenes de demanda por hora para cada movimiento se convierten en tasas de flujo de demanda



pico de 15 minutos en vehículos por hora, como se muestra en la Ecuación 1, mediante el uso del factor de hora pico para la intersección.

Ecuación 1. Volumen de máxima demanda por hora (HCM, 2010).

$$v_i = \frac{V_i}{PHF}$$

Donde:

v_i = tasa de flujo de demanda para el movimiento i (veh/h), será el valor de máxima demanda medido durante un intervalo de 15 minutos.

V_i = flujo de demanda para el movimiento i (veh/h), y

PHF = factor de hora pico.

Los valores de PHF irregulares dentro de la medición indican variabilidad en flujo, si se tienen valores bajos de PHF, observa una mayor variabilidad del flujo, Pero si se tienen valores altos, se observa una menor variación en flujo dentro de una hora. Generalmente para zonas urbanas el factor de hora pico se maneja dentro de un rango de 0.80 - 0.98. (Espejel, 2022)

Paso 3. Determinar tasas de flujo en conflicto:

Todos los movimientos en una intersección TWSC al momento de aproximarse y según su ubicación presentan un determinado número de Conflictos directamente asociados con el movimiento del usuario. Las siguientes figuras ilustran el conjunto de conflictos que enfrenta cada movimiento menor (de Rango 2 a Rango 4) en una intersección TWSC de cuatro vías.

cálculo del parámetro v_{cx} , La tasa de flujo en conflicto para el movimiento X , es decir, la tasa de flujo total [vehículos por hora (veh/h)] que entra en conflicto con el movimiento X .

Los ejemplos muestran cálculo para los parámetros $v_{c,1}$ y $v_{c,4}$

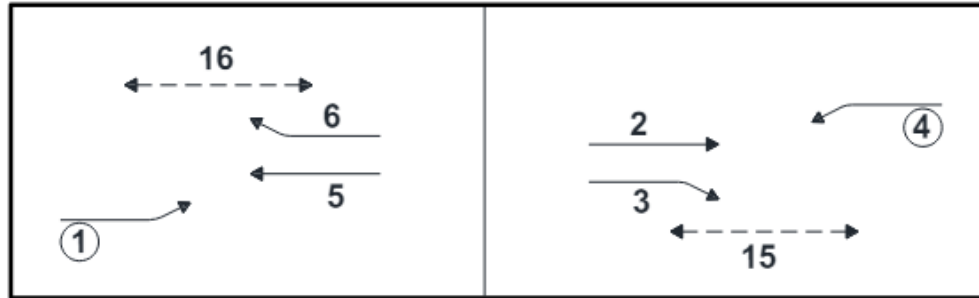


Figura 18. Movimientos de giro a la izquierda en calles principales

(Rango 2: movimientos 1 y 4) (HCM, 2010).

Los peatones también pueden generar conflictos con los movimientos vehiculares. Las tasas de flujo de peatones, que se definen como v_x , donde x señala el tramo de la intersección que se cruza, deben considerarse dentro de las tasas de flujo en conflicto. Los flujos de peatones se incluyen porque delimitan el inicio o el final de un área que puede ser utilizada por un movimiento en una calle secundaria. Aunque este método reconoce algunas características particulares de los movimientos de peatones, aplica un enfoque uniforme tanto para los vehículos como para los peatones (HCM, 2010).

Ecuación 2. $V_{C,1}$ Movimiento 1 (HCM, 2010).

$$v_{c,1} = v_5 + v_6 + v_{16}$$

Ecuación 3. $V_{C,4}$ Movimiento 4 (HCM, 2010).

$$v_{c,4} = v_2 + v_3 + v_{15}$$

- ***Movimientos de giro a la izquierda en calles principales (Rango 2: movimientos 1 y 4):***

En la Figura 18 se observan los movimientos conflictivos, mientras que la Ecuación 2 y la Ecuación 3 calculan el flujo conflictivo que encuentran los conductores que giran a la izquierda en las calles principales. El movimiento de giro a la izquierda desde la calle principal está en conflicto con el flujo total opuesto de giro a la derecha, ya que estos vehículos deben atravesar



el tráfico en sentido contrario y unirse a los vehículos que también giran a la derecha. El método no distingue entre conflictos de cruce y de fusión (HCM, 2010).

Se considera que los vehículos que giran a la izquierda desde la calle principal y los que giran a la derecha desde la calle principal se unen, independientemente del número de carriles provistos en la calzada de salida (HCM, 2010).

Si el giro a la derecha de la calle principal está separado por una isleta triangular y tiene que ceder el paso o parar, los términos v_6 y v_3 en la Ecuación 2 y la Ecuación 3, respectivamente, pueden asumirse como cero (HCM, 2010).

- **Movimientos de giro a la derecha en calles secundarias (Rango 2: movimientos 9 y 12):**

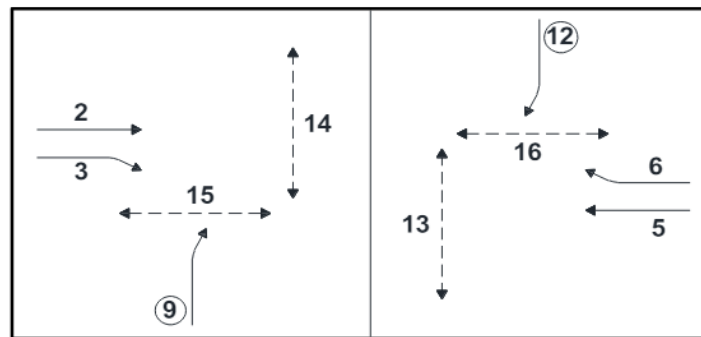


Figura 19. Movimientos de giro a la derecha en calles secundarias (Rango2: movimientos 9 y 12) (HCM, 2010)

La Ecuación 4 y la Ecuación 5 calculan la tasa de flujo en conflicto para movimientos de giro a la derecha en calles secundarias que ingresan a calles principales de dos carriles, la Ecuación 6 y la Ecuación 7 se usan para calles principales de cuatro carriles, y la Ecuación 8 y Ecuación 9 se utilizan para calles principales de seis carriles. Si el giro a la derecha de la calle principal tiene su propio carril, se puede suponer que el término v_3 o v_6 correspondiente en estas ecuaciones es cero. Los usuarios pueden proporcionar diferentes distribuciones de carriles para los términos v_2 y v_5 en las ecuaciones para calles principales de cuatro y seis carriles, cuando los datos de campo lo respalden. (HCM, 2010)



Calle principal de dos carriles

Ecuación 4. $V_{C,9}$ Movimiento 9 – dos carriles (HCM, 2010).

$$v_{c,9} = v_2 + 0.5v_3 + v_{14} + v_{15}$$

Ecuación 5 $V_{C,12}$ Movimiento 12– dos carriles (HCM, 2010).

$$v_{c,12} = v_5 + 0.5v_6 + v_{13} + v_{16}$$

Calle principal de cuatro carriles

Ecuación 6. $V_{C,9}$ Movimiento 9 – cuarto carriles (HCM, 2010).

$$v_{c,9} = 0.5v_2 + 0.5v_3 + v_{14} + v_{15}$$

Ecuación 7. Movimiento 9 – cuarto carriles (HCM, 2010).

$$v_{c,12} = 0.5v_5 + 0.5v_6 + v_{13} + v_{16}$$

Calle principal de seis carriles

Ecuación 8. $V_{C,9}$ Movimiento 9 – seis carriles (HCM, 2010).

$$v_{c,9} = 0.5v_2 + 0.5v_3 + v_{14} + v_{15}$$

Ecuación 9. Movimiento 9 – seis carriles (HCM, 2010).

$$v_{c,12} = 0.5v_5 + 0.5v_6 + v_{13} + v_{16}$$

• *Movimientos de paso por calles secundarias (Rango 3: movimientos 8 y 11):*

Normalmente, los movimientos en calles secundarias suelen tener conflicto directo o al momento de aproximarse. Por tanto, se considera que el movimiento de giro a la derecha desde la calle principal entra en conflicto con la calle secundaria. Y que regularmente se deben realizar una o dos maniobras para completar el movimiento.

Durante el escenario I, los conductores de calles secundarias evalúan el espacio en las calles principales por mismo lado o cercano (tráfico conflictivo desde la izquierda). Mientras que en



el escenario II, los conductores de calle secundarias evalúan los espacios de las calles principales en el lado opuesto (tráfico conflictivo desde la derecha). Entre tanto, para cruces de una etapa, se combinan los flujos en conflicto para los escenarios I y II. En cambio, para cruces de dos etapas, los flujos en conflicto se analizan de manera independiente (ver Figura 20) (HCM, 2010).

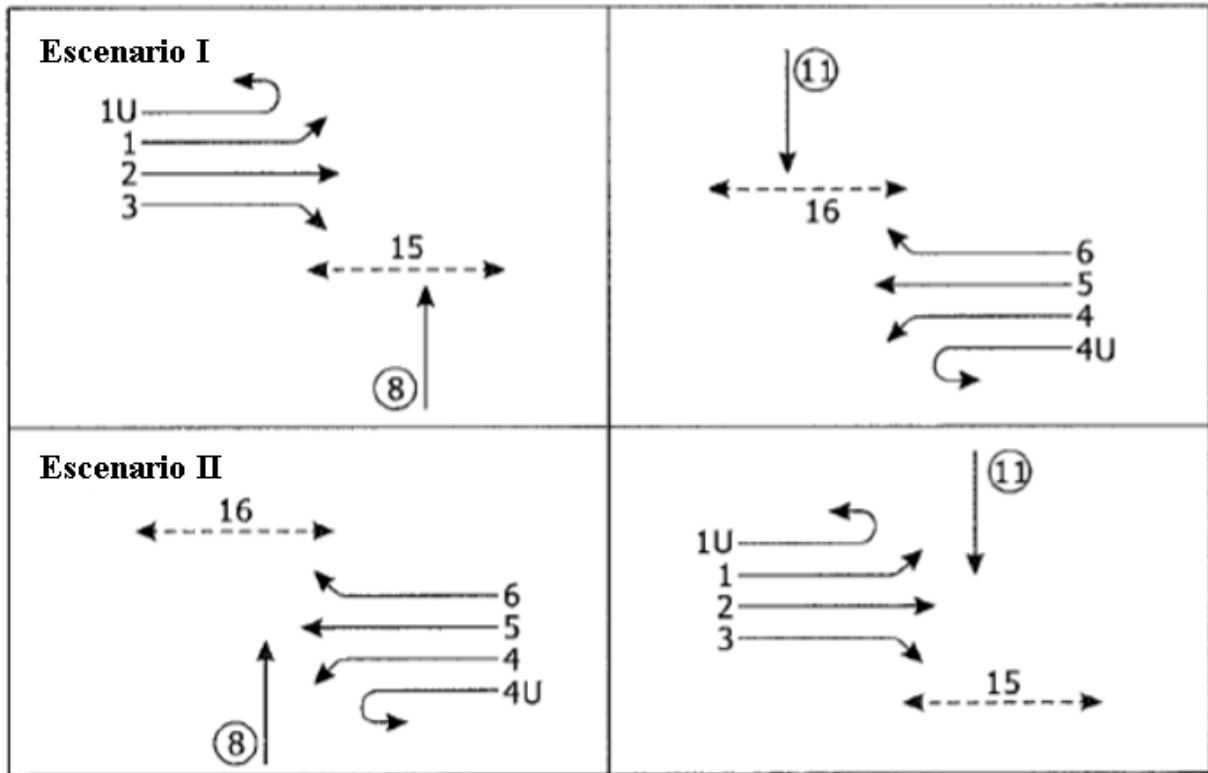


Figura 20. Movimientos en conflicto para calles secundarias (HCM, 2010).

La Ecuación 10 y la Ecuación 11 calculan el flujo conflictivo que encuentran los conductores que transitan por calles secundarias durante la Etapa I. Si hay un carril de giro a la derecha en la calle principal, se puede asumir que el valor del término v_3 o v_6 correspondiente en estas ecuaciones ser cero.

Ecuación 10. Escenario I – movimiento 8 (HCM, 2010).

$$v_{c,l,8} = 2(v_1 + v_{1U}) + v_2 + 0.5v_3 + v_{15}$$



Ecuación 11. Escenario I – movimiento 11 (HCM, 2010).

$$v_{c,I,11} = 2(v_4 + v_{4U}) + v_5 + 0.5v_6 + v_{16}$$

La Ecuación 12 y la Ecuación 13 calculan el flujo conflictivo que encuentran los conductores de movimiento de calle menor durante la Etapa II. Si el giro a la derecha de la calle principal está separado por una isla triangular y tiene que ceder el paso o una señal de ALTO, se puede suponer que el término v_3 o v_6 correspondiente en estas ecuaciones es cero.

Ecuación 12. Escenario I I– movimiento 8 (HCM, 2010).

$$v_{c,II,8} = 2(v_4 + v_{4U}) + v_5 + v_6 + v_{16}$$

Ecuación 13. Escenario I I– movimiento 11 (HCM, 2010).

$$v_{c,II,11} = 2(v_1 + v_{1U}) + v_2 + v_3 + v_{15}$$

• ***Movimientos de giro a la izquierda en calles secundarias (Rango 4: movimientos 7 y 10):***

Durante la Etapa I, la Ecuación 14 y la Ecuación 15 calculan la tasa de flujo conflictiva para los giros a la izquierda desde calles secundarias hacia calles principales de dos carriles, mientras que la Ecuación 16 y la Ecuación 17 se usan para calles principales de cuatro carriles, y la Ecuación 18 y la Ecuación 19 se usan para calles principales de seis carriles. Si existe un carril de giro a la derecha en la calle principal, se puede asumir que el término v_3 o v_6 correspondiente en estas ecuaciones es cero.

Calle principal de dos carriles

Ecuación 14. Escenario I - movimiento 7 - dos carriles (HCM, 2010).

$$v_{c,I,7} = 2v_1 + v_2 + 0.5v_3 + v_{15}$$



Ecuación 15. Escenario I – movimiento 10 - dos carriles (HCM, 2010).

$$v_{c,I,10} = 2v_4 + v_5 + 0.5v_6 + v_{16}$$

Calle principal de cuatro carriles

Ecuación 16. Escenario I – movimiento 7 – cuatro carriles (HCM, 2010).

$$v_{c,I,7} = 2(v_1 + v_{1U}) + v_2 + 0.5v_3 + v_{15}$$

Ecuación 17. Escenario I – movimiento 10 – cuatro carriles (HCM, 2010).

$$v_{c,I,10} = 2(v_4 + v_{4U}) + v_5 + 0.5v_6 + v_{16}$$

Calle principal de seis carriles

Ecuación 18. Escenario I – movimiento 7 – seis carriles (HCM, 2010).

$$v_{c,I,7} = 2(v_1 + v_{1U}) + v_2 + 0.5v_3 + v_{15}$$

Ecuación 19. Escenario I – movimiento 10 – seis carriles (HCM, 2010).

$$v_{c,I,10} = 2(v_4 + v_{4U}) + v_5 + 0.5v_6 + v_{16}$$

Durante la Etapa II, la Ecuación 20 y la Ecuación 21 determinan la tasa de flujo conflictiva para los giros a la izquierda desde calles secundarias hacia calles principales de dos carriles. mientras que la Ecuación 22 y la Ecuación 23 se utilizan para calles principales de cuatro carriles, y la Ecuación 24 y la Ecuación 25 se usan para calles principales de seis carriles. Si el giro a la derecha de la calle secundaria tiene una isla triangular y cumple con una señal de *ALTO* o *CEDA EL PASO*, se puede suponer que el término v_9 o v_{12} correspondiente en estas ecuaciones es cero.



Calle principal de dos carriles

Ecuación 20. Escenario II - movimiento 7 - dos carriles (HCM, 2010).

$$v_{c,II,7} = 2v_4 + v_5 + 0.5v_6 + 0.5v_{12} + 0.5v_{11} + v_{13}$$

Ecuación 21. Escenario I – movimiento 10 - dos carriles (HCM, 2010).

$$v_{c,II,10} = 2v_1 + v_2 + 0.5v_3 + 0.5v_9 + 0.5v_8 + v_{14}$$

Calle principal de cuatro carriles

Ecuación 22. Escenario II – movimiento 7 – cuatro carriles (HCM, 2010).

$$v_{c,II,7} = 2(v_4 + v_{4U}) + 0.5v_5 + 0.5v_{11} + v_{13}$$

Ecuación 23. Escenario I I– movimiento 10 – cuatro carriles (HCM, 2010).

$$v_{c,II,10} = 2(v_1 + v_{1U}) + 0.5v_2 + 0.5v_8 + v_{14}$$

Calle principal de seis carriles

Ecuación 24. Escenario II – movimiento 7 – seis carriles (HCM, 2010).

$$v_{c,II,7} = 2(v_4 + v_{4U}) + 0.4v_5 + 0.5v_{11} + v_{13}$$

Ecuación 25. Escenario II – movimiento 10 – seis carriles (HCM, 2010).

$$v_{c,II,10} = 2(v_1 + v_{1U}) + 0.4v_2 + 0.5v_8 + v_{14}$$

Paso 4. Determinar intervalos de tiempo críticos y de seguimiento:

Los intervalos críticos t_{cx} y de seguimiento t_{fx} pueden determinarse para los giros a la izquierda en calles principales (v_{c1} y v_{c4}), los giros a la derecha en calles secundarias (v_{c9} y v_{c12}), los giros en U en calles principales (v_{c1u} y v_{c4u}), los giros en U en calles menores los movimientos de calle a



través (v_{c8} y v_{c11}) y los giros a la izquierda de calle menor (v_{c7} y v_{c10}) cuando ocurren en una intersección de TWSC. (HCM, 2010).

Para calcular los intervalos de tiempo críticos para cada movimiento, el analista comienza con el intervalo de tiempo crítico base dado en la Tabla 9 y realiza ajustes específicos en el movimiento considerando el porcentaje de vehículos pesados, la inclinación detectada y una intersección con tres o cuatro ramales, como se ilustra. en la Ecuación 26 (HCM, 2010),

Ecuación 26. Intervalo de tiempo crítico para movimiento (HCM, 2010).

$$t_{c,x} = t_{c,base} + t_{c,HV}P_{HV} + t_{c,G}G - t_{3,LT}$$

$t_{c,x}$: distancia crítica para el movimiento x (s).

$t_{c,base}$: cabeza crítica base de la tabla (s).

$t_{c,HV}$: factor de ajuste para vehículos pesado (valor 1 si sale de un carril a otro, valor de 2 si sale de un carril y puede llegar una ruta de más de dos carriles) (s).

P_{HV} : proporción de vehículos pesados para la circulación (expresada en decimales; e-gv $P_{HV} = 0,02$ para un 2% de vehículos pesados).

$t_{c,G}$: factor de ajuste por grado (0,1 para los movimientos 9 y 12; 0,2 para los movimientos 7, 8, 10 y 11) (s).

G : porcentaje de pendiente (expresado en números enteros)

$t_{3,LT}$: factor de ajuste para la geometría de la intersección (0,7-0.0 dependiendo de los movimientos) (s).

Tabla 9. Intervalo de tiempo crítico base, $t_{c,base}(s)$ (HCM, 2010).

Vehicle Movement	Base Critical Headway, $t_{c,base}$ (s)		
	Two Lanes	Four Lanes	Six Lanes
Left turn from major	4.1	4.1	5.3
U-turn from major	N/A	6.4 (wide) 6.9 (narrow)	5.6
Right turn from minor	6.2	6.9	7.1
Through traffic on minor	1-stage: 6.5	1-stage: 6.5	1-stage: 6.5*
	2-stage, Stage I: 5.5	2-stage, Stage I: 5.5	2-stage, Stage I: 5.5*
	2-stage, Stage II: 5.5	2-stage, Stage II: 5.5	2-stage, Stage II: 5.5*
Left turn from minor	1-stage: 7.1	1-stage: 7.5	1-stage: 6.4
	2-stage, Stage I: 6.1	2-stage, Stage I: 6.5	2-stage, Stage I: 7.3
	2-stage, Stage II: 6.1	2-stage, Stage II: 6.5	2-stage, Stage II: 6.7

* Use caution; values estimated.



Los datos de las vías críticas para las vías de cuatro y seis carriles tienen en cuenta la distribución real de los flujos de tráfico medidos en cada vía. En los sitios de seis carriles, los giros a la izquierda de las calles secundarias se observaron comúnmente comenzando su movimiento mientras aparentemente los vehículos en conflicto pasaban por el lado opuesto de la calle principal.

Los valores de la separación crítica para los movimientos de paso de calles secundarias en calles de seis carriles son estimados, ya que el movimiento no se observa con frecuencia sobre el terreno. Al igual que en el cálculo de los intervalos críticos, el analista comienza el cálculo de los intervalos de seguimiento con los intervalos de seguimiento de base indicados en el apartado 2.1.

De manera similar al cálculo de las vías críticas, el analista comienza el cálculo de las vías de seguimiento con las vías de seguimiento bases dadas en Tabla 10. Luego, el analista realiza ajustes específicos a las vías de seguimiento base con la información recopilada sobre los vehículos pesados y las geometrías de la calle principal según los factores de ajuste dados en la Ecuación 27. El analista también realiza ajustes específicos a las vías de seguimiento base según los factores de ajuste dados en la Ecuación 27 (HCM, 2010).

Ecuación 27. Intervalo de tiempo de seguimiento (HCM, 2010).

$$t_{f,x} = t_{f,base} + t_{f,HV} P_{HV}$$

$t_{f,x}$: Intervalo de tiempo de seguimiento del movimiento x (s).

$t_{f,base}$: Tiempo de seguimiento base de la prueba 19-11(s).

$t_{f,HV}$: factor de ajuste para vehículos pesados (0,9 -1.0 si tiene un carril en la misma dirección, si tiene más usa 1.0).

P_{HV} : proporción de vehículos pesados para el movimiento (expresada en decimales).

Tabla 10,Intervalo base de seguimiento (HCM, 2010),

Vehicle Movement	Base Follow-Up Headway, $t_{f,base}$ (s)		
	Two Lanes	Four Lanes	Six Lanes
Left turn from major	2.2	2.2	3.1
U-turn from major	N/A	2.5 (wide) 3.1 (narrow)	2.3
Right turn from minor	3.3	3.3	3.9
Through traffic on minor	4.0	4.0	4.0
Left turn from minor	3.5	3.5	3.8



Paso 5. Calcular capacidades potenciales:

Paso 5ª. Capacidad potencial si no hay efectos de señal ascendente presentes

La capacidad potencial $c_{p,x}$ de un movimiento se determina con el modelo de asignación de espacios proporcionado en la Ecuación 28. Este modelo requiere que el analista ingrese la tasa de flujo en conflicto $v_{c,x}$, el intervalo crítico $t_{c,x}$ y de seguimiento $t_{f,x}$, para el movimiento x .

Ecuación 28. Capacidad Potencial del movimiento

$$c_{p,x} = v_{c,x} \frac{e^{-v_{c,x}t_{c,x}/3,600}}{1 - e^{-v_{c,x}t_{f,x}/3,600}}$$

$C_{p,x}$: capacidad potencial de movimiento x (veh/h).

$V_{c,x}$: flujo de conflictivo para el movimiento x (veh/h).

$T_{c,x}$: intervalo crítico para movimiento menor x (s). se calcula en paso 4

$T_{f,x}$: intervalo de seguimiento para movimiento menor x (s). se calcula en paso 4

Paso 5b: Capacidad potencial si hay efectos de señal ascendente presentes

Para evaluar el impacto de las señales coordinadas aguas arriba, de la calle urbana. Según el Highway Capacity Manual en el Capítulo 17 del 2010 se utiliza para estimar la proporción de tiempo que cada movimiento de rango 2 o inferior será efectivamente bloqueado por un pelotón. La proporción de tiempo bloqueado se denota por p_{bx} , donde x es el movimiento que utiliza las convenciones de movimiento proporcionadas en el Figura 17 (HCM, 2010).

Con estos valores, la proporción del período de análisis que está bloqueado para cada movimiento menor se puede calcular utilizando la Tabla 11 (HCM, 2010).



Tabla 11. Proporción para el movimiento $p_{b,x}$ (HCM, 2010).

Movement(s) x	Proportion Blocked for Movement, $p_{b,x}$		
	One-Stage Movements	Two-Stage Movements	
		Stage I	Stage II
1, 1U	$p_{b,1}$	N/A	N/A
4, 4U	$p_{b,4}$	N/A	N/A
7	$p_{b,7}$	$p_{b,4}$	$p_{b,1}$
8	$p_{b,8}$	$p_{b,4}$	$p_{b,1}$
9	$p_{b,9}$	N/A	N/A
10	$p_{b,10}$	$p_{b,1}$	$p_{b,4}$
11	$p_{b,11}$	$p_{b,1}$	$p_{b,4}$
12	$p_{b,12}$	N/A	N/A

El flujo para el período desbloqueado (sin pelotones) se determina en este paso. Este flujo se convierte en el flujo conflictivo para el movimiento del sujeto y se utiliza para calcular la capacidad para este movimiento. El flujo mínimo en pelotón v_{cmin} es aproximadamente 1.000 N, donde N es el número de carriles directos por dirección en la calle principal (7).

El flujo conflictivo para el movimiento x durante el período desbloqueado viene dado por Ecuación 29 (HCM, 2010).

Ecuación 29. flujo conflictivo para el movimiento x durante el período desbloqueado (HCM, 2010)

$$v_{c,u,x} = \begin{cases} \frac{v_{c,x} - 1.5v_{c,min}p_{b,x}}{1 - p_{b,x}} & \text{if } v_{c,x} > 1.5v_{c,min}p_{b,x} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$V_{c,u,x}$ = flujo conflictivo para el movimiento x durante el período desbloqueado (veh/h);

$v_{c,x}$ = flujo total conflictivo para el movimiento x según lo determinado en el Paso 3(veh/h)

v_{cmin} = flujo mínimo en pelotón (veh/h), que se supone es 1.000 N, donde N es el número de carriles pasantes por dirección en la calle principal

$P_{b,x}$ = Proporción de tiempo que el movimiento del sujeto x está bloqueado por la calle principal. pelotón, que se determina a partir del Tabla 11.



La capacidad potencial del sujeto de movimiento x, teniendo en cuenta el efecto de pelotón, viene dado por la Ecuación 30 y la Ecuación 31. (HCM, 2010)

Pasos 6-9. Cálculo de la capacidad de movimiento:

Ecuación 30. Capacidad potencial del sujeto de movimiento x, teniendo en cuenta el efecto de pelotón (HCM, 2010)

$$C_{p,x} = (1 - p_{b,x})C_{r,x}$$

Ecuación 31. Capacidad potencial del sujeto de movimiento x, teniendo en cuenta el efecto de pelotón II (HCM, 2010)

$$C_{r,x} = v_{c,u,x} \frac{e^{-v_{c,u,x}t_{c,x}/3,600}}{1 - e^{-v_{c,u,x}t_{f,x}/3,600}}$$

$C_{p,x}$: capacidad potencial de movimiento x (veh/h).

$P_{b,x}$ = Proporción de tiempo que el movimiento del sujeto x está bloqueado por la calle principal. pelotón, y

$C_{r,x}$: capacidad de movimiento x asumiendo flujo aleatorio durante el desbloqueado período.

Nota: Esta ecuación utiliza los mismos intervalos críticos y de seguimiento que hace un cálculo normal, pero utiliza sólo el flujo conflictivo durante el período desbloqueado.

Paso 6: Calcular las capacidades de movimientos de rango 1

Los movimientos de las calles principales de rango 1 no se ven obstaculizados por ningún movimiento de rango inferior. Para los movimientos de rango 1, no se presentan retrasos en el transcurso del recorrido por la intersección TWSC (HCM, 2010).

Paso 7: Calcular las capacidades de movimientos de rango 2

Movimientos de tipo 2 (giros a la izquierda y giros en U desde la calle principal, así como giros a la derecha desde la calle secundaria). Debe ceder el paso a la calle principal en conflicto a través y movimientos de vehículos que giran a la derecha de rango 1. Sin embargo, los giros a la derecha



desde calles secundarias deberán ceder el paso al momento de realizar cambios de sentido en calles principales. Puede entonces, ocurrir lo contrario y generar un conflicto.

Paso 7a. Capacidad de movimiento para giro a la izquierda en calles principales

La capacidad de cada giro a la izquierda en calles principales de rango 2 (1 y 4), así como los giros a la derecha en calles secundarias de rango 2 (9 y 12), corresponde a su capacidad potencial.

La capacidad de movimiento de giro a la izquierda de calle principal de rango 2 (1 y 4) es igual a su capacidad potencial, como se muestra en la Ecuación 32 (HCM, 2010).

Ecuación 32. Capacidad de movimiento para giro a la izquierda en calles principales (HCM, 2010).

$$C_{m,j} = C_{p,j}$$

Paso 7b. Capacidad de movimiento para giro a la derecha en calles secundarias

los giros a la derecha en calles secundarias de rango 2 (9 y 12) son igual a su capacidad potencial. Y por tanto se usa la misma Ecuación 32, pero aplicado para capacidad de movimientos para giros a la derecha en calles secundarias (HCM, 2010).

Paso 7b. Capacidad de movimiento para los movimientos de giro en U en calles principales

La capacidad de movimiento, c_{mj} , para movimientos de giro en U de calles principales de rango 2 (1U y 4U) se encuentra calculando primero un factor de ajuste de capacidad que tenga en cuenta por los efectos obstaculizaciones de los movimientos de un mayor rango. Si se supone que algunos vehículos giran a la derecha en calles menores pueden llegar a obstaculizar giros en un en calles principales. Por tanto, la capacidad del movimiento de giro en U se ve afectado por la probabilidad de que la calle menor gire a la derecha. Los factores de ajuste de la capacidad se denotan por u_i y $y/4(i)$ para los movimientos de giro en U en la calle principal 1Uy 4U, respectivamente, y vienen dados por la Ecuación 33 y la Ecuación 34, respectivamente.



Ecuación 33. Factor de ajuste de capacidad o Probabilidad de giros en U en calles principales del movimiento 1 (HCM, 2010).

$$f_{1U} = p_{0,12} = 1 - \frac{v_{12}}{c_{m,12}}$$

Ecuación 34. Factor de ajuste de capacidad o Probabilidad de giros en U en calles principales del movimiento 4 (HCM, 2010).

$$f_{4U} = p_{0,9} = 1 - \frac{v_9}{c_{m,9}}$$

Donde

$F_{1u} = F_{1u}$ = factor de ajuste del rango 2 giros en U en calles principales movimientos 1 y 4;

$P_{0,i}$ = Probabilidad de que el movimiento de giro a la derecha de rango 2 en calles secundarias i; funcione sin colas.

v_i = flujo de movimiento i;

$c_{m,i}$ = Capacidad de movimiento i;

i = 9 y 12 (movimientos de giros a la derecha para calles secundarias rango 2)

La capacidad de movimiento para cambios de sentido en las calles principales es entonces calculada con la

Ecuación 35. Capacidad de movimiento para cambios de sentidos en calles principales (HCM, 2010).

$$c_{m,iU} = (c_{p,iU}) f_{iU}$$

Donde

$c_{m,iU}$ = Capacidad de movimiento para giros en 1U y 4U;

$c_{p,iU}$ = Capacidad potencial para movimientos 1U y 4U (de paso 5);

f_{iU} = Factor de ajuste de capacidad para movimientos 1U y 4U.



Dado que los movimientos de giro a la izquierda y en U generalmente se realizan desde el mismo carril, su capacidad de carril compartido se calcula con la

Ecuación 36. Capacidad de compartir un carril (HCM, 2010).

$$C_{SH} = \frac{\sum_y v_y}{\sum_y \left(\frac{v_y}{c_{m,y}} \right)}$$

Donde

C_{SH} = Capacidad de compartir un carril (veh/h)

V_y = flujo de movimiento y

$C_{m,y}$ = Capacidad del movimiento y en carril compartido (veh/h)

Paso 7d. Efecto de la calle principal compartida y el carril de giro a la izquierda

Para un estado sin cola, la probabilidad que el tráfico gire a la izquierda en calles principales. Se expresa

Ecuación 37. Probabilidad que el tráfico gire a la izquierda en un estado sin cola (HCM, 2010)

$$p_{0,j} = 1 - \frac{v_j}{c_{m,j}}$$

Donde

j=1 y 4 (Giros a la izquierda y giro en u en calles principales de rango 2, usando volumen y capacidad compartidos, según como corresponda.)

Si existe un carril compartido para girar a la izquierda como en la Figura 21, el evaluador debe tener en cuenta este suceso calculando la probabilidad de que no haya cola en el carril compartido de la calle principal $p_{0,j}$ acorde con Ecuación 38. Esta probabilidad es usada para el análisis por medio de la Ecuación 37 (HCM, 2010).

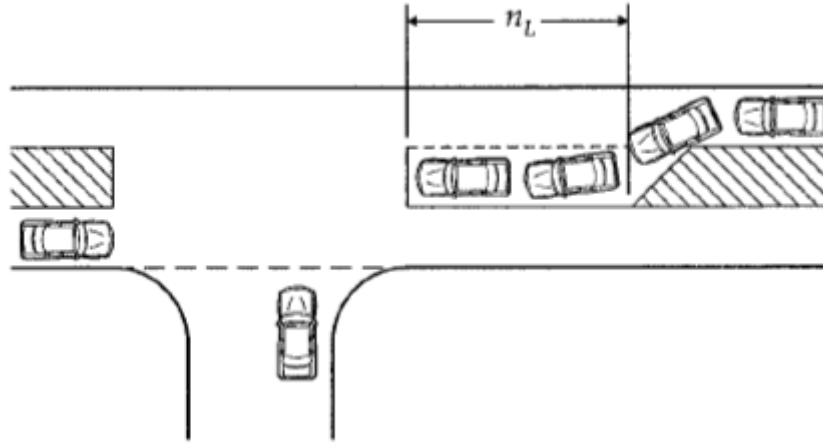


Figura 21. Espacio para girar a la izquierda (HCM, 2010).

Ecuación 38. Probabilidad de giro a la izquierda en calles principales sin cola (HCM, 2010).

$$p_{0,j}^* = 1 - (1 - p_{0,j}) \left[(n_L + 1) \sqrt{1 + \frac{x_{i,1+2}^{(n_L+1)}}{1 - x_{i,1+2}}} \right]$$

Ecuación 39. Grado de saturación para la calle principal y el giro a la derecha. (HCM, 2010).

$$x_{i,1+2} = \frac{v_{i1}}{s_{i1}} + \frac{v_{i2}}{s_{i2}}$$

Suponiendo que existe un segmento o carril exclusivo para girar a la izquierda o girar en U desde la calle principal, pero este no es lo suficientemente amplio o sencillamente no se cuenta con carril para girar a la izquierda en la calle principal. El tráfico de la calle principal podrá verse afectado para los usuarios que van a girar a la izquierda y para los que desean continuar o girar a la derecha desde la calle principal. Sin embargo, hay que tener en cuenta que para $p_{0,1}^*$ y $p_{0,4}^*$ se calculan a partir de la Ecuación 38 y Ecuación 39 sin cola sobre la calle principal (HCM, 2010)



Donde

$p_{0,j}$ = probabilidad de sin colas para el movimiento j asumiendo un estado exclusivo carril de giro a la izquierda en la calle principal (según la Ecuación 37);

$j = 1$ y 4 (movimientos de vehículos que giran a la izquierda en calles principales);

$i1 = 2$ y 5 (movimientos de vehículos que pasan por calles principales);

$i2 = 3$ y 6 (movimientos vehiculares que giran a la derecha por calles principales);

$x_{i,1+2}$ = grado combinado de saturación para la calle principal y el giro a la derecha;

S_{i1} = Flujo de saturación para la calle principal de movimientos que circulan (Se supone por defecto que es de 1.800 veh/h; sin embargo, este parámetro puede medirse en campo);

S_{i2} = Flujo de saturación para la calle principal de movimientos que giran a la derecha (Se supone por defecto que es de 1500 veh/h; sin embargo, este parámetro puede medirse en campo);

v_{i1} = flujo de movimientos de paso de las calles principales (veh/h);

v_{i2} = flujo de movimientos de giro a la derecha de las calles principales (veh/h) (0 si hay carril exclusivo de giro a la derecha);

n_L = lugar para giro a la izquierda (ver Figura 21).

Nota: En caso de que ($n_L = 0$), será necesario usar Ecuación 40, pero con valores previamente definidos para $P_{0,j}$ y $x_{i,1+2}$

Ecuación 40. Probabilidad para el movimiento j asumiendo un estado exclusivo carril de giro a la izquierda en la calle principal (HCM, 2010).

$$p_{0,j}^* = 1 - \frac{1 - p_{0,j}}{1 - x_{i,1+2}}$$

Paso 8. Calcular las capacidades de movimientos de rango 3

Los movimientos de tránsito en calles secundarias de rango 3, que incluyen cruces en intersecciones de cuatro ramas y giros a la izquierda en intersecciones en T, deben ceder el paso a los movimientos de rango 1 y 2 que estén en conflicto. No todos los espacios con longitud adecuada



para atravesar la intersección estarán necesariamente disponibles para los movimientos de rango 3, ya que algunos de estos espacios podrían ser ocupados por movimientos de rango 2.

En el caso de que el movimiento de rango 3 sea un movimiento de dos etapas, la capacidad de movimiento también debe calcularse en dos fases.

Paso 8a. Capacidad de movimiento rango 3 para movimientos de una etapa

Para los movimientos de rango 3, la magnitud de la impedancia⁶ de vehículos Depende de la probabilidad de que los vehículos que giran a la izquierda desde calles principales estén esperando un espacio adecuado al mismo tiempo que los vehículos de rango 3. A mayor probabilidad de que se produzca esta situación, mayor será el efecto de reducción de la capacidad del tráfico de giro a la izquierda de la vía principal sobre todos los movimientos de rango 3.

La capacidad de movimiento para rango 3 se determina calculando un factor de ajuste de capacidad que tenga en cuenta los efectos de obstaculización de los movimientos de rango superior, el cual se encuentra definido por la Ecuación 41.

Ecuación 41. Factor de ajuste de capacidad (HCM, 2010).

$$f_k = \prod_j p_{0,j}$$

f_k = Factor de ajuste de capacidad

$P_{0,j}$ = probabilidad de que el movimiento j de rango 2 en conflicto funcione en un estado libre de colas.

K =Movimientos de rango 3.

⁶ “La impedancia se refiere a la oposición que se presenta un determinado segmento vial al tránsito de los vehículos. Suele estar relacionado con pendientes, velocidades permitas, número de carriles, entre otros.” (Valásquez & Salcedo, 2020)



La capacidad de movimiento para los movimientos de calles menores de Rango 3 se calcula con la Ecuación 42, donde se opera el factor de ajuste de capacidad que toma en cuenta los efectos de impedimento de los movimientos de mayor rango calculados de acuerdo a la Ecuación 41 mencionada anteriormente.

Ecuación 42. Capacidad de movimientos de calles menores de rango 3 (HCM, 2010).

$$C_{m,k} = (C_{p,k})f_k$$

Paso 8b. Capacidad de movimiento rango 3 para movimientos de dos etapas

Si el movimiento de rango 3 se realiza en dos etapas, el proceso para calcular la capacidad total del movimiento debe tener en cuenta el procedimiento de aceptación de espacios en dos fases. El procedimiento para determinar esta capacidad es el siguiente. Un factor de ajuste a y una variable intermedia y se calculan con la Ecuación 43 y la Ecuación 44, respectivamente.

Ecuación 43. Factor de ajuste a

$$a = 1 - 0.32e^{-1.3\sqrt{n_m}} \text{ for } n_m > 0$$

Ecuación 44. Variable intermedia y

$$y = \frac{C_I - C_{m,x}}{C_{II} - v_L - C_{m,x}}$$

n_m = número de espacios de almacenamiento en la mediana;

C_I = capacidad de movimiento Etapa I (veh/h);

C_{II} = capacidad de movimiento Etapa II (veh/h);

v_L = flujo de giro a la izquierda o giro en U, ya sea $v_1 + v_{1U}$ o $v_4 + v_{4U}$ (veh/h); y

$C_{m,x}$ = capacidad de movimiento del sujeto, considerando el flujo total conflictivo para ambas etapas de un proceso de aceptación de espacio en dos etapas (a partir del paso 8a)

La capacidad total C_T para el movimiento en cuestión, teniendo en cuenta el proceso de aceptación de espacios en dos etapas, se calcula utilizando la Ecuación 45 y la Ecuación 46 e incorporando los factores de ajuste derivados de las Ecuación 43 y Ecuación 44.



Ecuación 45. Capacidad total para el sujeto en movimiento en II etapas y $\neq$ de 1 (HCM, 2010).

For $y \neq 1$:

$$c_T = \frac{a}{y^{n_m+1} - 1} [y(y^{n_m} - 1)(c_{II} - v_L) + (y - 1)c_{m,x}]$$

Ecuación 46. Capacidad total para el sujeto en movimiento en II etapas y $=1$ (HCM, 2010).

For $y = 1$:

$$c_T = \frac{a}{n_m + 1} [n_m(c_{II} - v_L) + c_{m,x}]$$

Paso 9. Cálculo de capacidad de movimiento para rango 4

Los movimientos de rango 4, solo están presente en intersecciones de 4 ramas, los movimientos para este rango son solo giros a la izquierda en calles secundarias, estos pueden verse impedidos por todos los movimientos de rangos superiores (rango 1,2 y 3)

Paso 9a. Capacidad de movimiento para rango 4 en una etapa

La probabilidad de que los movimientos de tráfico de mayor rango operen sin colas es crucial para evaluar el impacto de los obstáculos en los giros a la izquierda desde las calles secundarias (HCM, 2010).

La Ecuación 47 se utiliza para ajustar la sobreestimación causada por la dependencia estadística entre las colas en los flujos de los rangos 2 y 3. La representación gráfica se encuentra en la Figura 22 (HCM, 2010).

Ecuación 47. Ajuste del factor de impedancia de la calle principal y la calle secundaria que cruza (HCM, 2010).

$$p' = 0.65 p'' - \frac{p''}{p'' + 3} + 0.6 \sqrt{p''}$$

p' = ajuste del factor de impedancia de la calle principal a la izquierda y de la calle secundaria que cruza;

$p'' = (P_{o,j}) (p_{o,k})$;



$p_{0,j}$ = probabilidad de un estado sin colas; y

$p_{0,k}$ = probabilidad de un estado sin colas para el tráfico de cruce de calles secundarias en conflicto.

Cuando se determina p' para rango 4 movimiento 7 en la

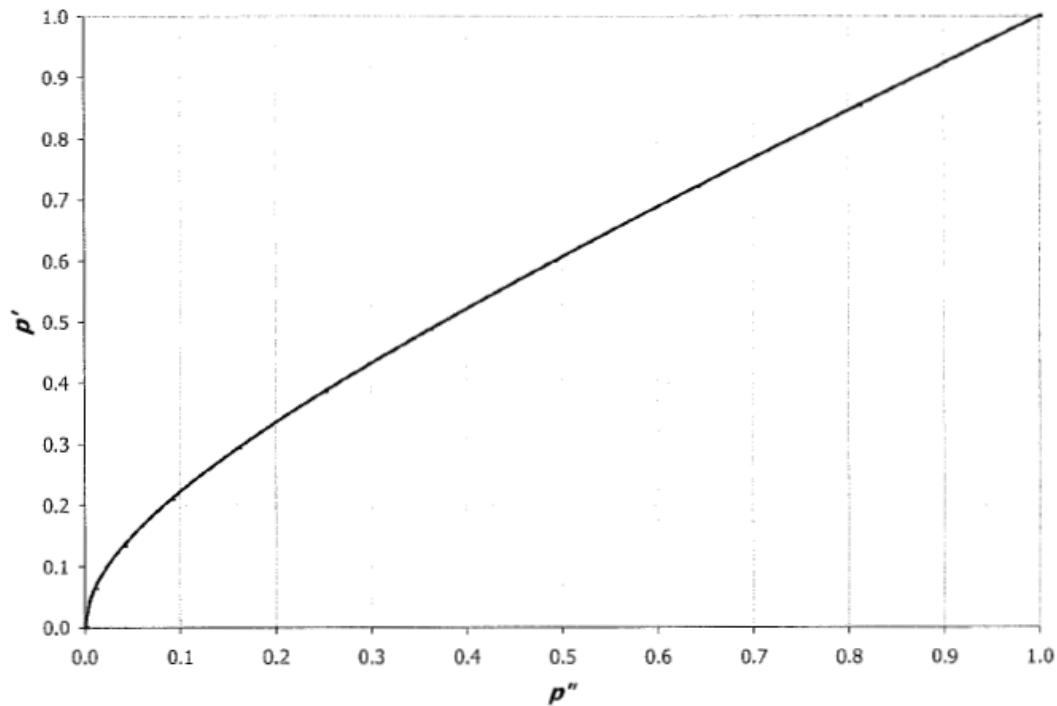


Figura 22. Factor de ajuste de impedancia de la calle mayor giro a la izquierda y calle secundaria que cruza (HCM, 2010).

La capacidad de movimiento para todos los movimientos de rango 4 se obtiene calculando primero un factor de ajuste de capacidad que tiene en cuenta los efectos de obstaculización de los movimientos de rango superior. El factor de ajuste de capacidad del movimiento de giro a la izquierda de calles secundarias de rango 4 puede calcularse de la siguiente manera:

Ecuación 48. Factor de ajuste de capacidad para rango 4 calles secundarias con giros a la izquierda

$$f_{p,l} = (p')(p_{0,j})$$

donde



I = movimiento de giro a la izquierda en calle secundaria de rango 4 (movimientos 7 y 10 en la Figura 17), y

j = movimiento de giro a la derecha en calles secundarias de rango 2 en conflicto (Movimientos 9 y 12 en el Figura 17).

Finalmente, la capacidad de movimiento para los giros a la izquierda en calles secundarias de rango 4 se determina con la Ecuación 49. Capacidad de movimiento para rango 4, donde f , es el factor de ajuste de capacidad que toma en cuenta los efectos de obstrucción de los movimientos de rango superior.

Ecuación 49. Capacidad de movimiento para rango 4 (HCM, 2010)

$$c_{m,l} = (c_{p,l})f_{p,l}$$

Paso 9b. Capacidad de movimiento para rango 4 en dos etapas

El procedimiento para calcular la capacidad de movimiento total considerando el proceso de espacios en dos fases es el siguiente: Un factor de ajuste a y una variable intermedia se calculan con la Ecuación 19-55 y Ecuación 19-56, respectivamente:

Ecuación 50. Factor de ajuste a para rango 4 en dos etapas (HCM, 2010).

$$a = 1 - 0.32e^{-1.3\sqrt{n_m}} \text{ for } n_m > 0$$

Ecuación 51. Variable intermedia y para rango 4 en dos etapas (HCM, 2010).

$$y = \frac{c_I - c_{m,x}}{c_{II} - v_L - c_{m,x}}$$

n_m = número de espacios de almacenamiento en la mediana;

c_I = capacidad de movimiento Etapa I (veh/ h);

c_{II} = capacidad de movimiento Etapa II (veh/ h);

v_L = flujo de giro a la izquierda o giro en U, $v_l + v_{lu}$ o $v_4 + v_{iU}$ (veh/h);

$c_{m,x}$ = capacidad de movimiento del sujeto, incluido el flujo total en conflicto para ambas etapas de un proceso de espacios de dos etapas (del Paso 9a).



La capacidad total c_T para el movimiento en cuestión, teniendo en cuenta el proceso de aceptación de espacios en dos etapas, se calcula utilizando las Ecuación 45 y Ecuación 46 e incorporando los factores de ajuste calculados en las Ecuación 50 y Ecuación 51.

Paso 10. Ajustes finales de capacidad

Paso 10a. Capacidad de carriles compartidos en accesos a calles secundarias.

Cuando varios movimientos utilizan el mismo carril y no tienen la posibilidad de detenerse uno al lado del otro en la línea de detención, se utiliza la Ecuación 52 para determinar la capacidad de carril compartido:

Ecuación 52. Capacidad de carril compartido.

$$C_{SH} = \frac{\sum_y v_y}{\sum_y \left(\frac{v_y}{c_{m,y}} \right)}$$

C_{SH} = capacidad del carril compartido (veh/h)

v_y = flujo del movimiento y en el carril compartido en cuestión (veh/h).

$c_{m,y}$ = Capacidad del movimiento y en el carril compartido

Paso 10b. Calcular efectos de carriles secundarios ensanchados

Para estimar la capacidad de un carril de giro a la derecha ensanchado (como en Figura 23), la longitud promedio de la cola para cada movimiento que comparte el carril derecho en la aproximación a la calle secundaria debe calcularse primero con la Ecuación 19-60. Suponiendo que el movimiento de giro a la derecha sea en un carril y que el resto del tráfico siga por el carril derecho (aguas arriba del ensanchamiento), es decir un carril separado.

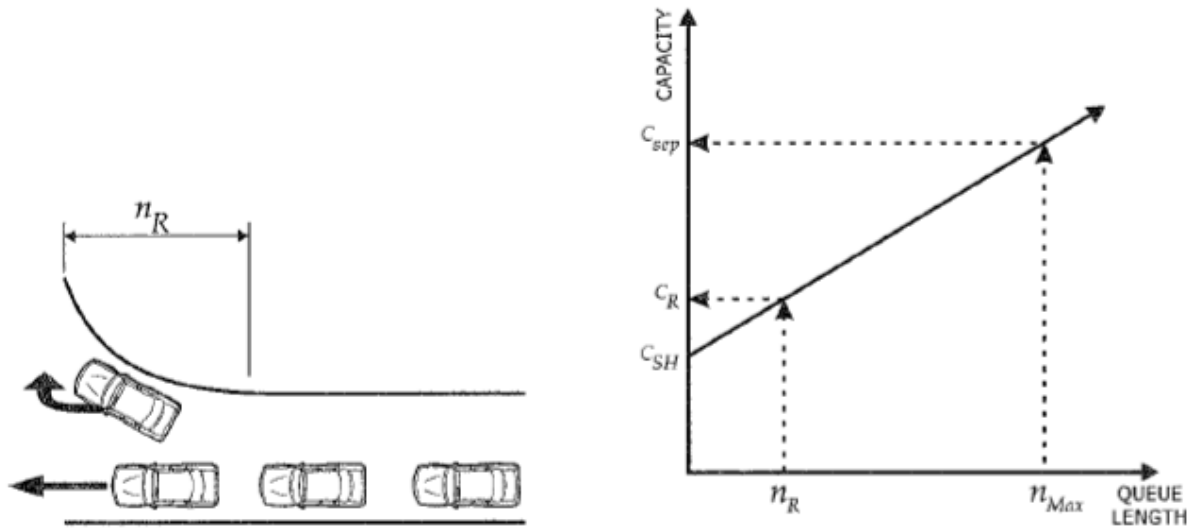


Figura 23. Capacidad de carril ensanchado al aproximarse (HCM, 2010)

Ecuación 53. Longitud de cola para movimientos considerando un carril separado (HCM, 2010).

$$Q_{sep} = \frac{d_{sep} v_{sep}}{3,600}$$

Q_{sep} = Longitud media de cola para moviendo considerando un carril separado (veh);

d_{sep} = retardo de control para el movimiento considerado como un carril separado (como descrito en el paso 11); y

v_{sep} = flujo de para el movimiento (veh/h)

A continuación, se presenta la Ecuación 54, en la cual se calcula longitud de requerida del área de almacenamiento para que las aproximaciones funcionen como carriles separados. Es este valor calculado para cada movimiento por separado, más un vehículo.



Ecuación 54. Longitud del área de almacenamiento (HCM, 2010).

$$n_{Max} = \text{Max}_i \left[\text{round}(Q_{sep,i} + 1) \right]$$

$Q_{sep,i}$ = Longitud media de cola para moviendo i considerando un carril separado (veh);

round= redondear al número entero más cercano

n_{Max} = longitud del área de almacenamiento tal que la aproximación funcionaría como carriles separados.

Para calcular la capacidad de un carril separado se debe usar la Ecuación 55

Ecuación 55. Capacidad para un carril separado (HCM, 2010).

$$c_{sep} = \text{Min} \left[c_R \left(1 + \frac{v_{L+TH}}{v_R} \right), c_{L+TH} \left(1 + \frac{v_R}{v_{L+TH}} \right) \right]$$

Donde el HCM asigna lo siguiente:

C_{sep} = suma de las capacidades del tráfico que gira a la derecha y que circula en un carril independiente y la capacidad del resto del tráfico en el carril derecho (aguas arriba de la señal) que circula en un carril independiente (veh/h),

c_R = capacidad del movimiento de giro a la derecha (veh/h),

c_{L+TH} = capacidad de los movimientos de paso y giro a la izquierda como carril compartido (veh/h),

v_R = flujo de movimiento de giro a la derecha (veh/h), y

v_{L+TH} = flujo combinado de movimiento de paso y giro a la izquierda (veh/h).

Finalmente, se determina la capacidad del carril teniendo en cuenta el ensanchamiento. Se debe interpolar como se muestra en la Figura 23. Capacidad de carril ensanchado al aproximarse Figura 23. Se establece una línea recta utilizando los valores de dos puntos: (c_{sep}, n_{Max}) y $(c_{SH}, 0)$. El valor interpolado será el valor real de la capacidad del carril ensanchado c_R se calcula con la Ecuación 56 (HCM, 2010).



Ecuación 56. Capacidad real del carril ensanchado (veh/h)

$$C_R = \begin{cases} \left(C_{sep} - C_{SH} \right) \frac{n_R}{n_{Max}} + C_{SH} & \text{if } n_R \leq n_{Max} \\ C_{sep} & \text{if } n_R > n_{Max} \end{cases}$$

C_R =Capacidad real del carril ensanchado (veh/h);

C_{sep} = capacidad del carril si ambas áreas de almacenamiento fueran infinitamente largas (ver Ecuación 55) (veh/h);

C_{SH} = capacidad del carril cuando todo el tráfico comparte un carril (veh/h);

n_R = área de almacenamiento real para vehículos que giran a la derecha como se define en Figura 23; y

n_{max} = flujo combinado de movimiento de paso y giro a la izquierda (veh/h).

Paso 11: Calcular el retraso del control de movimientos:

El retraso que enfrenta un automovilista está influenciado por varios factores, como el tipo de control, las características geométricas, el volumen de tráfico y los incidentes. El retraso asociado al control abarca la demora que ocurre al reducir la velocidad hasta detenerse en la cola, el tiempo de avance dentro de la cola, el retraso por detenerse en la parte delantera de la cola y el tiempo necesario para acelerar nuevamente hasta alcanzar la velocidad de flujo libre. (HCM, 2010).

En otras palabras, el retraso de control se define como el tiempo total que transcurre desde que el vehículo llega a la parte de atrás de la cola hasta que llega a la primera posición de la cola.

Calcular el retraso del control de movimientos de rango 2 a rango 4:

La demora de control promedio para un movimiento menor depende de la capacidad de la aproximación y del grado de saturación. El modelo utilizado para calcular esta demora supone que la demanda no supera la capacidad durante el período de análisis. Sin embargo, si el grado de saturación excede el 90%, la demora promedio se ve significativamente influenciada por la



duración del análisis. Generalmente, se recomienda un período de análisis de 15 minutos. Si la demanda supera la capacidad en ese tiempo, los resultados de la demora calculada pueden no ser precisos.

Ecuación 57. Retardo de control (HCM, 2010).

$$d = \frac{3600}{c_{m,x}} + 900T \left[\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c_{m,x}} \right) \left(\frac{v_x}{c_{m,x}} \right)}{450T}} \right] + 5$$

donde

d = retardo de control (s/veh);

v_x = caudal del movimiento x (veh/h);

$c_{m,x}$ = capacidad del movimiento x (veh/h); y

T = periodo de tiempo de análisis (igual a 0,25 h para un periodo de 15 minutos) (h).

La constante 5 s/veh se incluye en la ecuación para tener en cuenta la desaceleración de los vehículos desde la velocidad de flujo libre, a la velocidad de los vehículos en cola y la aceleración de los vehículos desde la línea de parada a la velocidad de flujo libre. (HCM, 2010)

Paso 11b. Calcular el retraso del control de movimientos de rango 1:

Hay una consideración importante este paso, si no se proporciona una zona exclusiva para girar a la izquierda en la calle principal, el vehículo con retraso en el giro a la izquierda puede generar demoras o bloqueos de los vehículos de rango 1 detrás de él. Este retraso también afectará otros movimientos de rangos inferiores (HCM, 2010).

Las observaciones realizadas en el campo han mostrado que este efecto de bloqueo suele ser mínimo, ya que la calle principal generalmente ofrece suficiente espacio para que el vehículo de rango 1, que está bloqueado, pueda evitar el vehículo que gira a la izquierda. Como mínimo, la incorporación de este efecto requiere la estimación de la proporción de vehículos de rango 1 bloqueados y el cálculo del retraso medio de los vehículos que giran a la izquierda en la calle principal que están bloqueando a los vehículos de paso (HCM, 2010).



En el procedimiento más simple, la proporción de vehículos de rango 1 en calles principales que no están bloqueados (es decir, en un estado sin colas) está dada por $p_{0,j}^*$ (ver Ecuación 38). Debe entonces reemplazar $p_{0,j}^*$ por $p_{0,j}$ y luego calcular la capacidad de los movimientos de menor rango que entran en conflicto. Por tanto, la proporción de vehículos bloqueados del rango 1 es $1 - p_{0,j}^*$. (HCM, 2010)

Ecuación 58. Retraso a vehículos rango 1 (HCM, 2010).

$$d_{Rank1} = \begin{cases} \frac{(1 - p_{0,j}^*) d_{M,LT} \left(\frac{v_{i,1}}{N} \right)}{v_{i,1} + v_{i,2}} & N > 1 \\ (1 - p_{0,j}^*) d_{M,LT} & N = 1 \end{cases}$$

d_{Rank1} = retraso a vehículos de rango 1 (s/veh);

N = número de carriles de paso por sentido en la calle principal;

$P_{0,j}^*$ = proporción de vehículos de rango 1 no bloqueados, según la Ecuación 38;

$d_{M,LT}$ = retardo de los vehículos que giran a la izquierda, según la Ecuación 57(s/veh);

$v_{i,1}$ = vehículos de paso por calles principales en carril compartido (veh/h); y

$v_{i,2}$ = vehículos que giran a la izquierda en carril compartido (veh/h).

en una vía de varios carriles, solo la calle principal que está haciendo bloqueada, puede calcularse $v_{i,1}$ y $v_{i,2}$. Si se asume que los vehículos de rango 1 bloqueados no evitan el bloqueo moviéndose hacia otros carriles de paso (una suposición razonable en condiciones de altos flujos de calles principales), entonces $v_{i,1} = v_2/N$. pero esta decisión queda sujeta a consideración de la persona que realiza el análisis.

Paso 12. Cálculo de retraso de control de aproximación e intersección:

La demora de control para todos los vehículos en una aproximación específica puede calcularse como el promedio ponderado de las estimaciones de demora de control para cada tipo de movimiento dentro de esa aproximación. Este método proporciona una medida integral al



combinar las demoras individuales según su influencia relativa en el tráfico total. (HCM, 2010). Para el cálculo se utiliza la ecuación 19-66.

Ecuación 59. Retraso de control por aproximación (HCM, 2010).

$$d_A = \frac{d_r v_r + d_t v_t + d_l v_l}{v_r + v_t + v_l}$$

Donde HCM menciona que:

d_A = retraso de control en la aproximación (s/veh);

d_r d_t d_l = retraso de control calculado para los movimientos de giro a la derecha, paso y giro a la izquierda respectivamente (s/veh); y

v_r v_t v_l = flujo o caudal del tráfico de giro a la derecha, de paso y de giro a la izquierda en la aproximación, respectivamente (veh/h).

Del mismo modo, el retardo de control de la intersección puede calcularse con

Ecuación 60. Retraso de control por intersección (HCM, 2010).

$$d_i = \frac{d_{A,1} v_{A,1} + d_{A,2} v_{A,2} + d_{A,3} v_{A,3} + d_{A,4} v_{A,4}}{v_{A,1} + v_{A,2} + v_{A,3} + v_{A,4}}$$

donde

$d_{A,x}$ = retardo de control en la aproximación x (s/veh), y

$v_{A,x}$ = volumen o caudal en la aproximación x (veh/h).

Al aplicar la Ecuación 59 y la Ecuación 60, se asume que la demora para todos los movimientos de calles principales de Rango 1 es de 0 s/veh. La LOS⁷ no está definida para una intersección en general porque los movimientos de calles principales con 0 s de demora típicamente resultan en una demora promedio ponderada que es extremadamente baja. Como tal, los cálculos de la demora total de control en una intersección se emplean principalmente para comparar la demora entre distintos tipos de regulación del tráfico, como el control de ALTO en dos direcciones frente al control de ALTO en todas las direcciones (HCM, 2010).

⁷ LOS, Level Of Service en español niveles de servicio



Paso 13. Calcular longitudes de cola del percentil 95:

La longitud de cola es crucial en intersecciones sin semáforos. Los estudios teóricos y observaciones prácticas han demostrado que la distribución de las longitudes de las colas para un movimiento menor depende de la capacidad del movimiento y del volumen de tránsito durante el período de análisis. La Ecuación 61 se puede utilizar para estimar la longitud de cola del percentil 95 para cualquier movimiento menor en estas intersecciones durante el período pico de 15 minutos, basándose en estos dos parámetros (HCM, 2010).

Ecuación 61. Percentil 95 para longitud de cola (HCM, 2010).

$$Q_{95} \approx 900T \left[\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3,600}{c_{m,x}} \right) \left(\frac{v_x}{c_{m,x}} \right)}{150T}} \right] \left(\frac{c_{m,x}}{3,600} \right)$$

Q_{95} = percentil 95 de la longitud de cola (veh);

v_x = flujo del movimiento x (veh/h);

$c_{m,x}$ = capacidad del movimiento x (veh/h), y

T = periodo de análisis (0,25 h para un periodo de 15 minutos) (h).

La longitud media de la cola se calcula como el producto del retraso medio por vehículo y el flujo del movimiento de interés. El retraso total previsto (horas de vehículo por hora) es igual al número previsto de vehículos en la cola media; es decir, el retraso total por hora y la cola media son numéricamente idénticos. Por ejemplo, cuatro vehículos hora por hora de retraso pueden utilizarse indistintamente con una longitud media de cola de cuatro vehículos durante la hora.

2.9.2 Metodología de semaforización según HCM 2010

Para entender la semaforización como un sistema de control, es necesario conocer algunos conceptos básico usados dentro la metodología del Highway Capacity Manual explicada por el Ing. Rafael Cal y Mayor:

- **Indicación de señal:** son las luces que indican combinaciones de movimientos dentro de la semaforización.



- **Ciclo:** tiempo necesario para que se complete una vuelta completa de las indicaciones del semáforo.
- **Maniobra o movimiento:** es el conjunto de movimientos de una intersección que tiene el paso según su orden de llega o su señal indicativa de control.
- **Intervalo:** es un tiempo dentro de la longitud de ciclo durante el que por un momento se efectúan las mismas condiciones.
- **Fase:** es la forma como se controla una semaforización, dándole prioridad a un movimiento y bloqueando momentáneamente otros movimientos dentro de un ciclo. Esto ayuda a que no se generen conflictos en la intersección. Suelen ser tenidos en cuenta para movimientos tanto vehiculares como peatonales. Sin embargo, es importante mencionar que las fases pueden estar controladas por semaforizaciones fijas, accionados por el tráfico en relación a las horas pico o controlados bajo una oficina central.
- **Secuencia de fases:** orden de las fases sin interrupciones.
- **Intervalos de despeje:** es un aviso para cambiar de fase del intervalo amarillo al intervalo verde, se usa como precaución para continuar de una fase a la siguiente.
- **Intervalo todo rojo:** es un tiempo en el que entra el usuario en fase de reposo, mientras ocurren los demás movimientos, debe ceder el paso y simplemente esperar al cambio a la luz verde.
- **Intervalo de cambio de fase:** es la luz amarilla que indica que va ocurrir dentro de poco un cambio.

En el cálculo del tiempo de semaforización mediante el HCM 2010 para una intersección semaforizada, es necesario inicialmente determinar el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados, por consiguiente, convertir el Volumen Horario de Máxima Demanda en flujos de automóviles directos equivalentes totales, el cual está compuesto por la sumatoria del flujo de vehículos equivalentes: directos, de vuelta a la izquierda y de vuelta a la derecha.

2.9.2.1 Intervalo de cambio de fase

Fundamentalmente un intervalo de cambio de fase previene al usuario, para la aproximación a la intersección. Este usuario debe considerar el tiempo de percepción-reacción, el frenado y



finalmente el tiempo necesario de despeje de la intersección. Para comprender mejor ver la Figura 1 .

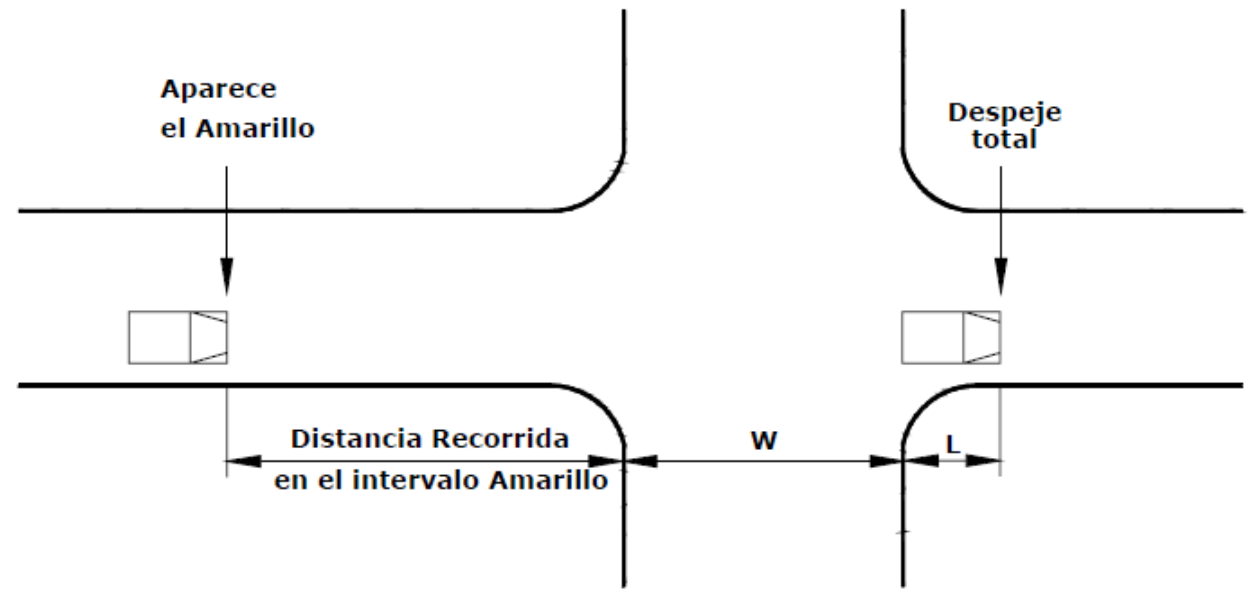


Figura 24. Intervalo de cambio de fase

2.9.2.2 Ciclo

F.V. Webster, demostró que la demora mínima de los vehículos en una intersección con semáforo, se puede alcanzar para un ciclo óptimo. Citó (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

$$C_o = \frac{1,5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\varphi} \beta_i}$$

Figura 25. Ciclo óptimo

Donde (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018) menciona que:

C_o = Tiempo óptimo de ciclo (s);

L = Tiempo total perdido por ciclo (s);

β_i = Máximo valor de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación para el acceso o movimiento o carril crítico de la fase i ; y

φ = Número de fases.



2.9.2.3 Vehículos equivalentes

A causa de la diversificación vehicular se crearon factores de equivalencia, que permitían estandarizar bajo un solo factor de vehículos pesado. Este ajuste se presenta pese a que las condiciones con las que transita un carro no son las mismas de las de un camión pesado. Es decir, los autos pueden pasar más rápido mientras que un vehículo pesado se va a demorar un poco más en cruzar una intersección semaforizada. Por tanto, se desarrolló el factor de ajuste por efecto de vehículos pesados, a continuación, se presenta la ecuación

Ecuación 62. Factor de ajuste por efectos de vehículos pesados (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

$$f_{vp} = \frac{100}{100 + P_C (E_C - 1) + P_B (E_B - 1) + P_R (E_R - 1)}$$

Donde (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018):

f_{vp} = Factor de ajuste por efecto de vehículos pesados;

P_C = Porcentaje de camiones;

P_B = Porcentaje de autobuses;

P_R = Porcentaje de vehículos recreativos;

E_C = Automóviles equivalentes a un camión;

E_B = Automóviles equivalentes a un autobús;

E_R = Automóviles equivalentes a un vehículo recreativo.

En este punto se debe tener presente que los vehículos que suelen llevar mas tiempo dentro de la intersección, son todos los giros laterales, mientras que los que mantienen su recorrido de frente requieren menos tiempo. Por esto, se debe contar con factores por movimiento de vuelta. En donde se convierta automóviles que dan giros a automóviles que mantienen su recorrido recto. Esto da paso a que el factor de hora de máxima demanda (FHMD), convierte los volúmenes horarios de máxima demanda (VHMD) a tasas de flujo (q). (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

Finalmente, los volúmenes horarios mixtos (VHMD), se convierten en flujos de automóviles directos equivalentes por hora que no dan giro (Q_{ADE}) por la ecuación.



Ecuación 63. Flujo de automóviles directos equivalentes (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHMD} \left(\frac{1}{f_{vp}} \right) (E_v)$$

Donde (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018) menciona que:

q_{ADE} = Flujos de automóviles directos equivalentes

E_v = Factor por movimiento de vuelta

VHMD = Volumen horario de máxima demanda

FHMD = Factor de hora de máxima demanda

f_{vp} = Factor de ajuste por efecto de vehículos pesados

Tabla 12. Valores para factores de vehículos equivalentes (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

FACTOR	VALOR	OBSERVACION
E_C, E_B	1,4 a 1,6	Valores comúnmente utilizados, sin embargo, pueden ser mayores.
E_C, E_B	1,5	Para accesos con pendientes cercanos al 0% con predominio de camiones livianos o medianos.
E_v	1,4 a 1,6	Para vueltas hacia la izquierda.
E_v	1 a 1,4	Para vueltas hacia la derecha.
FHMD	0,95	Para proyecto y diseño de planes de tiempos del Semáforo.

Flujo de saturación y tiempo perdido

Explicar el flujo de saturación “s”, es el flujo que pasa de vehículos que pasa el semáforo, mientras que el semáforo se encuentra en verde, bajo la premisa de que una vez finalizado el tiempo en verde habrá una fila de vehículos aguardando a continuar mientras se está en periodo de reposo.

En otras palabras, es una tasa de vehículos que cruzan el semáforo. Y hay dos premisas en esta condición. Al momento de cambiar y dar paso al verde los primeros vehículos van a tomar un tiempo para alcanzar la aceleración y una velocidad normal, mientras que los vehículos que se



aproximan al momento de que se va a presentar el cambio a color rojo deben reducir su aceleración y por tanto bajar su velocidad para frenar y esperar detrás de la línea del semáforo.

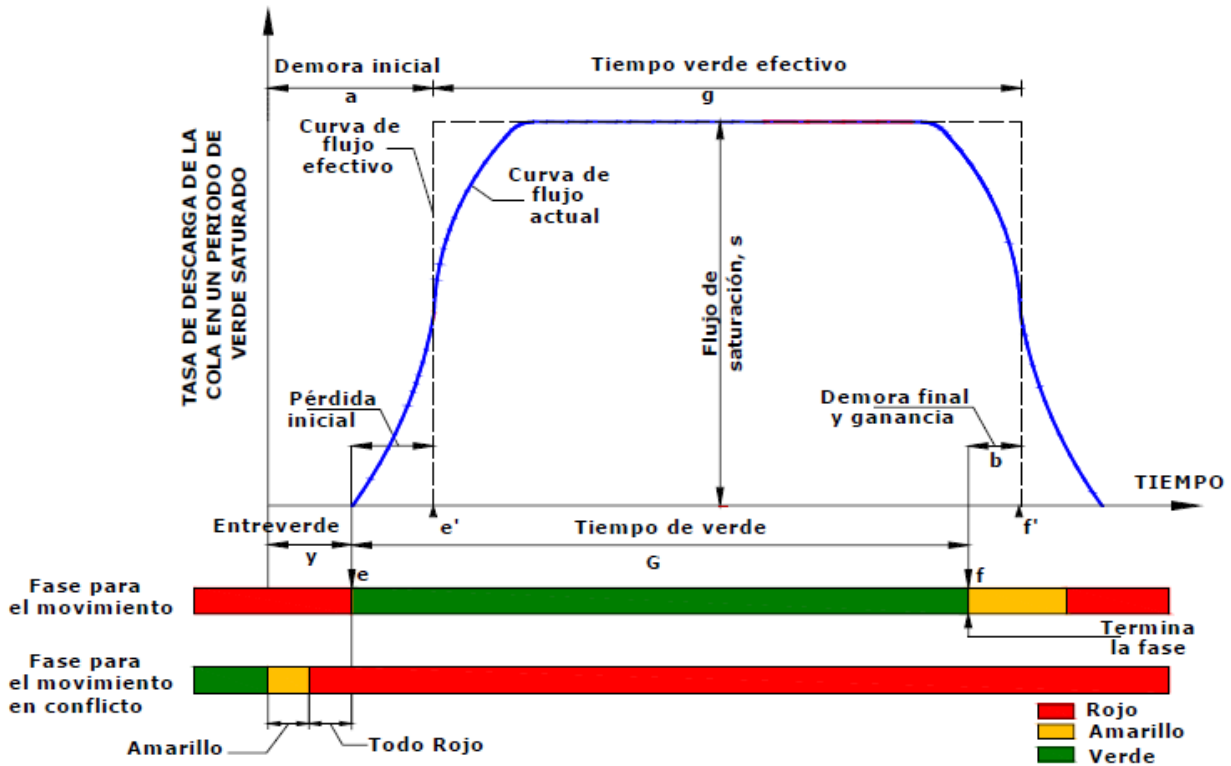


Figura 26. Modelo básico del flujo de saturación (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018)

Según Cal y Mayor & Cárdenas (2018), el modelo básico, o curva de flujo efectivo, sustituye la curva de flujo actual de vehículos que cruzan la línea en un ciclo promedio. Este enfoque proporciona una representación más precisa al reemplazar la curva tradicional utilizada para medir el flujo de tránsito.

En donde:

Ee' = tiempo de pérdida inicial;

ff' = tiempo de ganancia final;

a = demora;

Ecuación 64. Demora (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

$$a = y_i + ee'$$



B= ganancia final;

Ecuación 65. Ganancia final (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

$$b = ff'$$

Entre tanto, el tiempo perdido por fase (l_i) será:

Ecuación 66. Tiempo perdido por fase (l_i) (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

$$l_i = a - b$$

Reemplazando valores se tiene entonces:

$$l_i = y_i + ee' - ff'$$

El tiempo de verde efectivo (g_i) para la fase “i” será:

Ecuación 67. Tiempo de verde efectivo (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

$$g_i = G_i + ff' - ee'$$

Acomodando se tiene:

$$ee' - ff' = G_i - g_i$$

Reemplazando en la Ecuación 66 se tiene:

Ecuación 68. Tiempo perdido por fase (l_i) en función de equivalencia de tiempo en verde. (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

$$l_i = y_i + G_i - g_i$$

Generalmente el intervalo de cambio de fase “ y_i ” de una fase “i” es igual al intervalo amarillo “ A_i ”, entonces:

Ecuación 69. Intervalo de cambio de fase y_i = intervalo amarillo A_i

$$y_i = A_i$$



Reemplazando Ecuación 69 en la Ecuación 68 se tiene entonces:

Ecuación 70. Tiempo perdido por fase (l_i) en función de intervalo en amarillo, tiempo de verde efectivo. (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

$$l_i = A_i + G_i - g_i$$

Suponiendo que $ee' = ff'$, se tiene:

$$g_i = G_i$$

G_i = tiempo real

Ecuación 71. Tiempo perdido = intervalo de cambio de fase y_i = intervalo en amarillo (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

$$l_i = y_i = A_i$$

Finalmente, el tiempo total “L” perdido por ciclo es:

Ecuación 72. Tiempo perdido por ciclo (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

$$L = \sum_{i=1}^g (l_i) + \sum_{i=1}^g (TR_i)$$

Dónde: T

R = Tiempo total rojo durante el ciclo en caso de existir.

ϕ = Número de fases.

l_i = Tiempo perdido por fase “i”.

Asignación de tiempos verdes

-Tiempo Verde Efectivo Total (g_T):

Ecuación 73. Tiempo verde efectivo total (g_T) (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

$$g_T = C - L = C - \left[\left(\sum_{i=1}^g l_i \right) + TR \right]$$

Donde (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018):

g_T = Tiempo verde efectivo total por ciclo disponible para todos los accesos,

C = Longitud actual del ciclo (redondeando C_0 a los 5 segundos más próximo).



-Demora total mínima:

El tiempo verde efectivo total (g_T), deberá distribuirse entre las diferentes fases en proporción a sus valores de β_i .

Ecuación 74. Demora total mínima (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018).

$$g_i = \frac{\beta_i}{\sum_{i=1}^{\varphi} \beta_i} \times g_T$$

Donde (Cal y Mayor & Cárdenas , 2018):

β_i = Máximo valor de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación para el acceso o movimiento o carril crítico de cada fase “i”.

φ = Número de fases.

Tiempo verde real (G_i), para cada fase “i”,

de la Ecuación 68 despejamos el tiempo verde real G_i

$$G_i = g_i + l_i - A_i$$

Donde: $i = 1, 2, \dots, \varphi$

2.9.3 Resumen del cálculo de los tiempos del semáforo



1°. Determinar el factor de ajuste por efecto de vehículos pesados.

$$f_{vp} = \frac{100}{100 + P_C(E_C - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

2°. Determinar los factores por movimientos de vuelta.

$$E_{V \text{ izquierda}} = ?$$

$$E_{V \text{ derecha}} = ?$$

3°. Flujos de automóviles directos equivalentes.

- Movimiento directo.

$$q_D = \frac{VHMD_D}{FHMD} \left(\frac{1}{f_{vp}} \right)$$

- Vuelta a la izquierda.

-

$$q_{V_{Izq}} = \frac{VHMD_{V_{Izq}}}{FHMD} \left(\frac{1}{f_{vp}} \right) (E_{V_{Izq}})$$

- Vuelta a la derecha.

-

$$q_{V_{Der}} = \frac{VHMD_{V_{Der}}}{FHMD} \left(\frac{1}{f_{vp}} \right) (E_{V_{Der}})$$

Por lo tanto el flujo equivalente en el acceso será:

$$q_T = q_D + q_{V_{Izq}} + q_{V_{Der}}$$

Realizar el 3° paso para cada acceso.



4°. Cálculo de la longitud de los intervalos de cambio para cada fase.

$$y_i = \left(t + \frac{v}{2a} \right) + \left(\frac{W + L}{v} \right); i = 1, 2, \dots, \varphi$$

5°. Tiempo perdido por fase. (l_i).

$$l_i = A_i; i = 1, 2, \dots, \varphi$$

6°. Tiempo total perdido por ciclo (L).

$$L = \sum_{i=1}^{\varphi} (l_i) + \sum_{i=1}^{\varphi} (TR_i)$$

7°. Máximas relaciones de flujo actual (q) a flujo de saturación (s) por carril para cada fase “ i ”.

$$\beta_i = \frac{q_{i \max}}{s}; i = 1, 2, \dots, \varphi$$

Donde:

$q_{i \max}$ = Flujo crítico o máximo por carril de la fase “ i ”.

8°. Cálculo de la longitud del ciclo óptimo (C_o)

$$C_o = \frac{1,5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\varphi} \beta_i}$$

Redondeando el valor obtenido a los 5 segundos más cercanos.

9°. Tiempo verde efectivo total (g_T)

$$g_T = C - L$$



10°. Reparto de los tiempos verdes efectivos (g_i).

$$g_i = \frac{\beta_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i} \times g_T$$

11°. Determinación de los tiempos verdes reales. (G_i).

$$G_i = g_i + l_i - A_i$$

12°. Diagrama de tiempos en fases.

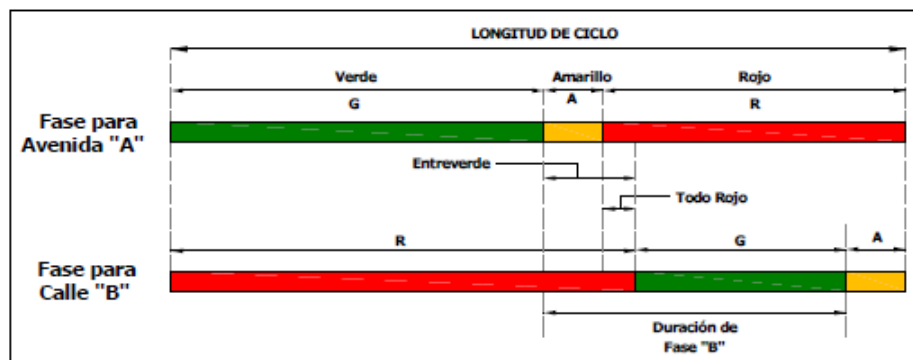


Figura 27. Resumen del cálculo de los tiempos del semáforo (Tapia & Veizaga, 2006).



3 Metodología

3.1 Paso 1: Descripción del marco físico del sitio

El marco físico proporciona una visión integral del sitio, en este caso, es esencial para tener en cuenta factores que influyen en la operación del crucero. Comienza con la localización, que define la ubicación geográfica del sitio, seguido de la identificación de vías de comunicación, en la que se analizan las rutas de acceso y conectividad. Luego, se analiza la climatología, para conocer si interfiere en los accidentes de tráfico, y la topografía y relieve, que describen la forma y elevación del terreno considerándolo en los resultados. En la descripción de la edafología y geología se identifican las características del suelo y rocas, la hidrografía permite distinguir la distribución de las corrientes de agua aledañas. En el uso del suelo y vegetación se analiza la ocupación y cobertura del terreno, y finalmente, en la zonificación se toma en consideración la clasificación del área en función de su uso y potencial.

3.2 Paso 2: Descripción de condiciones actuales de la intersección

Se realiza una descripción de las condiciones actuales del crucero objetivo, para lo cual es necesario realizar visitas de campo y establecer criterios visuales.

3.3 Paso 3: Recopilación de información

Se recopila información existente sobre la intersección, como:

- Inventarios de características geométricas y de señalamiento
- Volúmenes de tránsito con clasificación vehicular y velocidades de operación
- Historial de accidentes registrados

Esta información se obtiene del IMPLAN (SIGMUN), INEGI y la Dirección de Vialidad del Gobierno del Estado de Chihuahua.

3.4 Paso 4: Visitas de campo y levantamientos

Se realizan visitas de campo para obtener información adicional y complementar la recopilada. Se utilizan equipos aforadores con mangueras hidráulicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua para obtener aforos vehiculares y datos de entrada para los resultados.



3.5 Paso 5: Análisis y propuesta de semaforización

Se utiliza el Highway Capacity Manual (HCM 2010) y se determina el nivel de servicio actual de la intersección. Se analiza la información recopilada y se plantea una propuesta de semaforización para reducir los altos índices de accidentabilidad.

3.6 Paso 6: Cálculo del tiempo de semaforización

Se calcula el tiempo de semaforización utilizando un plan de cuatro fases con vueltas a la izquierda. Se determina la magnitud del intervalo amarillo y todo rojo para cada entrada a la intersección y se asigna el reparto de los tiempos en verde de cada fase.

Lo anterior, aplicando el Manual de Auditorías de Seguridad Vial, el cual busca dar seguimiento de la operación a los proyectos de vías terrestres logrando que cuenten con seguridad vial, dándole prioridad al usuario, ante un posible accidente, y evitando al máximo la pérdida de vidas o lecciones permanentes. (SCT, 2018)

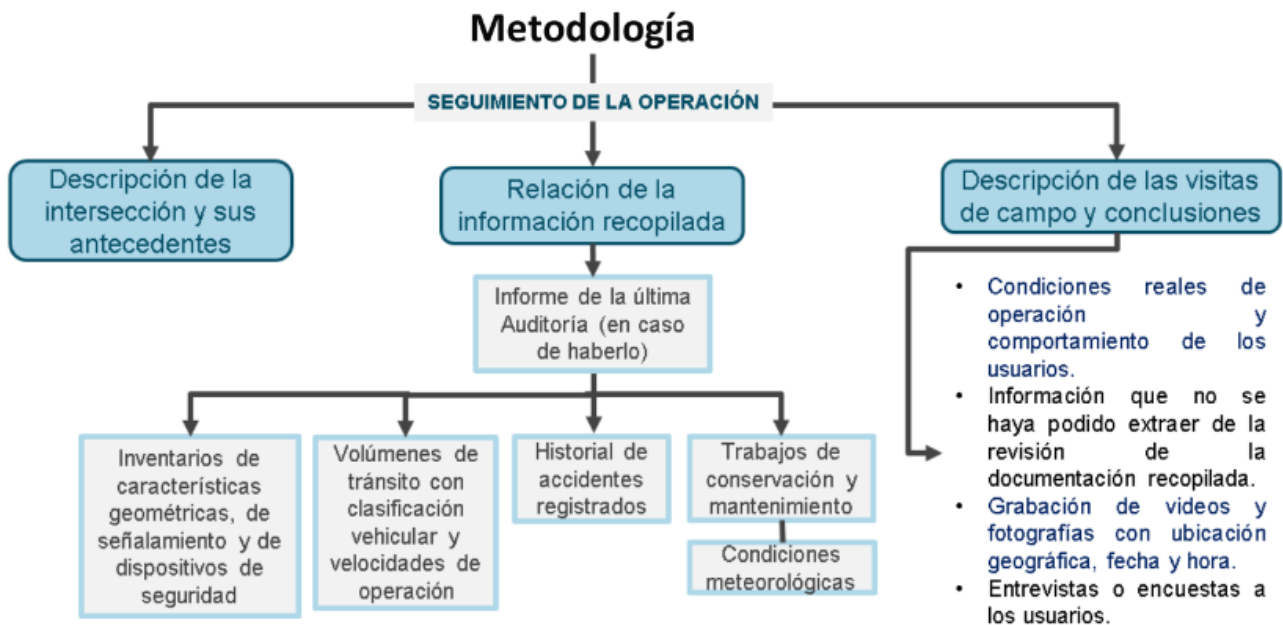


Figura 28. Metodología del Manual de Auditorías de Seguridad Vial (SCT, 2018).



4 Resultados y Análisis

4.1 Análisis del marco físico del sitio

En este subcapítulo se abordan las características físicas de la zona de estudio Avenida Circuito Universitario y Avenida Paseos de la Universidad, en esta sección se trabaja a partir de información extraída del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), y aplicando los conocimientos aprendidos a lo largo de la Maestría en Vías Terrestres haciendo uso de la herramienta ofimática ArcMap, un software mediante el cual se procesó toda la información que se documenta en éste capítulo para conocer las propiedades físicas de la zona de estudio.

Esta documentación, fue trabajada bajo información de archivos shapefile un formato que permite conocer la ubicación georreferenciada y además cuenta con información estadística que se puede filtrar y organizar por atributos, según lo que uno esté buscando. A continuación, se presenta en la Figura 29 entorno de trabajo de ArcMap.

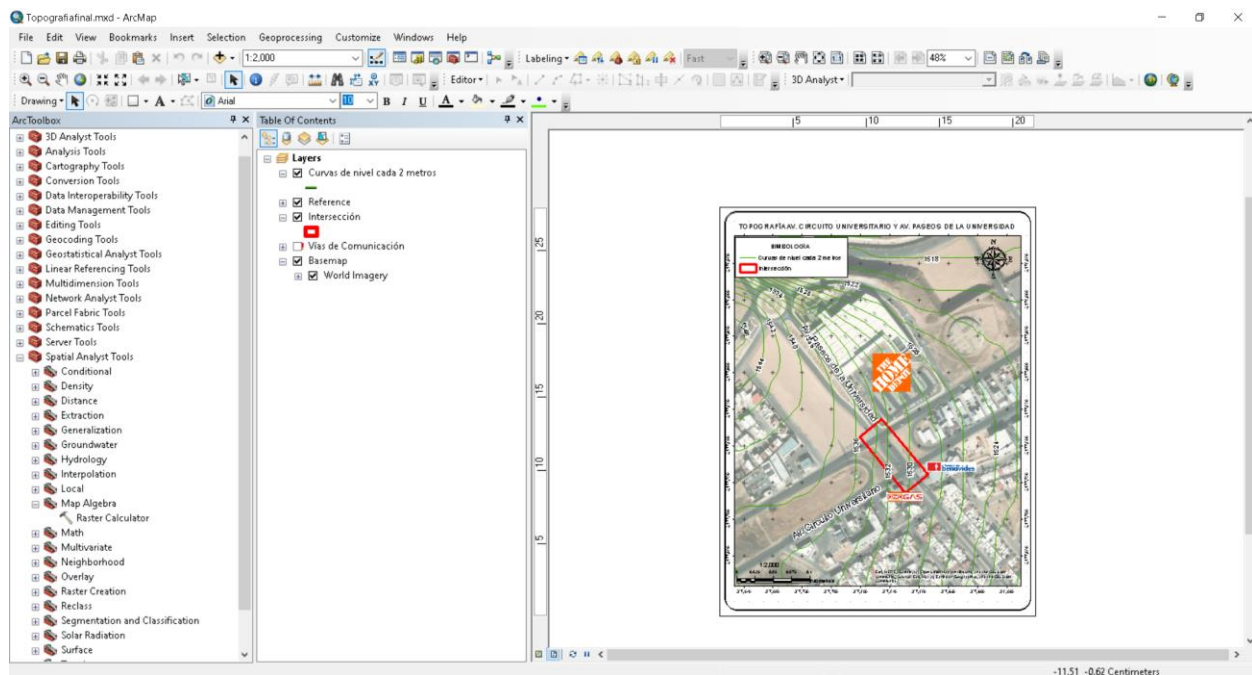


Figura 29. Entorno de ArcMap.



4.1.1 Localización

La ubicación del proyecto es en México, en la ciudad de Chihuahua, más específicamente al norte de la ciudad, en la Avenida Circuito Universitario y Avenida Paseos de la Universidad. A continuación, se presenta un mapa con sellos del comercio dentro de la intersección, con el fin de dar una guía visual al lector.



Figura 30. Localización (Ruiz, 2023).



4.1.2 Vías de comunicación

La zona de estudio cuenta con dos flujos importantes de tránsito, provenientes del tráfico del periférico de la juventud (sentido sur- norte) y Av. Tecnológico (sentido norte –sur), por estas vías se moviliza la mayor cantidad de vehículos que pasan por Av. Circuito Universitario. A continuación en la Figura 31 se observan las vías más próximas a la intersección.

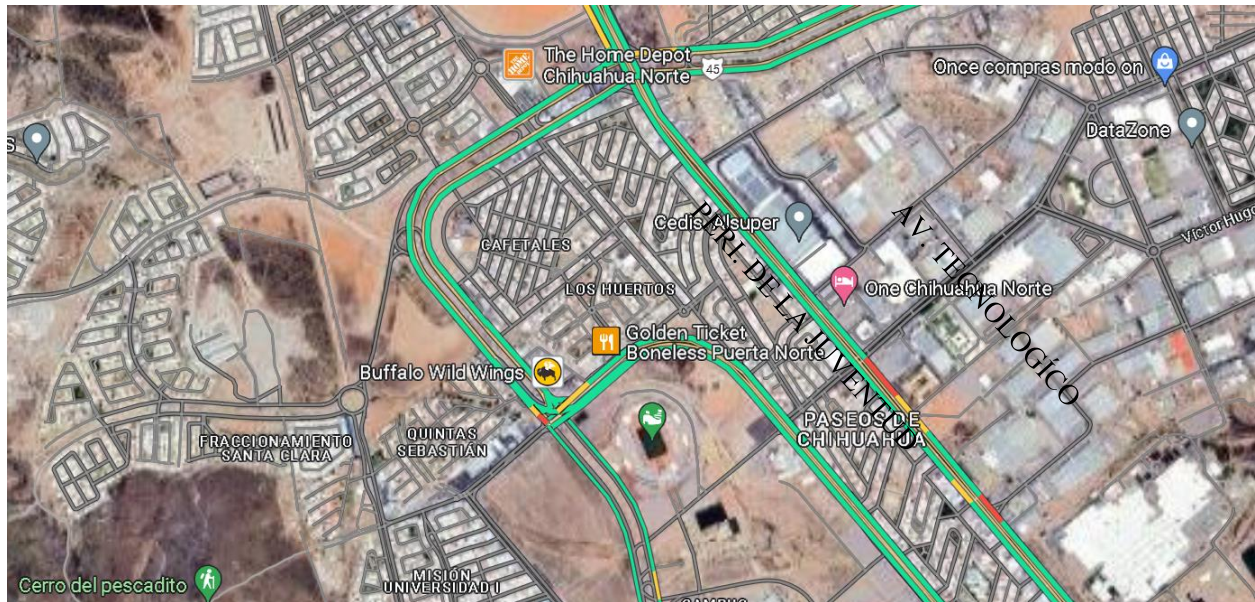


Figura 31. Vías de comunicación (Google Maps, 2023).

4.1.3 Climatología

Chihuahua es una zona desértica su condición climatológica es en su mayoría tiempo seco, en época de verano es cuando más se llega a humedecer debido a que es época de lluvia, la temperatura entre mayo – septiembre ronda entre 30-40° C. Regularmente sus temperaturas en épocas de invierno suelen variar, con descensos hasta de -5° C, pero al tiempo puede subir la temperatura hasta 25° C el medio día y volver a descender al anochecer (weatherspark, 2023).

A continuación, se presenta la Figura 32 con los grados en los que oscila Chihuahua, en la Figura 33 se observa los tiempos que se presentan en Chihuahua a lo largo del año, otra condición importante dentro de Chihuahua son los vientos en la Figura 344 se observa la variación de los vientos a lo largo del año. Estas imágenes presentadas son del año 2023.

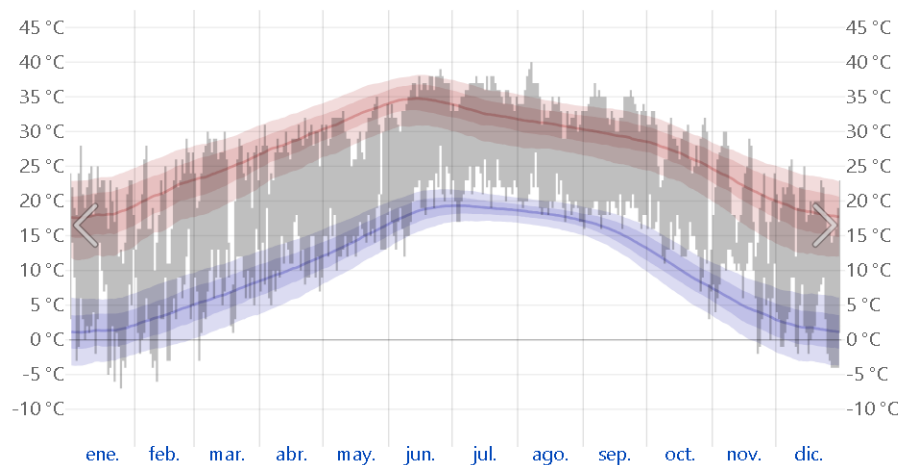


Figura 32. Grados de temperatura de Chihuahua (weatherspark, 2023).

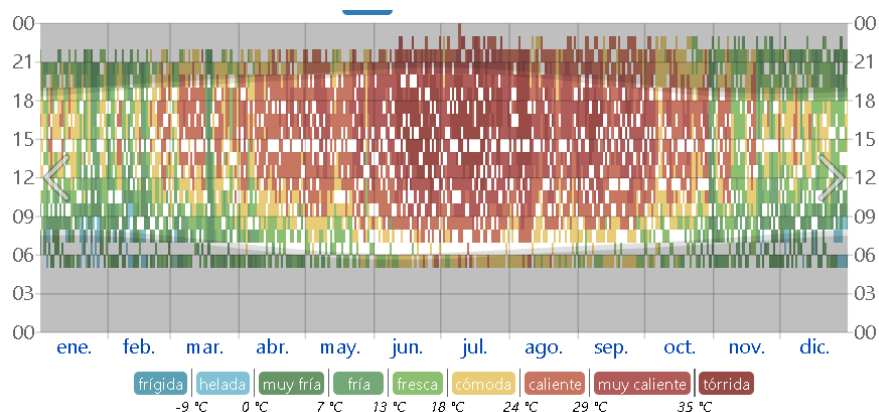


Figura 33. Temperatura de Chihuahua (weatherspark, 2023).

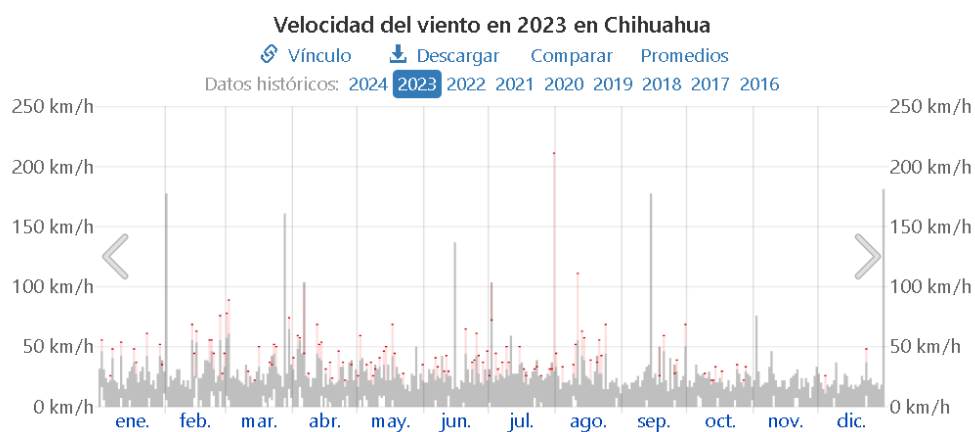


Figura 34. Vientos en Chihuahua (weatherspark, 2023).



4.1.4 Topografía y relieve

Variación de elevaciones del Estado Chihuahua rondan entre 800 y 2800 m.s.n.m. mientras que en Chihuahua Capital se cuenta con elevaciones entre 1200 a 1600 m.s.n.m. La ciudad se ubica entre dos sierras, por el oriente (Sierra Nombre de Dios) y al occidente (Sierra El Mogote y Sierra Azul). Cuenta con pendientes dentro de la zona urbana del 5 %, mientras que saliendo de esta zona se pueden encontrar pendientes entre 15- 20 % (IMPLAN , 2015).

A continuación, se presentan las curvas de nivel de la zona de estudio en la Figura 355.

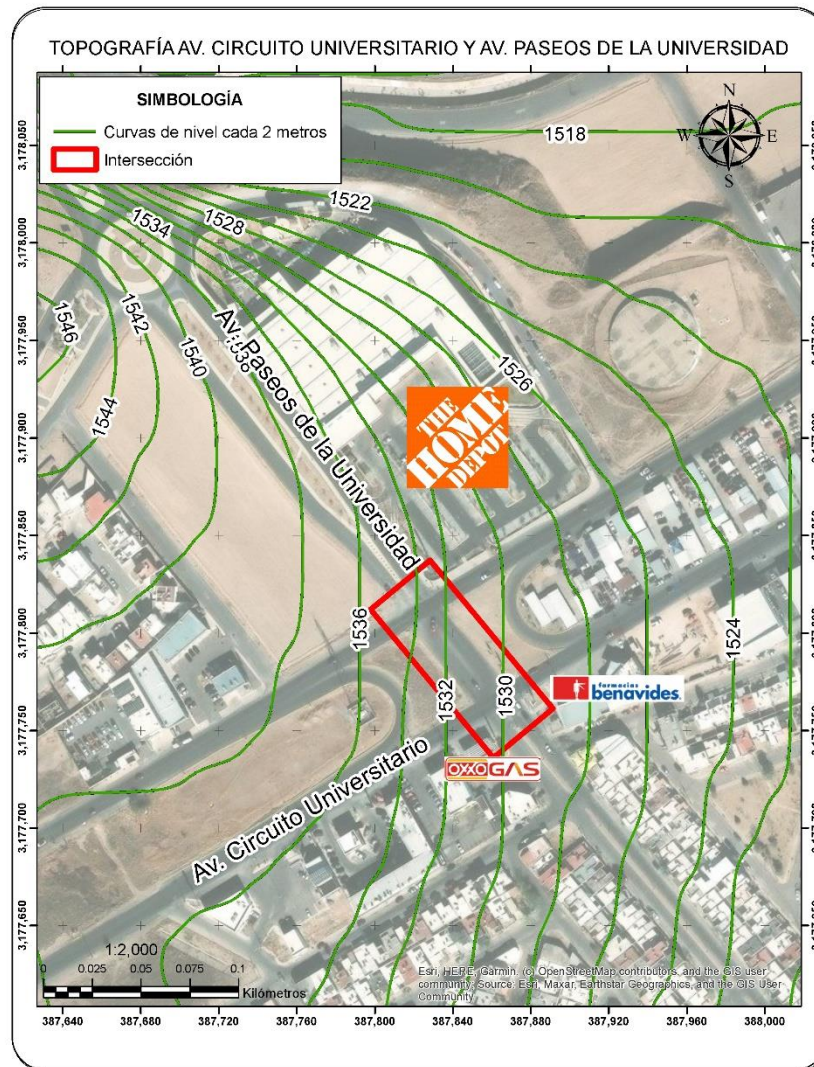


Figura 35. Topografía de la zona de estudio (INEGI, 2023; IMPLAN , 2015; Ruiz, 2023).



Como se observa en la Figura 35, las curvas están cada 2 metros de distancia, lo que deja una diferencia de aproximadamente 6 metros de altura desde el punto más alto de la intersección hasta el punto más bajo. Se realiza una medición para conocer el ancho de la intersección y se encuentra que son 60 metros. Esto hace que se dificulte la visibilidad por aproximación, debido a que su topografía o relieve presenta una diferencia de elevación, haciendo que se genere una inclinación importante sobre la intersección, que dificulta el paso continuo de vehículos por falta de visibilidad.

4.1.5 Edafología

En Chihuahua hay diferentes tipos de suelos en el Estado, puede remitirse a la Figura 366. En este círculo, se presenta las cantidades en porcentaje según el tipo de suelo edafológico. Para saber la condición edafológica de la zona de estudio fue necesario procesar la información del INEGI, y a partir de esta se obtuvo como resultado el mapa que se encuentra en la Figura 378.

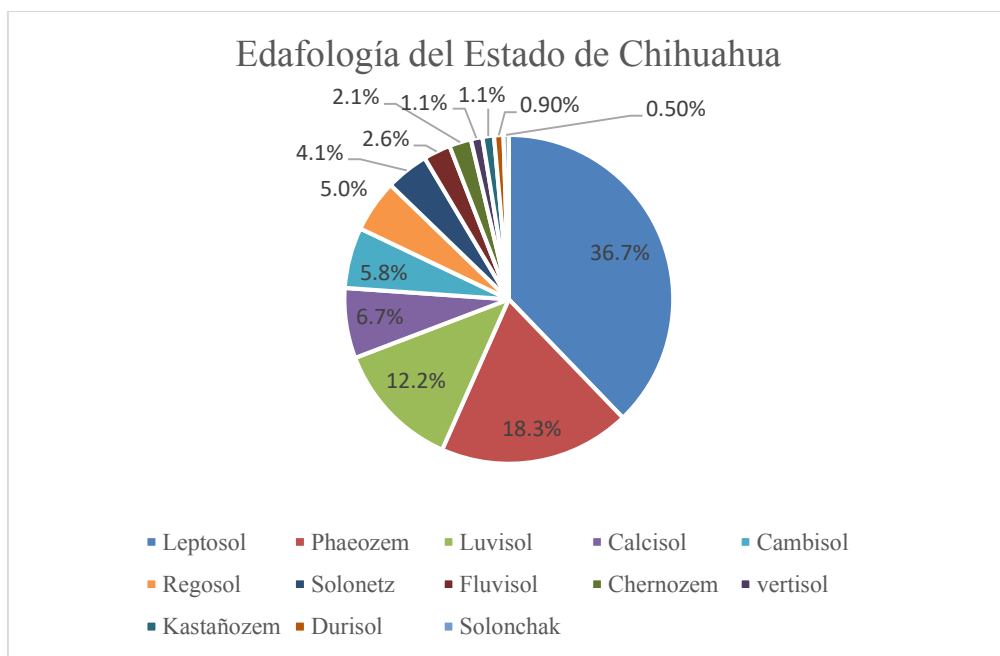


Figura 36. Edafología en el Estado de Chihuahua (IMPLAN , 2015; Ruiz, 2023).



Figura 37. Edafología de la zona de estudio (INEGI, 2023; IMPLAN , 2015; Ruiz, 2023).

La edafología encontrada en la zona estudio es regosol, este tipo de suelo está compuesto de materiales finos no consolidados se suele presentar sobre rocas que se deshacen con facilidad, es un material típico de zonas secas como Chihuahua. Su material parental es sedimentos volcánicos, areniscas o arcillas.



4.1.6 Geología

En la zona de estudio se encontró una condición geológica de la era cenozoico o era terciaria, más específicamente Neógeno, la primera etapa de esta era. En la cual se encuentran procesos por sedimentación. El tipo encontrado en la zona de estudio fue conglomerado con clave geológica Ts (cg), es formado por caliza y en un menor porcentaje por arenisca y basalto. Suelen ser redondas. Su matriz es areno arcillosa. (INEGI, 2014).



Figura 38. Geología (INEGI, 2023; Ruiz, 2023)



4.1.7 Hidrografía

La ciudad de Chihuahua cuenta con dos corrientes de río Chuvistar y Sacramento éstas se convierten en el río Conchos el cual forma parte de la cuenca del Río Bravo. (Municipio de Chihuahua, 2014).

La zona de estudio presenta se encuentra lejos de corrientes de agua. Sin embargo, la más cerca es Arroyo Jacales, que posteriormente se convierte en Corriente Los Nogales. A partir de un simulador de flujo de agua de cuencas SIATL v4, se calculó la cuenca de la zona estudio, y como se puede ver en la Figura 39 que la cuenca desemboca en el Río sacramento.

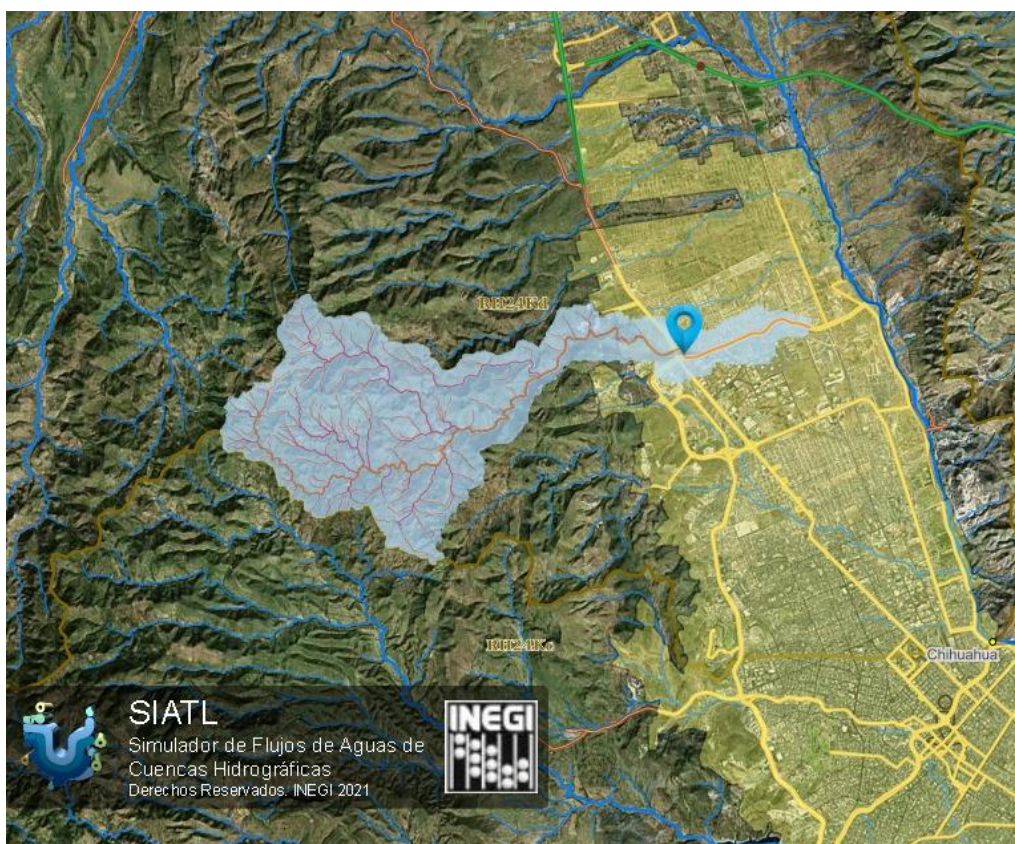


Figura 39. Hidrografía (SIATL v4, 2023; Ruiz, 2023)



4.1.8 Uso del suelo y vegetación

La zona de estudio se encuentra en una zona urbana construida en la cual se desarrolla una parte habitacional y residencial, mientras que otra se caracteriza por zonas de comercio y/o en ocasiones maquilas. A continuación, en la Figura 40 se muestra el uso del suelo de la zona de estudio.



Figura 40. Uso del suelo y vegetación (INEGI, 2023; Ruiz, 2023)

4.1.9 Zonificación

- El uso de suelo es un factor determinante para la generación de viajes, destaca el uso de suelo habitacional, esto impulsa que las personas se muden a los suburbios, aumentando la distancia que deben recorrer entre su hogar y su lugar de trabajo.
- Hasta el momento la zona no cuenta con un diseño compacto y/o de desarrollo sostenible y mucho menos con medio de transporte sostenible que promueve la movilidad colectiva y segura, resalta la tendencia a usar el automóvil lo que nos obliga a crear infraestructura para evitar congestionamientos.
- El cruce de estudio actualmente se encuentra con un conflicto de congestionamiento vial, aunado al parque vehicular provenientes del norte.
- Estos viajes del norte provienen de calles que permite el acceso a los predios y faculta el flujo del tránsito vehicular no continuo, y llegan a las principales vías de primer orden.

A continuación, una delimitación de la zonificación de la zona de estudio.

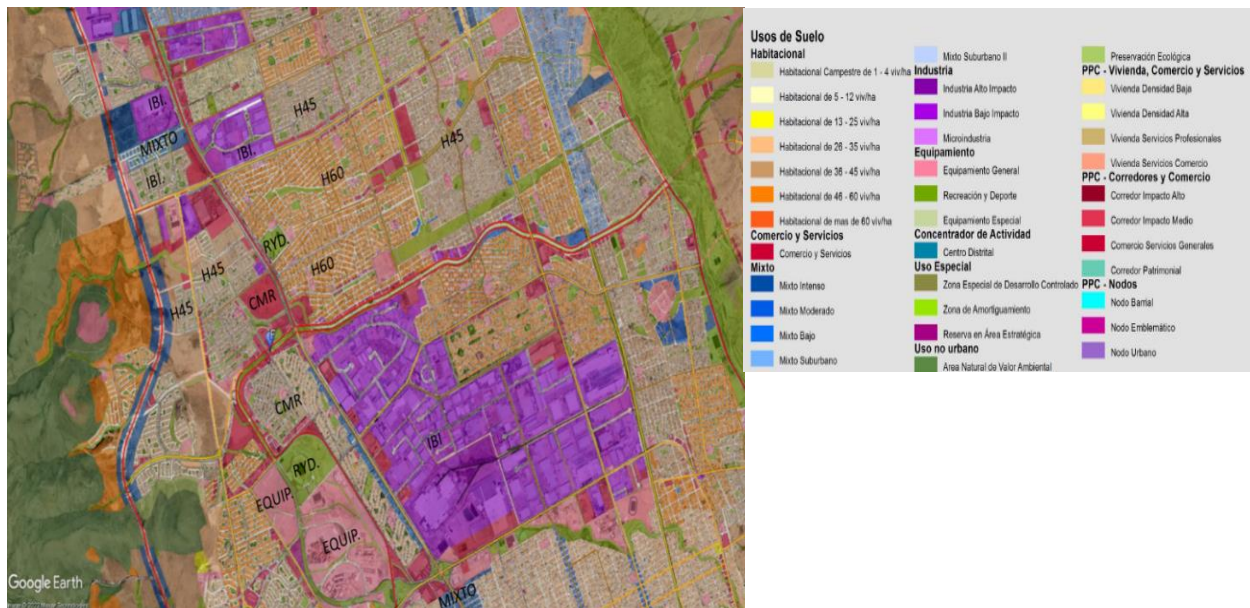


Figura 41. Zonificación de la zona de estudio (Google Earth Pro, 2021; INEGI, 2023)



4.2 Análisis de la intersección

4.2.1 Descripción de la intersección

Se identifica que en esta intersección vial no se encuentra semaforización para regular el tráfico vehicular entre la Avenida Circuito Universitario y Avenida Paseos de la Universidad. Se encuentran dos señales SR-6 “Alto” en las entradas de la Avenida Paseos de la Universidad, esta calle secundaria, carece de señalización SR-25 que indique “Prohibido el Retorno”. Esto giros, han ocasionado choques vehiculares con autos que vienen por el Circuito Universitario, pese a que la geometría de la intersección permite que los conductores ejecuten este tipo de giros. Mientras que, para el Circuito Universitario, cuenta con giros exclusivos antes de incorporarse a la intersección. En la Figura 42, se puede observar la geometría y las señales presentes dentro de la intersección.



Figura 42. Mapa vista en planta de la intersección (Ruiz, 2023)



4.2.2 Información previa recopilada

Se realiza una exhaustiva investigación preliminar de documentos existentes que contengan información relevante para el respectivo análisis de esta tesis como; informes de la última intervención en cercanía a la intersección, inventarios de señalamiento, volúmenes de tránsito con clasificación vehicular y velocidades de operación. Además, un historial de accidentes registrados por la unidad de Vialidad de Chihuahua. Estos datos influyen en la toma de decisiones a lo largo de la implementación para el desarrollo de este documento en el capítulo 19 del Highway Capacity Manual (HCM). A partir de la información existente, se establecen las condiciones operacionales actuales de la intersección.

4.2.3 Informes existentes

Existe un estudio de impacto vial antes de la pandemia por el COVID-19, para la empresa **HOME DEPOT DE MEXICO, S DE R.L. DE C.V.**, con el fin de cumplir con la normatividad de Desarrollo Urbano vigente en el Estado de Chihuahua, el Plan de Desarrollo Urbano 2040 y en particular al Reglamento de Construcciones del Municipio, el cual contempla los requerimientos para obtención de licencias, siendo el estudio mencionado un requisito para presentar el nuevo proyecto, área de influencia y estudio de tránsito para la construcción de una sucursal de la Tienda The Home Depot ubicada en Circuito Universitario y Paseos de la Universidad, en el Municipio de Chihuahua, que no genere impactos nocivos al desarrollo urbano.

Este informe técnico de Impacto Vial contiene datos de interés: descripción del nuevo desarrollo, las condiciones existentes en el área de influencia, estudios de ingeniería de tránsito y volumen proyectado de camiones de carga.

En la Figura 43. Mapa del proyecto y área de influencia ., se encuentran la descripción y planos del proyecto, de este último se puede tener en cuenta uno de los factores que influyen en el análisis actual para la presente tesis, como lo es identificar la entrada de los vehículos pesados que abastecen la tienda.

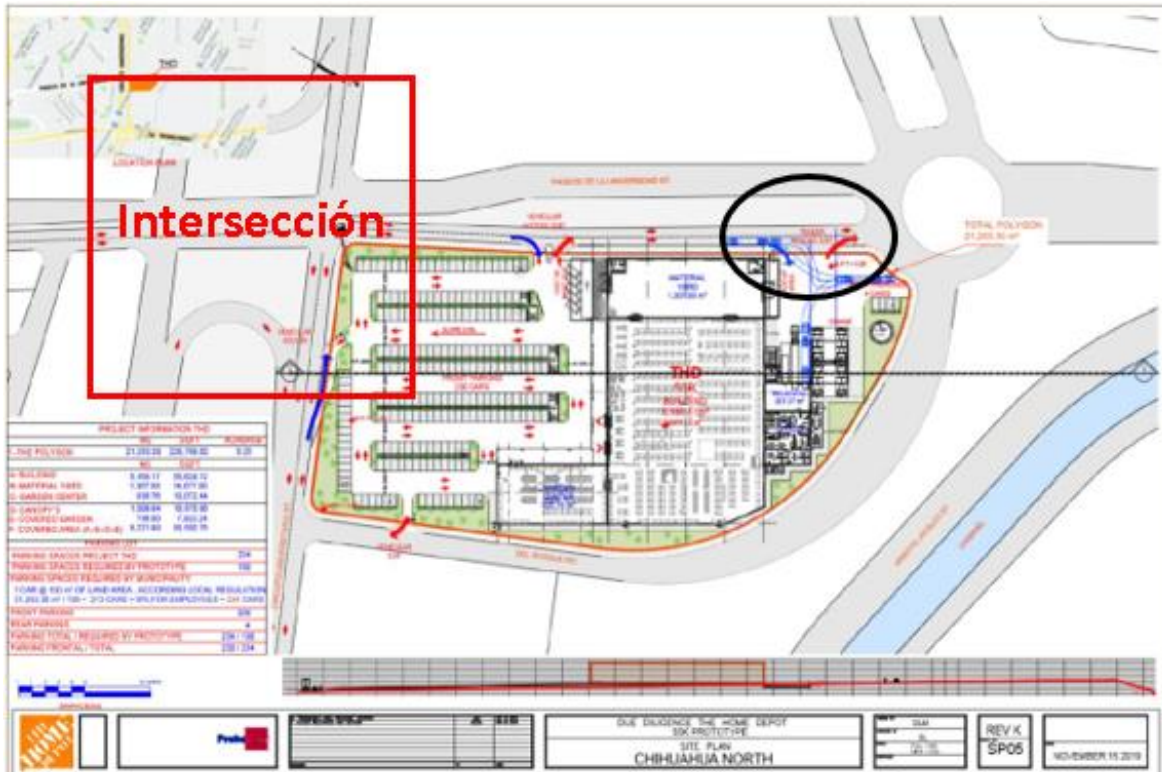


Figura 43. Mapa del proyecto y área de influencia (Impacto Vial Soluciones a la medida, 2019).

De las condiciones existentes en el área de influencia al momento del estudio se menciona un área de uso del suelo y vegetación, de servicio y comercio. Sin embargo, en la caracterización del INEGI se menciona que la condición de uso del suelo es habitacional-residencial.

Dentro del estudio de ingeniería de tránsito del informe enuncian que para llevarlo a cabo implementan el Manual de Generación de Viajes del Instituto de Ingenieros del Transporte en su 9a edición y el Manual de Capacidad Vial de los Estados Unidos Americanos, en la versión 2010. Bajo estos manuales realizan una proyección de 5 años a partir del valor estimado como volumen de tránsito de la zona. A continuación, se muestra la Tabla 13. Volumen actual de la intersección y proyección futura 5 años. Tabla 13 registrada y estimada por la compañía que realizó el estudio para la construcción de la tienda Home Depot.



Tabla 13. Volumen actual de la intersección y proyección futura 5 años (Impacto Vial Soluciones a la medida, 2019).

Intersección (Punto de Control)	Volumen Actual (vph)	Volumen 5 años + Proyecto
1 Av. Paseos de la Universidad y Circuito Universitario	4,226	4,666+
2 Av. Tecnológico y Circuito Universitario	5,016	5,538+
3 Av. Paseos de la Universidad y Calzada del Bosque	504	557+

Nota: estos valores estimados hacen mención a proyecciones de giros en hora pico, pero no se presentan documentos de registro de la información recopilada.

El estudio estima un análisis de niveles de operación con proyección a 5 años con la ejecución del proyecto, en las intersecciones inmediatas de un nivel de servicio C, A y D respectivamente dando unos valores que se presentan en la siguiente tabla, estos NS son el resultado de proyección a través del software Synchro 8.0 (ver Figura 44).

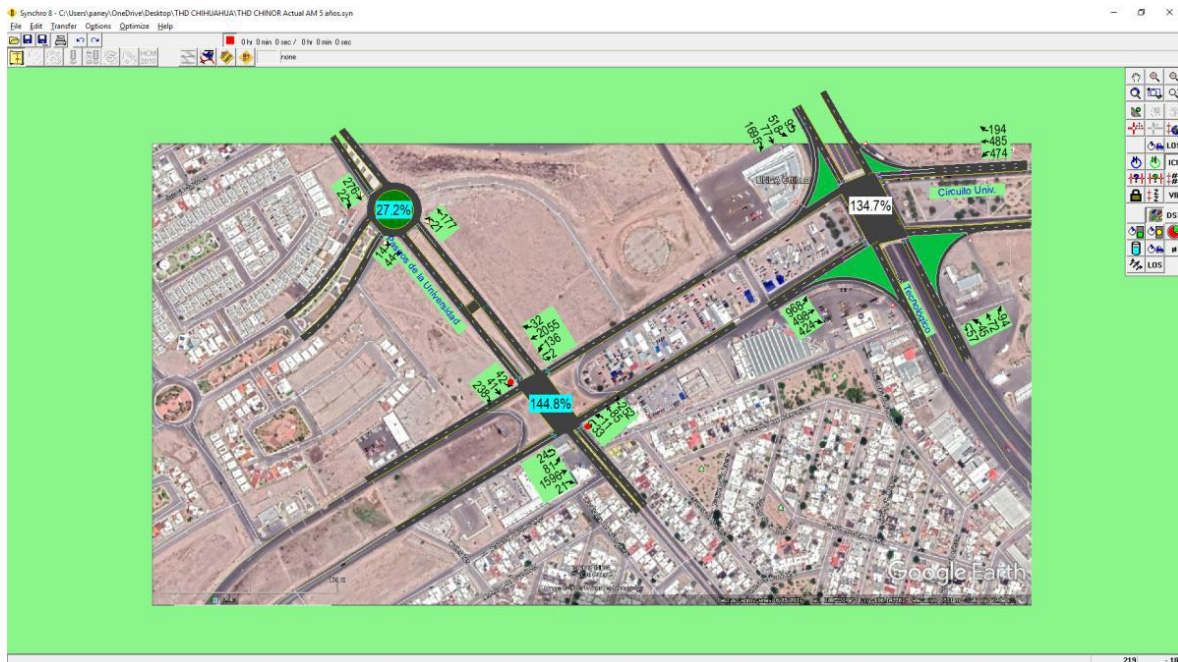


Figura 44. Resultados del software Synchro 8.0 (Impacto Vial Soluciones a la medida, 2019).



El documento de estudio solicitado por Home Depot realizado por la empresa Impacto Vial Soluciones a la medida (2019) mencionó la siguiente recomendación:

Acciones necesarias, semaforizar, colocar reductores de velocidad antes de Circuito Universitario y Calzada del Bosque, habilitar Calzada del Bosque dando continuidad hacia la glorieta, colocar reductores de velocidad en el sentido hacia el Oriente por Circuito Universitario antes del cruce principal, habilitar vuelta izquierda compartida con el retorno existente, para reducir las filas, en ambos sentidos de circulación, sincronizar con el cruce de Av. Tecnológico. (p.34)

El estudio menciona que los vehículos que circulan por Circuito Universitario cruzan a 90 km/h, esta velocidad sobrepasa la velocidad permitida de esta vialidad por 50 km/h. la empresa recomienda implementar reductores de velocidad sobre esta vía, antes de abordar la intersección. Finalmente establecen una proyección de niveles de servicio que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 14. Nivel de servicio de la intersección actual y futuro a 5 años (Impacto Vial Soluciones a la medida, 2019).

INTERSECCIÓN	ACTUAL	5 AÑOS	5 AÑOS + PROY
1 Av. Paseos de la Universidad y Circuito Universitario	F	F	C
2 Av. Tecnológico y Circuito Universitario	F	F	F
3 Av. Paseos de la Universidad y Calzada del Bosque	A	A	A

El informe concluye, indicando que la implementación y desarrollo del nuevo proyecto mejora el nivel de servicio de la intersección, se plantean además señalización vertical y horizontal dentro del área de influencia en la cual se recomienda que se mantenga en buenas condiciones.

4.2.4 Inventario de características geométricas y de señalamiento existentes

La dirección de vialidad cuenta con levantamiento geométrico de la intersección. (ver figura 45). No se encuentran planos que indiquen señalamientos verticales u horizontales. Sin embargo, para claridad del lector se indican los dos señalamientos verticales y horizontales existentes presentes dentro de la intersección.

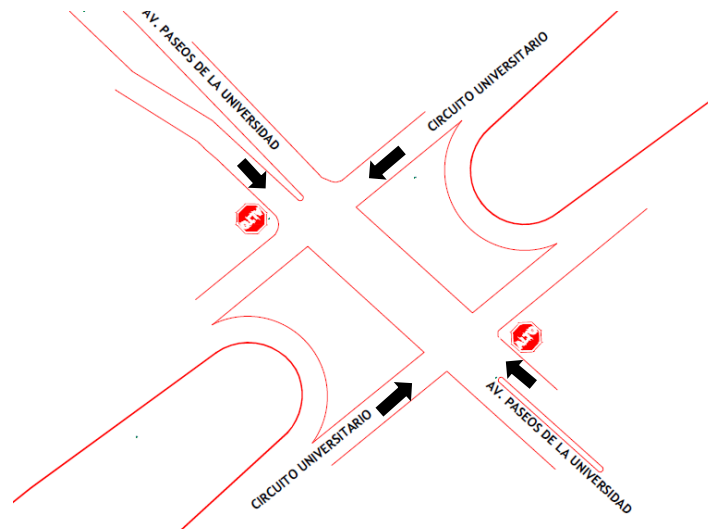


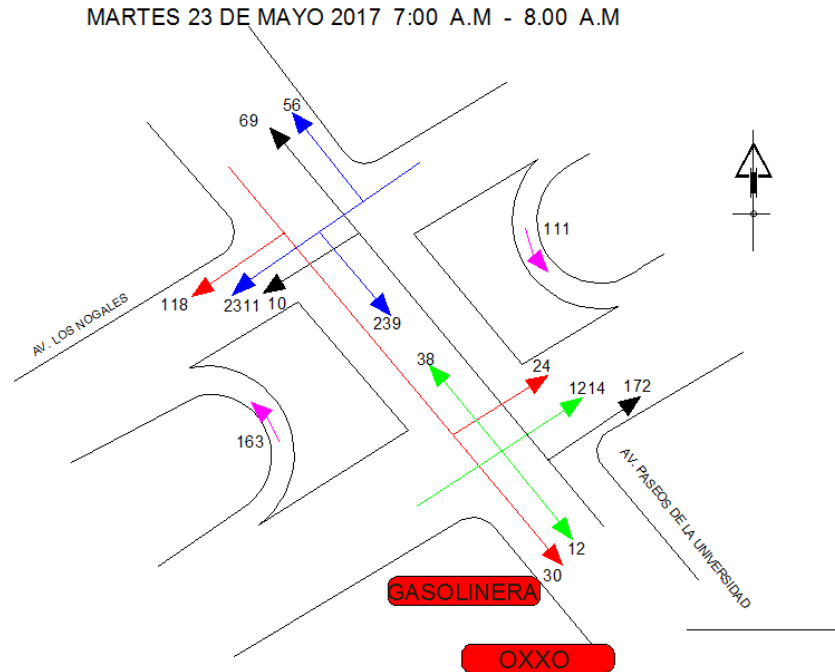
Figura 45. Geometría y señalización de la intersección (Ruiz, 2023).

Para hacer levantamiento de señales de tránsito, se revisa todas las señales verticales y horizontales que se ubican antes de aproximar a la intersección. Como complemento de esto se usó referencia visual a partir de visitas de campo, y haciendo uso de herramientas como Google Maps y Google Earth.

4.2.5 Volúmenes de tránsito, clasificación vehicular y velocidades de operación existentes.

En los estudios encontrados, se resaltan los volúmenes de tránsito del estudio para la tienda Home Depot, por parte de la empresa impacto vial, se establece una velocidad por parte de la empresa que realiza el estudio sobre el corredor Circuito Universitario, pero no se cuenta con velocidad de operación de Paseos de la Universidad. No realizan clasificación vehicular simplemente comprenden que el movimiento de vehículos es de automóviles.

Los datos suministrados por la vialidad, forman diferentes esquemas de aforos vehiculares con la indicación respectiva por movimiento, para estimaciones de volumen de tránsito. Se registró por parte de esta unidad tres aforos un aforo en distintos horarios. A continuación, se muestran las figuras.



TOTAL DE VEHICULOS: 4,293 (sin contar retornos)

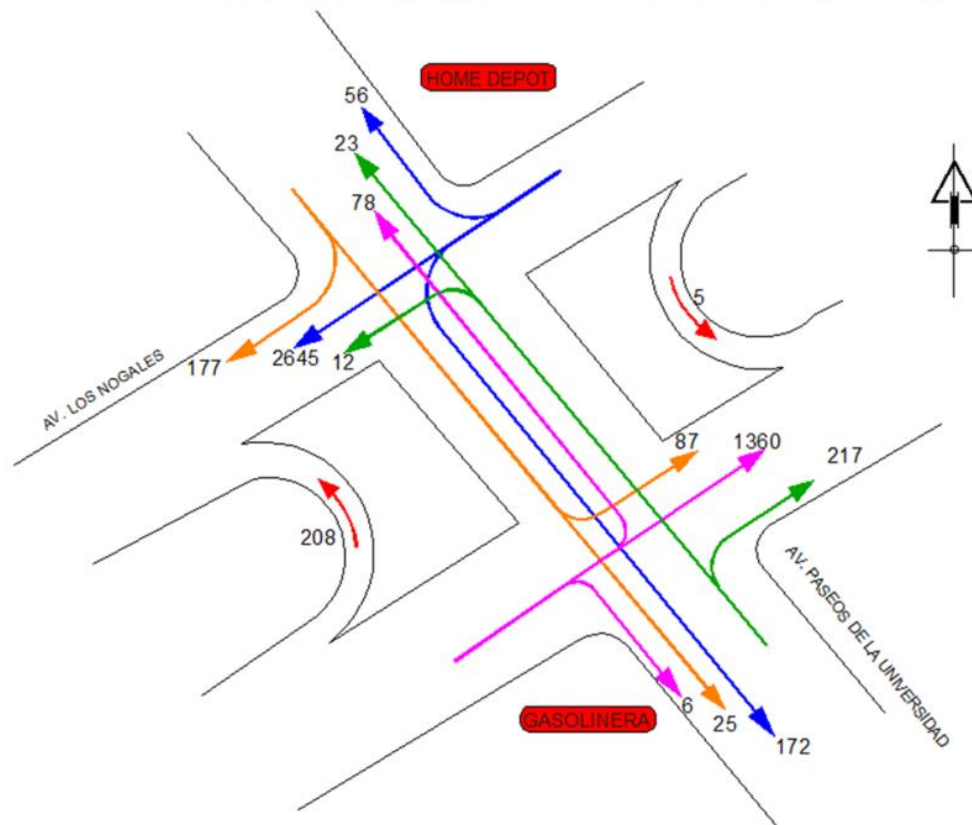
Figura 46. Aforo – 23 de mayo del 2017 (Vialidad Chihuahua, 2022)

Este aforo fue realizado en el 2017 en las horas de la mañana de 7:00 A.M a 8:00 A.M, indica un movimiento dentro de la intersección de 4.293 vehículos. Este primer aforo permite conocer el comportamiento en una época en la cual se observa movimiento de estudiantes tanto de colegios, como de universidades y horario convencional de personas trabajadoras. Sin embargo, para este aforo no se tienen en cuenta los giros de color morado pese a que son giros que se encuentran por fuera de la intersección.

Los otros afros realizados por Vialidad, son del 2022, son del mes de marzo, se realizaron el mismo día, uno en la hora pico de la mañana de 7:15 A.M a 8:15 A.M, y otro en la hora pico de la tarde. En el horario de 7:00 A.M, se encontró un movimiento vehicular de 4.858 vehículos (ver Figura 47). Mientras que, para el aforo realizado a las 5:30 P.M se obtuvieron resultados de 4,380 vehículos (ver Figura 48).



MARTES 15 DE MARZO 2022 07:15 A.M - 08.15 A.M



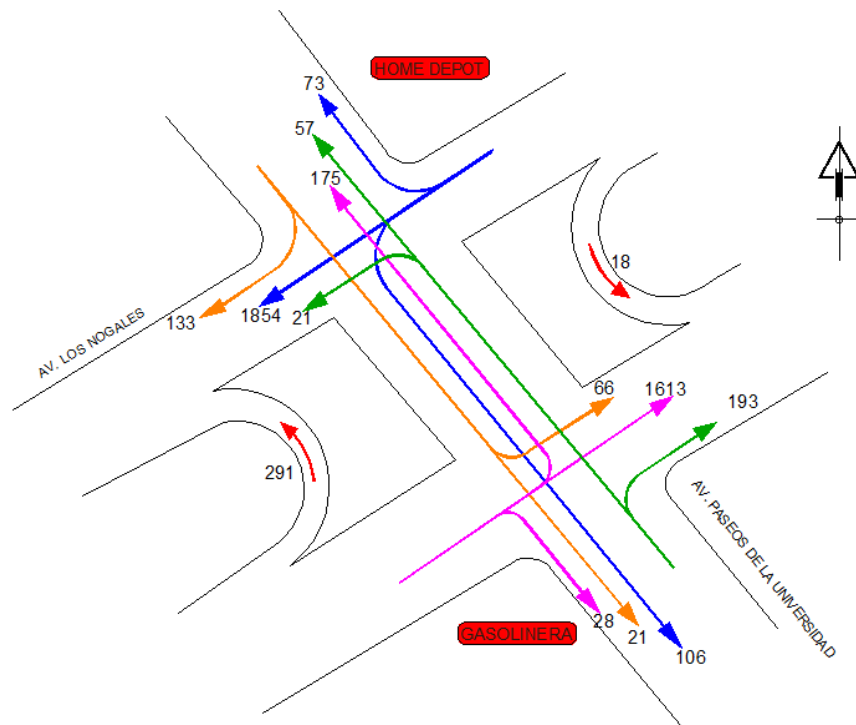
TOTAL DE VEHICULOS: 4,858 (sin contar retornos)

Figura 47. Aforo – Marzo 2022 – 7:15am (Vialidad Chihuahua, 2022)

Nota: no se tienen en cuenta los movimientos de color naranja fuerte los giros antes de la intersección



MARTES 15 DE MARZO 2022 17:30 A.M - 18.30 A.M



TOTAL DE VEHICULOS: 4,340 (sin contar retornos)

Figura 48. Aforo – Marzo 2022 – 5:30pm (Vialidad Chihuahua, 2022).

Nota: no se tienen en cuenta los movimientos de color naranja fuerte los giros antes de la intersección

4.2.6 Historial de accidentes registrados

La Dirección de Vialidad y Tránsito de Chihuahua, suministra en un registro de accidentes de la intersección Avenida Circuito Universitario y Paseos de la Universidad. En este documento, se encuentran los accidentes ocurridos entre el 2020-2022, indica fecha, hora del accidente, tipo de accidente. A continuación, se presenta la Tabla 15.



Tabla 15. Accidentes registrados entre el 2020-2022 de la intersección (Vialidad Chihuahua, 2022).

CIRCUITO UNIVERSITARIO Y PASEO DE LAS UNIVERSIDADES				
TIPO DE ACCIDENTE	DIRECCION	FECHA	HORA	No. EVENTO
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	10/09/2020	21:21	20-8344
CHOQUE	PASEOS DE LA UNIVERSIDAD Y CIRCUITO UNIVERSITARIO	29/09/2020	13:45	20-8966
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO Y PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	08/10/2020	08:00	20-9293
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO Y PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	09/10/2020	07:52	20-9332
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO / PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	31/10/2020	19:20	20-10004
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO / PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	11/11/2020	08:08	20-10213
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO / PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	18/11/2020	08:20	20-10390
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	29/11/2020	12:40	20-10755
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	01/12/2020	12:03	20-10804
CHOQUE	CIRCUITO UVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	03/12/2020	00:00	20-10862
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	04/12/2020	19:30	20-10918
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/ PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	13/01/2021	06:52	21-322
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/ PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	15/01/2021	19:20	21-434
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/ PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	23/01/2021	22:10	21-745
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO / PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	25/01/2021	14:10	21-801
CHOQUE	NOGALES / PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	16/02/2021	12:40	21-1498
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	30/03/2021	16:13	21-3201
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	27/04/2021	19:30	21-4195
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	28/04/2021	09:30	21-4206
CHOQUE	PASEOS DE LA UNIVERSIDAD/CIRCUITO UNIVERSITARIO	07/05/2021	22:40	21-4534
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	08/05/2021	11:35	21-4556
CHOQUE	PASEOS DE LA UNIVERSIDAD/CIRCUITO UNIVERSITARIO	04/06/2021	20:22	21-5517
CHOQUE	PASEOS DE LA UNIVERSIDAD/CIRCUITO UNIVERSITARIO	11/06/2021	12:08	21-5787
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	09/06/2021	08:15	21-5693
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	09/06/2021	11:45	21-5695
CHOQUE	PASEOS DE LA UNIVERSIDAD/CIRCUITO UNIVERSITARIO	08/07/2021	12:30	21-6970
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	16/07/2021	13:10	21-7375
CHOQUE CON OBJETO FIJO	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	05/08/2021	21:00	21-8325
CHOQUE CON OBJETO FIJO	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	06/08/2021	01:30	21-8336
CHOQUE	CIRCUITO INIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	28/08/2021	04:30	21-9360
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	21/09/2021	03:36	21-10508
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	23/09/2021	10:20	21-10561
CHOQUE	PASEOS DE LA UNIVERSIDAD/CAFETALES DE AMATENANGO	02/10/2021	15:45	21-11092
CHOQUE	PASEOS DE LA UNIVERSIDAD/CIRCUITO UNIVERSITARIO	09/10/2021	02:55	21-11416
CHOQUE	CIRCUITO UNIVESITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	15/10/2021	20:20	21-11710
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	02/11/2021	00:00	21-12522
CHOQUE	PASEOS DE LA UNIVERSIDAD/CIRCUITO UNIVERSITARIO	14/11/2021	14:10	21-13056
CHOQUE Y FUGA	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	03/12/2021	19:18	21-13850
CHOQUE Y FUGA	PASEOS DE LA UNIVERSIDAD/NOGALES	11/12/2021	06:20	21-14215
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	11/01/2022	11:50	22-348
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	26/01/2022	17:30	22-957
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	31/01/2022	16:40	22-1188
CHOQUE	CIRCUITO UNIVERSITARIO/PASEOS DE LA UNIVERSIDAD	31/01/2022	16:40	22-1188

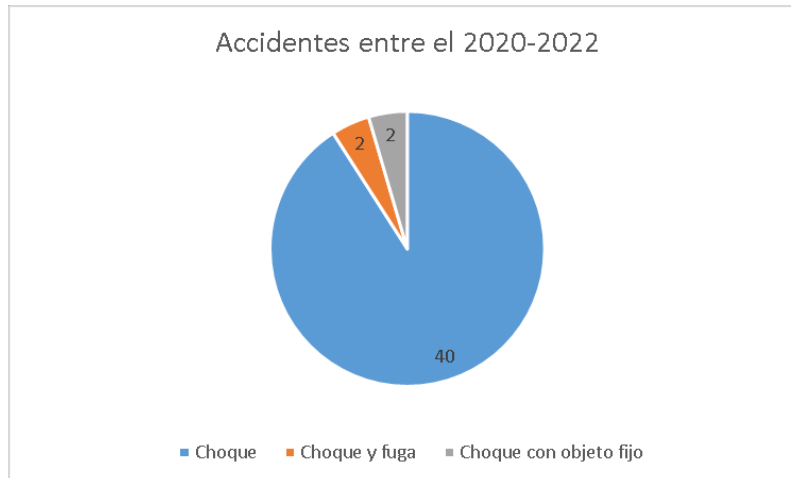


Figura 49. Diagrama circular en el por tipo de accidente entre el 2020-2022

Haciendo levantamiento de información en las visitas de campo se presenciaron diferentes choques dentro de los cuales se tiene registro fotográfico con hora y fecha del accidente.

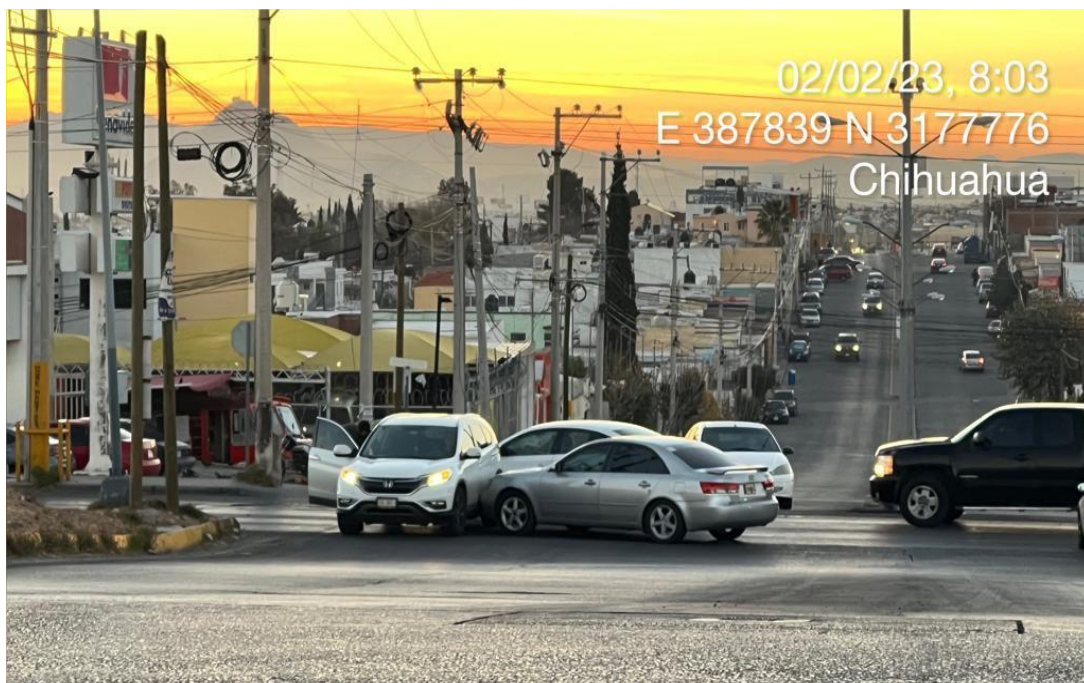


Figura 50. Choque – Febrero 2 del 2023 (Sanabria, 2023)



Figura 51. Choque – Marzo 23 del 2023 (Sanabria, 2023).



Figura 52. Choque – Marzo 25 del 2023 (Sanabria, 2023).



Figura 53. Giro en U que puede ocasionar accidente (Sanabria, 2023)

4.2.7 Levantamiento de daños superficiales

La carpeta de rodamiento en esta intersección es en pavimento asfáltico, para conocer el estado de la vialidad, fue necesario realizar un vuelo en dron para reconocimiento parcial de la zona y así poder establecer el tipo de fallas presente en la intersección. La persona que apoyó para este vuelo fue el compañero de maestría Ing. Luis Salazar. Sin embargo, el levantamiento de daños se realiza a partir de información registrada por fotografías y complementado con la orto foto en la cual se realiza el trazo de fallas presentes en la intersección. A continuación, se presenta la Figura 54, en la cual se evidencian grietas longitudinales y transversales en el centro de la intersección, y en algunas secciones anexas a la intersección, se observa ahuellamiento, piel de cocodrilo, y parches. Las fallas encontradas dentro de la intersección no son un daño estructural y se podría realizar un calafateo para sellar las grietas, en las secciones de ahuellamiento se podría implementar bacheo profundo para recuperar la condición del pavimento.

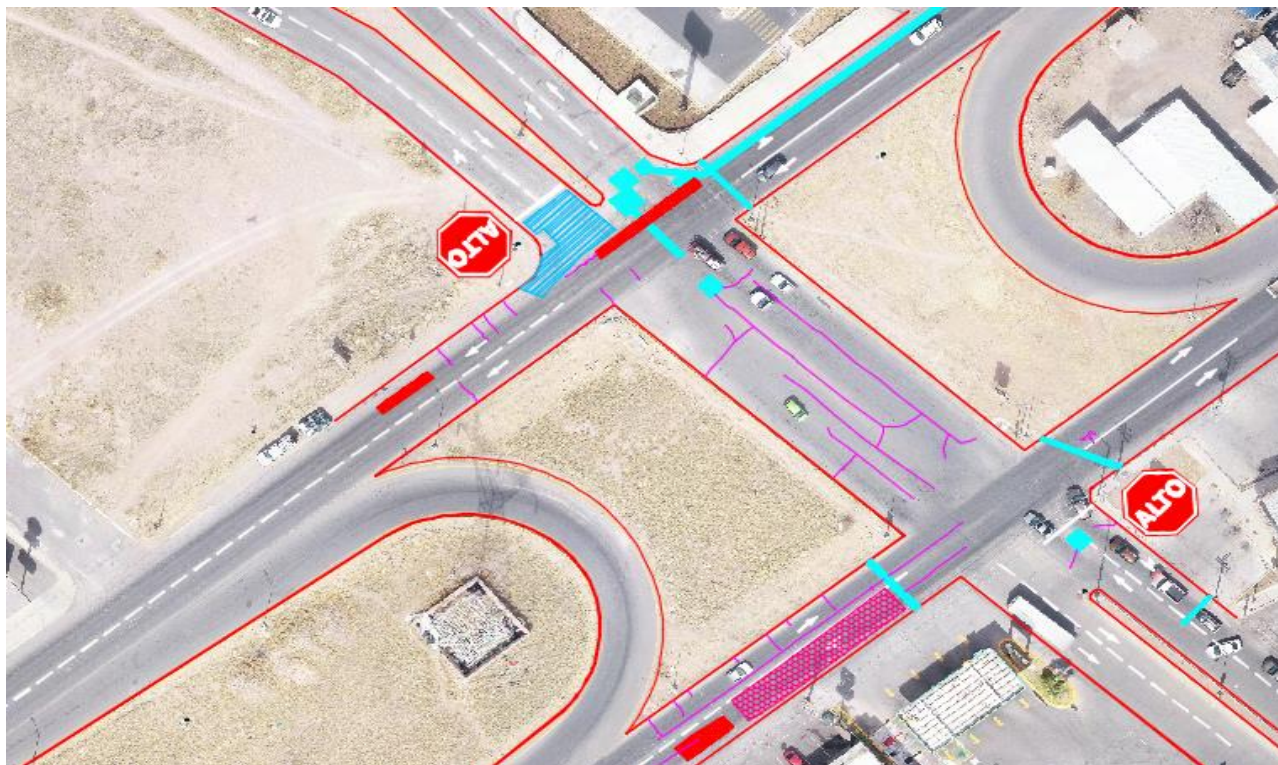


Figura 54. Levantamiento de daños superficiales en la intersección (Salazar, 2023; Ruiz, 2023)

4.2.8 Descripción de las visitas de campo

Para esta investigación se realizaron aproximadamente 20 visitas de campo. La primera visita de se realizó el 2 de febrero del 2023 haciendo un aforo manual, pero debido a un choque (ver Figura 50) no se logra concluir esta actividad. Posteriormente, fue necesario realizar otras visitas para reconocimiento del comportamiento de la intersección; se observan varios movimientos no permitidos dentro de la intersección (ver Figura 53), pero al no contar con una señalización de prohibición realizan estos giros que en muchas ocasiones suelen convertirse en choques.

Se procede a volver a realizar nuevamente el aforo vehicular de forma tradicional por conteo manual, pero este aforo no tuvo buenos resultados debido a que el movimiento vehicular por Circuito Universitario fue muy continuo, se dificultó realizar el conteo vehicular en esta vía. A partir de esta dificultad de contabilizar los autos que cruzaban en hora pico, se toma la decisión de solicitar el apoyo de la UACH para realizar el aforo usando las mangueras neumáticas.



No se contó con el número suficiente de mangueras y equipos contabilizadores para realizar el conteo en todos los sentidos de la intersección. Pero se logró ajustar el número de mangueras existente y equipos en buen estado para poder cubrir la demanda vehicular por cuatro sentidos. A continuación, se presenta la Figura 55 en la cual se indican la posición de las cajas de conteo y las mangueras usadas.

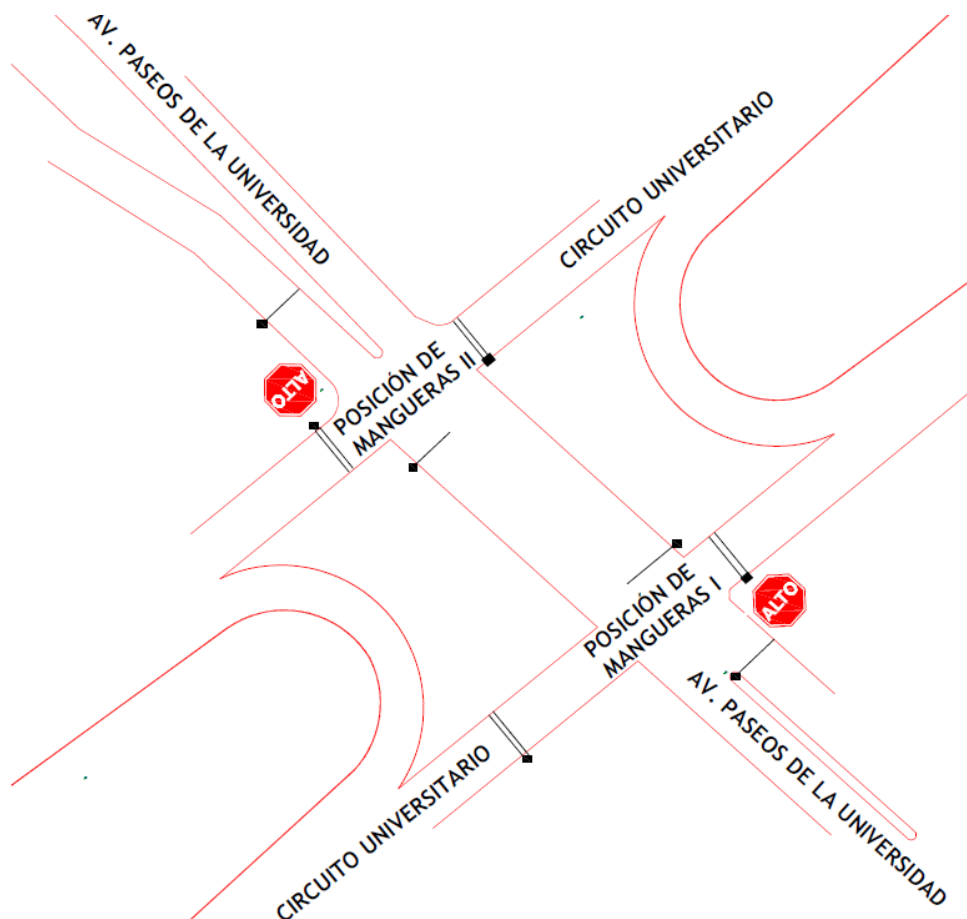


Figura 55. Posición de las mangueras (Ruiz, 2023)

Para el 14 de marzo del 2023, se procede a instalar las mangueras neumáticas en la posición I, realiza conteo entre el 14-18 del mes de marzo del 2023 (ver Figura 56). Mientras que para realizar el conteo en la posición II se realiza conteo entre el 20-25 de mismo mes (ver Figura 57).



Figura 56. Registro fotográfico – Posición de mangueras I (Ruiz, 2023)



Figura 57. Registro fotográfico – Posición de mangueras II (Ruiz, 2023)

4.2.9 Condiciones reales de operación

A partir de las visitas de campo realizadas se observa que las características de operación de la intersección permiten identificar las deficiencias en diseño y señalización, en cuanto a seguridad vial se refiere.

Analizando el comportamiento operacional de la intersección, se percibe que los autos que transitan en las vías secundarias en este caso el corredor de la Avenida Paseos de la Universidad



se ven afectados al cruzar generando una extensa cola de retraso por cruce, debido a que el sistema de operación del Avenida Circuito Universitario es de flujo continuo en las dos direcciones debido a que esta vialidad es la continuidad del Periférico de la Juventud y además la salida para los conductores que van hacia la carretera Chihuahua – Cd. Juárez. Sin embargo, en el tiempo que el semáforo de la Av. Tecnológico se pone en rojo para los autos que transitan de norte a sur y ocasiona una cola de retraso a los que van abordar el Circuito universitario en dirección hacia Periférico de la Juventud, generando un espacio de tiempo para que los vehículos en las colas de la Avenida Paseos de la Universidad puedan realizar sus movimientos dentro de la intersección por un corto periodo.

En este caso, la correcta operación de la intersección depende de la astucia de los conductores de la vía secundaria para atravesar cuando los autos de la avenida principal se vean “lejos”, siendo subjetivo, según la perspectiva del usuario en aproximación al momento de cruzar.

Otros factores que pueden influir en estos movimientos son los incrementos de velocidad sobre la Avenida Circuito de la Universidad, pese a que regularmente superan los límites permitidos y no reducen su velocidad al momento de aproximarse a la intersección.

Diariamente, se presentan choques en la intersección en la dirección que fluye hacia la Av. Tecnológico, estos accidentes son ocasionados por giros no permitidos como giros en U, giros a la izquierda provenientes de Av. Paseos de la Universidad.

4.2.10 Comentarios de usuarios

4.2.10.1 Conductores

Los conductores realizan mención de que todos los días ocurren siniestros en la intersección, que se ha solicitado el apoyo por parte de Vialidad para implementar unos semáforos y que no le han dado el respectivo seguimiento para solucionar el problema.

4.2.10.2 Peatones

Es una baja densidad de peatones la que realiza cruces sobre la intersección, pero los usuarios caminantes hacen mención de que algunas veces pueden tardar más de 10 o 15 minutos para poder cruzar debido al número de vehículos que pasan sobre el Circuito Universitario.

Para obtener resultados en necesario usar la metodología explicada en apartados anteriores de este documento, para lo cual se hace necesario seguir el paso a paso que realiza el HCM 2010.

Uno de los pasos más importantes a la hora de realizar un análisis de intersección, es identificar con numeración cada entrada y movimiento de los vehículos de la siguiente manera como se muestra en la Figura 58.

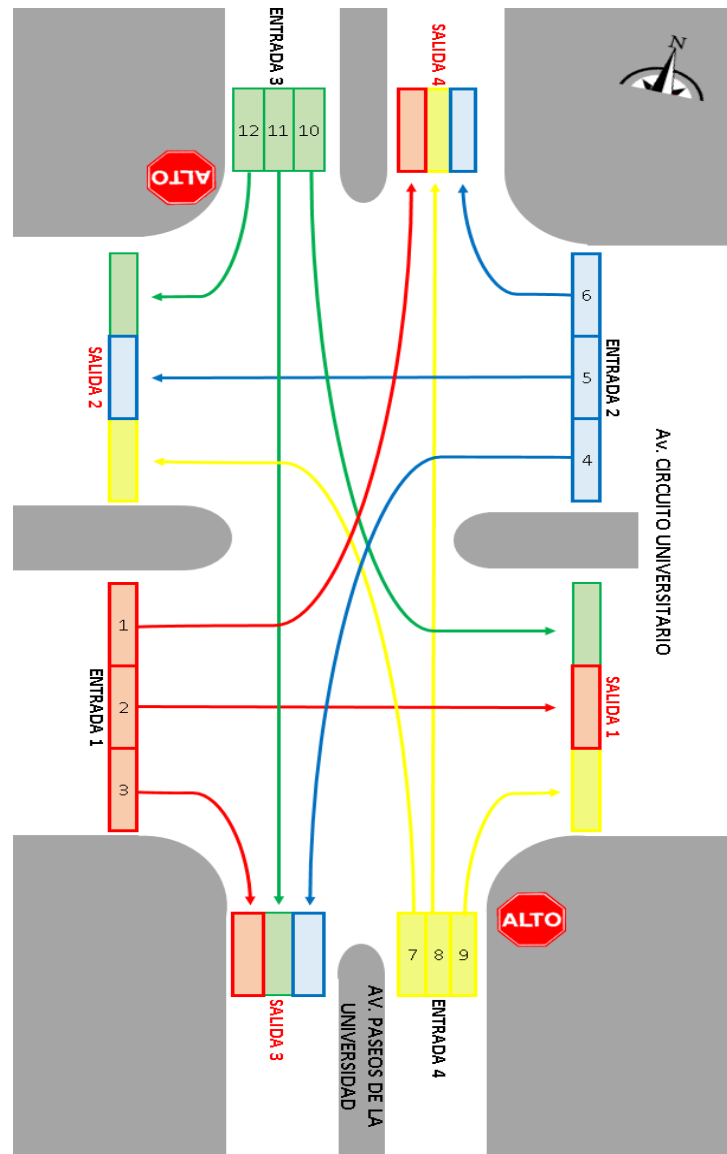


Figura 58. Numeración de los movimientos presentes en la intersección (Ruiz, 2023).



Se toman las entradas 3 y 4 como los accesos a la intersección desde la Avenida Paseos de la Universidad y las entradas 1 y 3 son los autos que ingresan por la Avenida Circuito Universitario. Es necesario hacer el análisis tomando los valores mayores en 15 minutos de los aforos vehiculares en la hora pico, se organizan de forma esquemática debido a que estos son los datos base para analizar el comportamiento de la intersección.

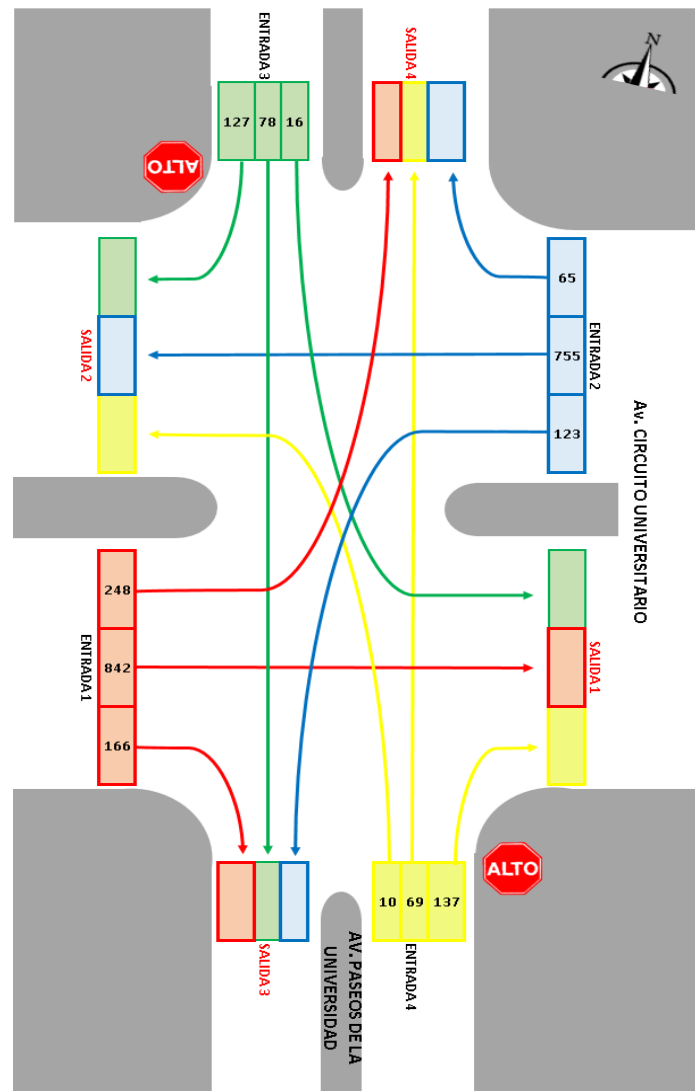


Figura 59. Entradas por cada tipo de movimiento en la intersección (Ruiz, 2023).



Capacidad y niveles de servicio sin semáforo

Se observa un alto volumen de tráfico vehicular en la intersección, especialmente en horarios pico, como se evidencia en los aforos realizados. Los datos muestran fluctuaciones significativas en los volúmenes de tránsito a diferentes horas del día y épocas del año. La capacidad vial actual se ve comprometida debido a la falta de control semafórico en la intersección, lo que contribuye a problemas de congestión y tiempos de espera prolongados, especialmente para los vehículos que ingresan desde Avenida Paseos de la Universidad.

Los datos de aforo también revelan que la congestión no solo ocurre durante las horas punta, sino que hay períodos de alta congestión en otras franjas horarias y durante eventos especiales o condiciones meteorológicas adversas. La falta de una gestión adecuada del tráfico en estos momentos críticos incrementa el problema, haciendo que la situación sea aún más problemática.

Análisis Two-way stop control (TWSC)

Se aplica el análisis mediante la metodología del Capítulo 19 del Highway Capacity Manual (HCM) 2010, se centra en la evaluación de la capacidad y el rendimiento de las intersecciones no controladas.

Este capítulo aborda intersecciones donde no hay semáforos, de manera que los vehículos deben hacer alto y realizar el movimiento basándose en las reglas de prioridad y las condiciones del tráfico. También, se discuten las variables críticas que influyen en el desempeño de las intersecciones no controladas, como el volumen de tráfico, la distribución de vehículos, la tasa de llegada, la velocidad de los vehículos, entre otros.

Se define la capacidad de la intersección como la máxima tasa de flujo de vehículos que puede pasar a través de ella sin que el nivel de servicio (que va de A a F, siendo A el mejor y F el peor) caiga por debajo de un nivel aceptable.

Se presentan modelos matemáticos y métodos analíticos para calcular la capacidad y el nivel de servicio de estas intersecciones, lo que ayuda a los planificadores y diseñadores a tomar decisiones informadas sobre mejoras necesarias.

En resumen, el Capítulo 19 del HCM 2010 proporciona un marco detallado para la evaluación y el diseño de intersecciones no controladas, destacando la importancia de entender y optimizar el flujo de tráfico en estas áreas para mejorar la seguridad y la eficiencia del transporte.



- Tasas de flujos conflictivos

Cada tipo de movimiento en una intersección de dos “ALTO” enfrenta un conjunto diferente de conflictos exceptuando la trayectoria recta y el giro a la derecha desde la avenida principal. Se deben identificar el total de vehículos de los movimientos que impiden realizar la maniobra para el giro a la izquierda entrando desde la calle principal, movimiento directo, giro a la izquierda y a la derecha en la calle secundaria. En términos numéricos, se expresa como:

Giro a la izquierda en calles principales:

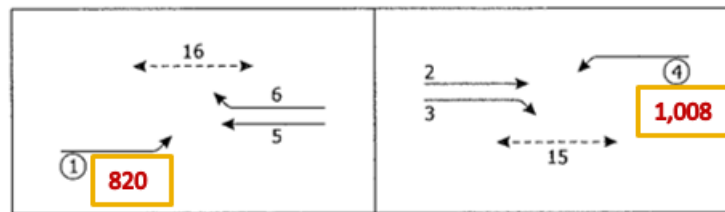


Figura 60. Giro a la izquierda en calles principales (Ruiz, 2023).

Giro a la derecha en calles secundarias:

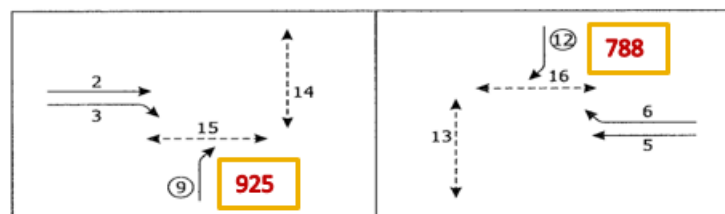


Figura 61. Giro a la derecha en calles secundarias (Ruiz, 2023)

Movimientos directos en calles secundarias:

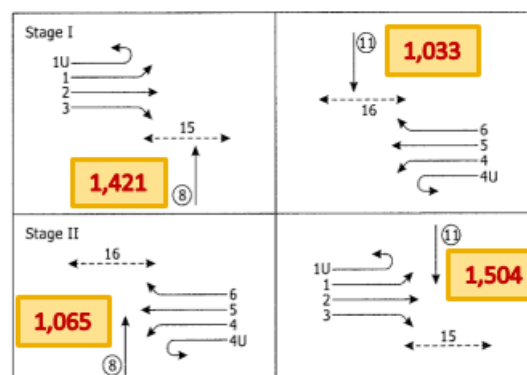


Figura 62. Movimientos directos en calles secundarias (Ruiz, 2023).



Giro a la izquierda en calles secundarias:

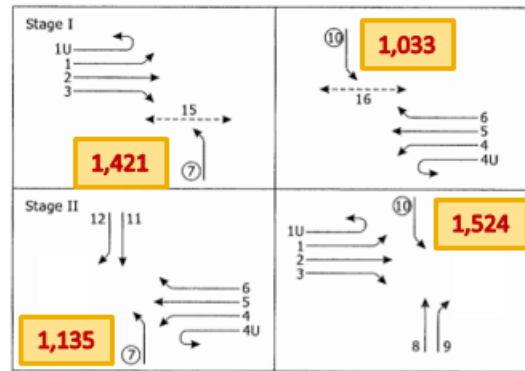


Figura 63. Giros a la izquierda en calles secundarias (Ruiz, 2023).

Los movimientos que tienen como vehículos en conflicto los que transitan en el Circuito Universitario hacia la Av. Tecnológico son aquellos que tienen mayor tasa de flujo conflictivo.

- Intervalo crítico y tiempo continuo

Los intervalos críticos (tcx) y los tiempos continuos (tfx) en segundos, deben determinarse para los giros a la izquierda en calles principales, los movimientos directos (vc8), giros a la derecha (vc9 y vc12) y giros a la izquierda en calles secundarias (vc7 e vc10) cuando ocurren en una intersección de dos altos.

Para calcular los intervalos críticos para cada movimiento, se comienza con el intervalo crítico base dado en la Tabla 16. Valores de intervalo crítico base predeterminados. e realizan ajustes específicos en el movimiento de vehículos teniendo en cuenta el porcentaje de vehículos pesados, la pendiente de la carretera y las intersecciones que tienen tres o cuatro ramales. Estos ajustes son necesarios para optimizar el flujo de tráfico y garantizar la seguridad en situaciones complejas. (HCM, 2010).



Tabla 16. Valores de intervalo critico base predeterminados (HCM, 2010).

Vehicle Movement	Base Critical Headway, $t_{c,base}$ (s)		
	Two Lanes	Four Lanes	Six Lanes
Left turn from major	4.1	4.1	5.3
U-turn from major	N/A	6.4 (wide) 6.9 (narrow)	5.6
Right turn from minor	6.2	6.9	7.1
Through traffic on minor	1-stage: 6.5	1-stage: 6.5	1-stage: 6.5*
	2-stage, Stage I: 5.5 2-stage, Stage II: 5.5	2-stage, Stage I: 5.5 2-stage, Stage II: 5.5	2-stage, Stage I: 5.5* 2-stage, Stage II: 5.5*
Left turn from minor	1-stage: 7.1	1-stage: 7.5	1-stage: 6.4
	2-stage, Stage I: 6.1 2-stage, Stage II: 6.1	2-stage, Stage I: 6.5 2-stage, Stage II: 6.5	2-stage, Stage I: 7.3 2-stage, Stage II: 6.7

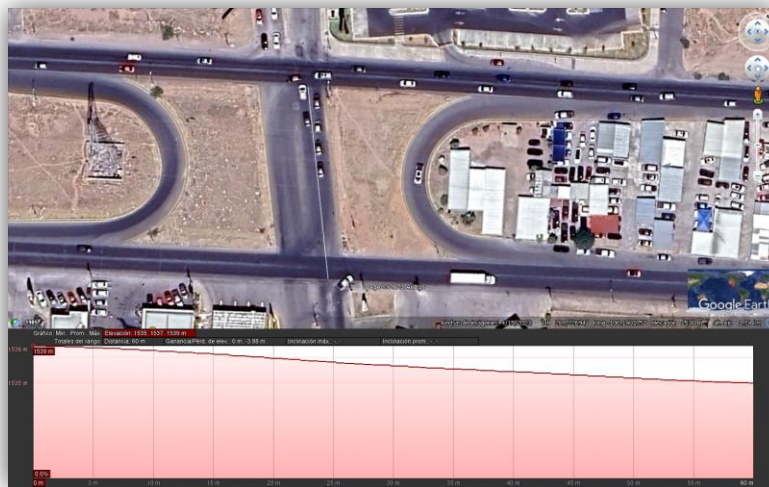


Figura 64. Diferencia de altura de Avenida Circuito Universitario entre ambos sentidos.

El factor de ajuste para vehículos pesados es dos (2) en avenidas principales que cuentan con dos o tres carriles por dirección. La proporción de vehículos pesados por movimiento, expresada en decimal, es 0.02 (2%). El factor de ajuste por grado varía (0.1 para los Movimientos 9 y 12; 0.2 para los Movimientos 7, 8, 10 y 11). La pendiente porcentual se representa como un número entero, donde las pendientes negativas para los giros se indican como -7 (7%), y las pendientes ascendentes tienen valores positivos. (HCM, 2010)



Tabla 17. Valores de intervalo continuo base predeterminados.

Vehicle Movement	Base Follow-Up Headway, $t_{f,base}$ (s)		
	Two Lanes	Four Lanes	Six Lanes
Left turn from major	2.2	2.2	3.1
U-turn from major	N/A	2.5 (wide) 3.1 (narrow)	2.3
Right turn from minor	3.3	3.3	3.9
Through traffic on minor	4.0	4.0	4.0
Left turn from minor	3.5	3.5	3.8

Los tiempos continuos (t_{fx}) en segundos son determinados como la sumatoria del valor base de intervalo continuo y el factor de ajuste para vehículos pesados de 1 para calles principales con dos o tres carriles en cada sentido multiplicado por la proporción de vehículos pesados por movimiento mencionada anteriormente. A continuación, se muestra la figura tal con los respectivos intervalos de salida y entrada.

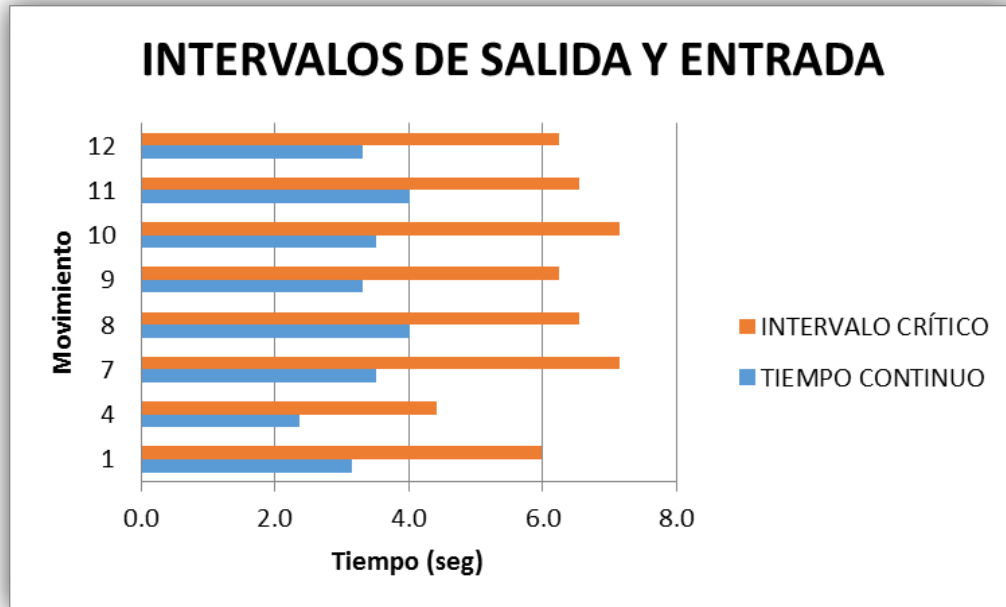


Figura 65. Intervalos de salida y entrada (Ruiz, 2023).

- Capacidades potenciales



Tabla 18. Cálculo de capacidades potenciales (Ruiz, 2023).

MOVIMIENTO	V_{cx}	t_{cx}	t_{fx}	C_{pj} (veh/hr)
1	820	6.0	3.1	411
4	1008	4.4	2.4	604
7	2454	7.1	3.5	21
8	2486	6.5	4.0	29
9	925	6.2	3.3	324
10	2454	7.1	3.5	21
11	2537	6.5	4.0	27
12	788	6.2	3.3	389

- Probabilidad de impedimento vehicular

Tabla 19. Probabilidad de impedimento vehicular (Ruiz, 2023).

MOVIMIENTO	v_i	C_{mj}	P_{qj}
1	248	411	0.397
4	123	604	0.797
7	10	9	0
8	69	17	0
9	137	324	0.579
10	16	9	0
11	55	18	0
12	127	389	0.673

- Capacidad de carril compartido

Tabla 20. Capacidad de carril compartido (Ruiz, 2023).

MOVIMIENTO	v_y	v_y TOTAL	C_{my}	v_y/C_{my}	v_y/C_{my} TOTAL	C_{SH} (veh/hr)
8	69	205	17	4.087	5	45
9	137		324	0.421		
11	55	183	18	3.071	3	54
12	127		389	0.327		

- Demoras y niveles de servicio

La demora en la intersección es de aproximadamente **800 seg/veh**, por lo que su nivel de servicio es **F**, según los criterios para automóviles en el manual de capacidad HCM.

Tabla 21. Niveles de servicios o LOS (HCM, 2010).

Control Delay (s/vehicle)	LOS by Volume-to-Capacity Ratio	
	$v/c \leq 1.0$	$v/c > 1.0$
0-10	A	F
>10-15	B	F
>15-25	C	F
>25-35	D	F
>35-50	E	F
>50	F	F



Tabla 22. Resumen de los resultados (Ruiz, 2023).

INTERSECCIÓN SIMPLE CIRCUITO UNIVERSITARIO Y PASEOS DE LA UNIVERSIDAD					
INTERSECCIÓN	PR	Círculo Universitario		FECHA	15-mar-23
	SN	Paseos de la Universidad		PERIODO	5:00 a 20:00
CIUDAD	Chihuahua		TIPO DE SEÑAL		ALTO
VELOCIDAD DE RECORRIDO		70 km/hr		FHP	0.938
CONCEPTO		RAMA INTERSECCIÓN			
		P	R	S	N
		Entrada 1	Entrada 2	Entrada 3	Entrada 4
No. de Carriles ($N_{izquierda}$, N_{centro} , $N_{derecha}$)		0, 2, 0	0, 2, 0	0, 2, 0	0, 2, 0
Pendientes		0	0	0	0
Tasa de flujo	$N_{izquierda}$	248	123	16	10
	N_{centro}	842	755	55	69
	$N_{derecha}$	166	65	127	137
Tasas de flujo en CONFLICTO	$N_{izquierda}$	820	1008	2454	2454
	N_{centro}	0	0	2537	2486
	$N_{derecha}$	0	0	788	925
Intervalos críticos	$N_{izquierda}$	5.98	4.42	7.14	7.14
	N_{centro}	0	0	6.54	6.54
	$N_{derecha}$	0	0	6.24	6.24
Capacidad Potencial	$N_{izquierda}$	411	604	21	21
	N_{centro}	0	0	29	27
	$N_{derecha}$	0	0	324	389
Factores de Interferencia	$N_{izquierda}$	0.397	0.797	0	0
	N_{centro}	0	0	0	0
	$N_{derecha}$	0	0	0.673	0.579
Capacidad Actual	$N_{izquierda}$	411	604	9	9
	N_{centro}	0	0	18	17
	$N_{derecha}$	0	0	389	324
Capacidad Remanente	$N_{izquierda}$	163	482	-7	-1
	N_{centro}	0	0	-37	-52
	$N_{derecha}$	0	0	262	188
Nivel de Servicio	$N_{izquierda}$	D	A	F	F
	N_{centro}	0	0	F	F
	$N_{derecha}$	0	0	C	D



Una vez analizada y procesada por la metodología planteada la información obtenida, se puede determinar que pueden existir múltiples soluciones para mejorar la movilidad en la intersección, y así mismo reducir significativamente los accidentes que se presentan en la misma.

Para esto se plantea como idea principal una propuesta de semaforización y como alternativa para una solución definitiva al problema crear un paso a desnivel sobre el circuito Universitario mediante el cual no se interrumpa el paso por la avenida paseos de la universidad.

A continuación, se planea la semaforización para la intersección.

4.2.11 Intersección semaforizada

-Fases de semaforización

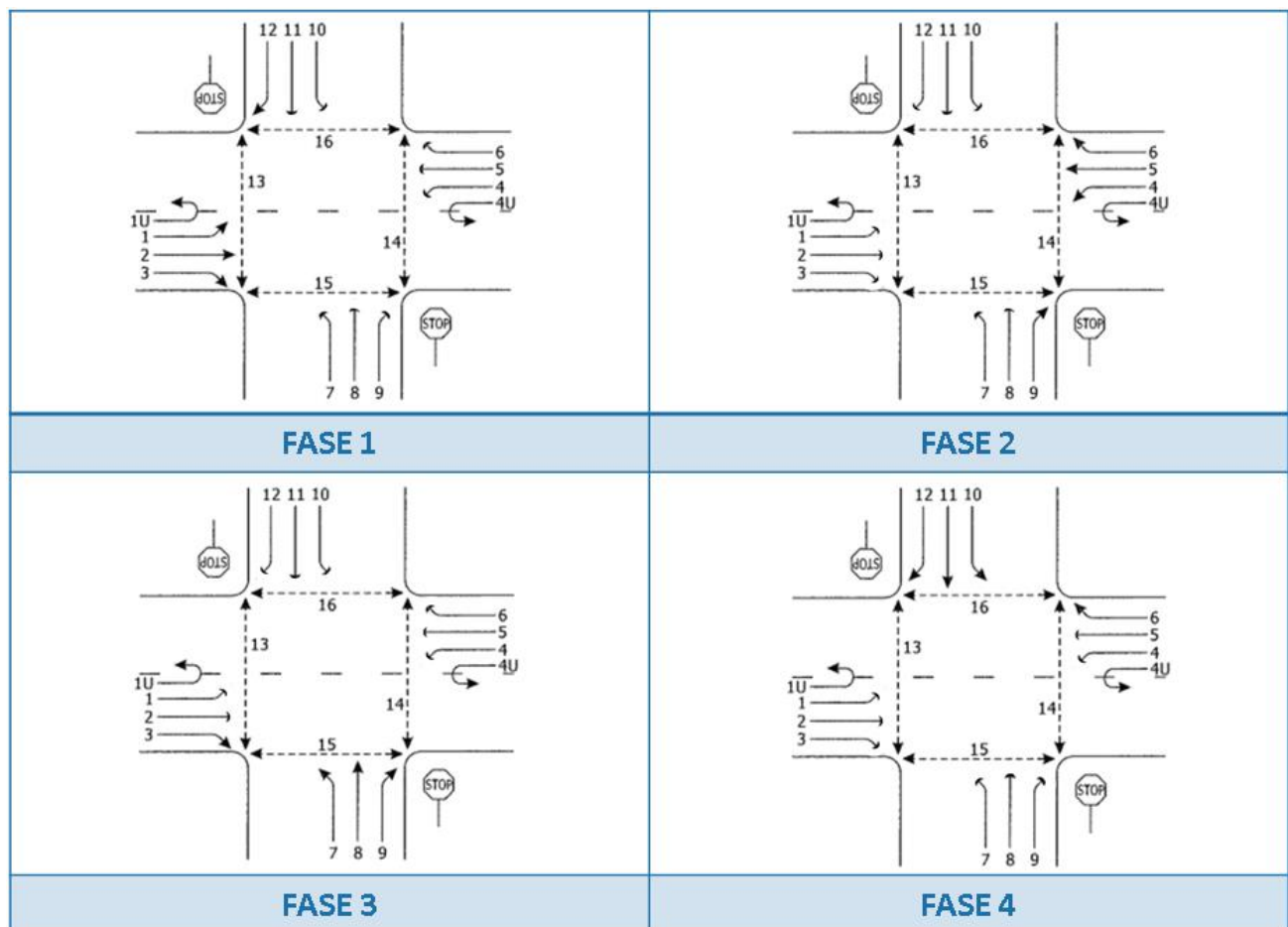


Figura 66. Fases de semaforización (Ruiz, 2023).



- Magnitud de intervalos de cambio

Ecuación 75. Magnitud de intervalos de cambio.

$$y_i = \left(t + \frac{v}{2a}\right) + \left(\frac{w + L}{v}\right) = A_i + TR_i$$

Las variables a tener en cuenta para hallar el tiempo de cambio de los semáforos:

- Longitud típica de un vehículo: 6.10 mts.
- t: Tasa de desaceleración: 1 seg.
- V: Velocidad (m/seg)
- a: Aceleración: 3.5 m/s².
- w: Longitud de recorrido (variable según el movimiento).

Se obtiene que el tiempo en amarillo debe ser de 3 segundos y el intervalo de todo rojo de 2 segundos.

- Ciclo óptimo

Ecuación 76. Ciclo óptimo

$$C_o = \frac{1.5 L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\varphi} Y_i} = 160 \text{ seg} = 2.67 \text{ min}$$

- Tiempo en verde

Finalmente, luego de considerar todas las variables que influyen en la determinación de los intervalos de cambio y el ciclo óptimo. el tiempo en verde es la diferencia entre estos dos dando como resultado 50 segundos.

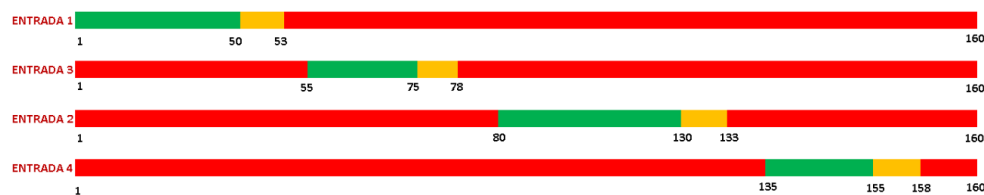


Figura 67. Esquema de ciclos de semaforización (Ruiz, 2023).

Una vez analizado el comportamiento por medio de semaforización, queda a elección de los entes encargados evaluar la posibilidad de implementar esta solución, que a grandes rasgos podría mejorar la movilidad del sector. y, además ayudaría a reducir los accidentes que han venido sucediendo en los últimos años en la intersección. La implementación de esta semaforización



requiere realizar una configuración del diseño geométrico añadiendo un carril para giro a la izquierda sobre la Avenida Circuito universitario.

5 Conclusiones y recomendaciones

La intersección en cuestión está experimentando una notable congestión vehicular, especialmente durante los horarios pico. Esta situación ha sido confirmada mediante aforos, que muestran que el volumen de tráfico supera la capacidad de la infraestructura actual. La configuración de la intersección, que se basa en dos altos, resulta insuficiente para manejar el flujo vehicular en momentos de alta demanda. Esta deficiencia indica que la infraestructura vial no está diseñada para soportar el nivel de tráfico presente durante las horas de mayor congestión.

El análisis de la información revela una deficiencia crítica en la gestión del tráfico: la falta de un sistema de control semafórico. La ausencia de semáforos adecuados contribuye significativamente a la ineficiencia en el manejo del tránsito. Un sistema semafórico bien diseñado y coordinado puede mejorar la movilidad al regular los tiempos de paso y espera de los vehículos. Sin embargo, la carencia de este sistema ha llevado a tiempos de espera prolongados y a un flujo de tráfico desorganizado, particularmente para los vehículos que intentan incorporarse desde la Avenida Paseos de la Universidad. La falta de semáforos no solo ralentiza el movimiento de los vehículos, sino que también incrementa el riesgo de conflictos y accidentes debido a la ausencia de una regulación clara del tránsito.

Los datos de los aforos también muestran fluctuaciones significativas en los volúmenes de tráfico a lo largo del día y durante el año. Esta variabilidad puede deberse a varios factores, como el aumento del tráfico durante las mañanas y tardes debido a actividades laborales y escolares. Eventos especiales, como ferias o conciertos, también pueden atraer grandes multitudes y afectar el tránsito. Además, las fluctuaciones estacionales, como el incremento del tráfico durante las vacaciones de verano o las disminuciones en períodos de menor actividad, influyen en la congestión. Factores adicionales como accidentes y condiciones meteorológicas adversas, como lluvias intensas, pueden agravar los problemas de congestión.



Estas fluctuaciones demuestran que la congestión no es un problema aislado de las horas pico, sino que está influenciada por una serie de variables que deben considerarse en la planificación y gestión del tráfico. Por ello, es esencial implementar medidas efectivas para mejorar el control del tránsito en la intersección. La instalación de un sistema de semáforos es una solución viable, ya que puede coordinar el flujo vehicular, reducir tiempos de espera y evitar el caos. Además, es necesario realizar una revisión exhaustiva de las estrategias de gestión del tráfico, ajustando los tiempos de los semáforos y considerando las fluctuaciones en el volumen de tráfico y otros factores externos.

En resumen, la intersección enfrenta una alta congestión que supera la capacidad actual de la infraestructura. La falta de un sistema semafórico adecuado contribuye a un flujo desorganizado y tiempos de espera prolongados. Para mitigar estos problemas, es crucial implementar un sistema de semáforos y revisar las estrategias de gestión del tráfico, teniendo en cuenta las fluctuaciones y factores externos que afectan la congestión.

La implementación del sistema de semaforización en la intersección va a mejorar las condiciones de operación del crucero, se observa una reducción de siniestros viales. Ya no se presentan choques recurrentes, sin embargo, aún falta implementar una señalización que indique que habrá un semáforo a 250 m, 500 m y 1 km antes de abordar la intersección. Esto con el fin, de que no se presenten siniestros por aproximación.

Además, los semáforos han beneficiado a que concurran peatones en este crucero brindándoles seguridad e incluso ahora cuenta con accesos de rampa para las personas en silla de ruedas o carriolas con bebés.

En general, la intersección mejora notablemente y aun puede llegar a mejorar más si se configuran con la respectiva señalización de aproximación y si se implementan señales que indiquen el cambio de velocidad hasta llegar a la intersección.



6 Referencias

- AASHO. (1960). *American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHO Road Test*. Illinois (Ottawa).
- An Abertis Company. (2017). *Autopistas - Historia de la seguridad Vial*. Obtenido de <https://www.autopistas.com/blog/seguridad-vial-un-siglo-de-evolucion/>
- ANSV. (2013). *Agencia Nacional de Seguridad Vial - LEY 1702 DE 2013*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=56286#:~:text=Coordina%20los%20organismos%20y%20entidades, reducir%20los%20accidentes%20de%20tr%C3%A1nsito.>
- ApoyoVial.net. (Noviembre de 2016). *¿Qué indican los colores de las señales viales en México?* Obtenido de <https://apoyovial.net/2016/11/01/que-indican-los-colores-de-las-senales-viales-en-mexico/>
- BBVA. (s.f). *BBVA*. Obtenido de <https://www.bbva.com/es/mx/que-es-la-plusvalia-y-como-mantenerla-al-alza/#:~:text=La%20plusval%C3%ADa%20es%20el%20incremento,valor%20urbano%20y%20el%20arquitect%C3%B3nico.>
- Cal y Mayor , R., & Cárdenas , J. (2018). *Ingeniería de Transito fundamentos y aplicaciones*. Bogota: Alfaomega.
- Caminos y Puentes Federales. (09 de Febrero de 2022). *Gobierno de México*. Obtenido de <https://www.gob.mx/capufe/articulos/seguridad-vial-en-mexico#:~:text=estilos%20de%20transportaci%C3%B3n.-,La%20seguridad%20vial%20se%20convirti%C3%B3%20en%20una%20variable%20indispensable%20para,y%20reglamentos%2C%20propuestas%20y%20m%C3%A9todos.>
- Cultura Vial. (26 de Mayo de 2011). *¿Qué es seguridad Vial?* . Obtenido de <http://culturavial.com/2011/05/que-es-seguridad-vial/>
- Dexter, J. C. (2010). Seguridad vial: La necesidad de un nuevo marco teórico. *Departamento de Geografía Universidad Autónoma de Barcelona*.



- Deza, J. B. (2022). *Análisis del flujo vehicular en intersecciones no semaforizadas del distrito de San Sebastián*. Obtenido de https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/5004/Julio_Tesis_bachiller_2022.pdf?sequence=1
- Díaz, D., Pérez, H., Gómez, M. F., & Corporán, C. (2012). *Ingeniería de tránsito - UASD*. Obtenido de Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD): <http://ingenieriadetransitouasd.blogspot.com/2012/10/el-usuario.html>
- DNV. (2016). *Normas y Recomendaciones de Diseño Geométrico DNV*. Obtenido de https://aulavirtual.fio.unam.edu.ar/pluginfile.php/295873/mod_resource/content/2/SECCI%C3%93N%20TRANSVERSAL%20-%20DNV%202010.pdf#:~:text=Geom%C3%A9tricamente%2C%20la%20secci%C3%B3n%20transversal%20t%C3%ADpica,aspecto%20que%20controle%20el%20proyecto.
- Escuela Drive. (s.f). *Tipos de Vialidades* . Obtenido de <https://escueladrive.com/teachers/tipos-de-vialidad-en-mexico/>
- Espejel, D. (Marzo de 2022). Clase de Ingeniería de tránsito 2022-1. Chihuahua, Estado de Chihuahua, México: UACH.
- García García, A., Pérez Zuriaga, A., & Camacho Torregrosa, F. (2012). *Introducción al Diseño Geométrico de Carreteras: Concepción y Planteamiento*. Obtenido de Universidad Politecnica de Valencia: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16911/Introducci%C3%B3n%20al%20dise%C3%B1o%20geom%C3%A9trico%20de%20carreteras.pdf?sequence=1>
- Gobierno de México. (2019). *Gobierno de México - Manual de calles 2019*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/509173/Manual_de_calles_2019.pdf
- Gobierno de México. (2022). *Gobierno de México - Seguridad Vial*. Obtenido de <https://www.gob.mx/capufe/es/articulos/seguridad-vial-en-mexico?idiom=es>
- Gobierno de Perú. (2007). *Manual Conductor - La vía - Catedra 10*. Obtenido de http://drtcsanmartin.gob.pe/documentos/manual_conductor/Cap10_Utilizac_dela_Via.pdf
- Gobierno del Estado Chihuahua. (2020). *Ampliación a segundo carril de gaza universitaria. Y adecuaciones viales en Circuito Universitario de Chihuahua, Chih*. Ampliación a segundo



carril de gaza universitaria. Y adecuaciones viales en Circuito Universitario de Chihuahua, Chih.

Google Earth Pro. (2021).

Google Maps. (2023). *Google Maps - Home Depot Chihuahua Norte*. Obtenido de [https://www.google.com.mx/maps/place/The+Home+Depot+Chihuahua+Norte/@28.7225226,-](https://www.google.com.mx/maps/place/The+Home+Depot+Chihuahua+Norte/@28.7225226,-106.1498232,772m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x86ea41f18c2b9e2b:0x9c36d9aec857fb8b!8m2!3d28.7240142!4d-106.1487884!16s%2Fg%2F11nnvj38bl?entry=ttu)

[106.1498232,772m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x86ea41f18c2b9e2b:0x9c36d9aec857fb8b!8m2!3d28.7240142!4d-106.1487884!16s%2Fg%2F11nnvj38bl?entry=ttu](https://www.google.com.mx/maps/place/The+Home+Depot+Chihuahua+Norte/@28.7225226,-106.1498232,772m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x86ea41f18c2b9e2b:0x9c36d9aec857fb8b!8m2!3d28.7240142!4d-106.1487884!16s%2Fg%2F11nnvj38bl?entry=ttu)

Google Maps. (2024). *Ubicación Circuto Universitario - Paseo de la universidad*. Obtenido de [https://www.google.com.mx/maps/@28.7231538,-](https://www.google.com.mx/maps/@28.7231538,-106.1484061,1092m/data=!3m1!1e3?entry=ttu)

[106.1484061,1092m/data=!3m1!1e3?entry=ttu](https://www.google.com.mx/maps/@28.7231538,-106.1484061,1092m/data=!3m1!1e3?entry=ttu)

HCM. (2010). Highway Capicity Manual 2010. En I. y. unta de Investigación de Transporte de las Academias Nacionales de Ciencias, *Manual de Capacidad de Carreteras*. Estados Unidos.

Hernández, L. (Mayo de 2023). *Mexico AS - Glorietas en México ¿Quién tiene prioridad y cómo circular?* Obtenido de <https://mexico.as.com/motor/glorietas-en-mexico-quien-tiene-prioridad-y-como-circular-en-ellas-n/>

Hipotecario_Seguros. (Abril de 2022). *Accidente y siniestro: ¿cuál es la diferencia?* Obtenido de <https://hipotecarioseguros.com.ar/blog/nota/accidente-y-siniestro-cual-es-la-diferencia>

Impacto Vial Soluciones a la medida. (2019). *Estudio de impacto vial para la construcción de The Home depot*. Chihuahua.

IMPLAN . (2015). *Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua - Descripción física del Municipio de Chihuahua*. Obtenido de Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua

IMPLAN. (2016). *Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua - Plan de desarrollo 2040*. Obtenido de https://implanchihuahua.org/IMPLAN-Datos/PDU2040/pdf/PDU2040_2016/MOVILIDAD/2.3%20Estructura%20de%20Movilidad.pdf

IMPLAN. (2020). *Instituto Municipal de Planeación del Municipio de Chihuahua*. Obtenido de <https://implancuu.carto.com/builder/e4055796-fbbb-40b1-927a->



- 949a0e9a1b0e/embed?state=%7B%22map%22%3A%7B%22ne%22%3A%5B28.473278
76577726%2C-
106.42304993933068%5D%2C%22sw%22%3A%5B28.890133753572538%2C-
105.9073791629635%5D%2C%22center%22%3A%5B28.6819136566362
- INEGI. (2014). *Síntesis de información geográfica - Estado de San Luis de Potosí*. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224240/702825224240_8.pdf
- INEGI. (2023). *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>
- Jara Niño, S. A., & Mestre Hernandez, E. A. (2020). *Análisis de seguridad vial en una intersección de alta accidentalidad en el municipio de Aguazul - Casanare*. Obtenido de Universidad Santo Tomás: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3641330>
- Municipio de Chihuahua. (2014). *Municipio de CHihuahua - Hidrografía*. Obtenido de <http://www.municipium.mx/atlasderiesgos/municipiochihuahua/hidrografia.php>
- NOM-012-STC-2-2017 . (2017). *Norma Oficial Mexicana - Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte* . Obtenido de Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte
- Pérez, C. (13 de Septiembre de 2021). *Atracción 360 - Glosario motorizado; Seguridad pasiva y activa* . Obtenido de <https://www.atraccion360.com/glosario-motorizado-seguridad-pasiva-y-activa>
- Quintero, J. R. (10 de Agosto de 2016). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- Revilla, F. A. (Septiembre de 2023). *Análisis de seguridad vial y accesibilidad de la zona de aproximación a la intersección de las Avenidas Primavera y San Luis y su mejoramiento con propuestas de bajo costo*. Obtenido de Pontificia Universidad Católica del Perú: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/27133/REVILLA_ROJAS_FABRICIO_ANDRES.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ruiz, M. (2023). *Trabajo documentado por Mariana del Pilar Ruiz Reyes*.
- Salazar, L. (2023). *Apoyo de vuelo de drone en la zona de estudio*. Chihuahua.



- Sanabria, N. (2023). *Fotografía*. Chihuahua, Chihuahua, México.
- Saniger, A. (Enero de 2021). *Canal de Clase de Ingeniería de Tránsito y Operaciones del Transporte*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=0JGQKqCnCsE>
- SCT. (2018). *Manual de Auditorias de Seguridad Vial*. Obtenido de https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_Auditoria_Seguridad_Vial/Manual_ASV.pdf
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). *Manual de Señalización vial y dispositivos de seguridad*. Obtenido de <http://sct.gob.mx/normatecaNew/manual-de-dispositivos-para-el-control-del-transito-en-calles-y-carreteras/>
- Secretaría de Movilidad. (2019). *Secretaría de Movilidad de Bogotá*. Obtenido de <https://www.sdp.gov.co/transparencia/informacion-interes/glosario/interseccion-vial>
- Seguros GNP. (2023). *Seguros GNP - Accidentes en México*. Obtenido de <https://gnpautos.mx/blog/estadisticas-de-accidentes-de-autos/#:~:text=%C2%BFCu%C3%A1ntos%20Accidentes%20automovil%C3%ADsticos%20hay%20en,940%20fueron%20colisi%C3%B3n%20con%20veh%C3%ADculo>
- SIATL v4. (2023). *Simulador de flujo de agua de cuencas - Herramienta del INEGI*. Obtenido de https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/#
- SICE. (2023). *SICE - Historia del Semáforo*. Obtenido de <https://www.sice.com/insigths/el-semaforo-150-anos-de-historia/>
- Soy Chihuahua. (Mayo de 2024). *Soy Chihuahua - Advierte Municipio de cierre de boulevard Fuentes Mares por construcción de paso inferior*. Obtenido de https://soychihuahua.mx/nota/advierte_municipio_de_cierre_de_boulevard_fuentes_mares_por_construccion_de_paso_inferior___470
- Tabasso, C. (2013). *Paradigmas, teorías y modelos de la seguridad*. Obtenido de http://94.23.80.242/~aec/ivia/tabasso_124.pdf
- Tapia, J. G., & Veizaga, R. D. (2006). *Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de ingeniería de tráfico*. Cochabamba-Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.



- Totalmente Reflejante. (s.f). *Totalmente Reflejante - Por qué son importantes los colores de la señales viales*. Obtenido de <https://www.totalmentereflejante.com/colores-de-las-senales-viales/>
- Trujillo, E. (Diciembre de 2019). *Motor Pasion - Cómo circular una glorieta*. Obtenido de <https://www.motorpasion.com.mx/industria/como-circular-correctamente-glorieta>
- UMH. (2022). *Universidad Miguel Hernández de Elche - Movilidad sostenible*. Obtenido de Plan de Movilidad Sostenible 2025: <https://www.umhsostenible.com/transporte-sostenible/>
- UNI. (2008). *Universidad Nacional de Ingeniería - Intersecciones*. Obtenido de <https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/08/intersecciones1.pdf>
- Valásquez , D., & Salcedo, K. J. (2020). *Modelo para calcular la impedancia en tiempo real en una malla vial, integrando variables*. Obtenido de Universidad San Buenaventura Colombia: <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/c983996c-82b0-4e6f-9c73-225495f33489/content>
- Vialidad Chihuahua. (2022). *Dirección de Vialidad y Tránsito de Chihuahua*. Chihuahua.
- VISE México. (2022). *VISE- Mejorar la movilidad y solucionar algunos problemas de tránsito en grandes ciudades*. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/importancia-de-los-distribuidores-viales-en-m%C3%A9xico-vise#:~:text=Los%20distribuidores%20viales%20son%20proyectos,o%20salidas%20de%20manera%20directa>.
- weatherspark. (2023). *Weather Spark - Climatología de Chihuahua*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/h/y/3257/2023/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2023-en-Chihuahua-M%C3%A9xico#Figures-Summary>