

**AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL COMO INSUMO PARA EL
MEJORAMIENTO DE LA MOVILIDAD DE CICLISTAS EN CONTEXTO URBANO
(CASO DE ESTUDIO: CALLE 10 CON CARRERA 39, EN SANTIAGO DE CALI,
COLOMBIA)**

FAVIO EDUARDO CHALCO MEDINA



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL
SANTIAGO DE CALI
2022**

**AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL COMO INSUMO PARA EL
MEJORAMIENTO DE LA MOVILIDAD DE CICLISTAS EN CONTEXTO URBANO
(CASO DE ESTUDIO: CALLE 10 CON CARRERA 39, EN SANTIAGO DE CALI,
COLOMBIA)**

FAVIO EDUARDO CHALCO MEDINA

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director

JORGE ENRIQUE GARCÍA HURTADO

Profesor Titular
Escuela de Ingeniería Civil y Geomática



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL
SANTIAGO DE CALI
2022**

**AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL COMO INSUMO PARA EL
MEJORAMIENTO DE LA MOVILIDAD DE CICLISTAS EN CONTEXTO URBANO
(CASO DE ESTUDIO: CALLE 10 CON CARRERA 39, EN SANTIAGO DE CALI,
COLOMBIA)**

Nota de aceptación:

Firma del Director de la escuela

Firma del Director del trabajo de grado

Firma del jurado

Firma del jurado

Santiago de Cali, marzo de 2022.

No soy un ciclista sólo en el sentido de que viajo en bicicleta, lo soy en el mismo sentido en que algunas personas son socialistas, fundamentalistas cristianos o realistas éticos; es decir: el ciclismo es mi ideología, un sistema de creencia sobre la base de la pureza y la economía de movimiento y generosidad para con el ambiente ... y quiero convertir a otros.

Robert Hanks

DEDICATORIA

A mi familia: Fabio, Tere, Jose y JuanFe.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, a mis amigos y amigas, a mis amigos y amigas ciclistas, a mis profes.

RESUMEN

En esta investigación se estudia la seguridad vial en la intersección de la Calle 10 (Autopista Suroriental) con Carrera 39, en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia. Se evalúa la accidentalidad en la intersección de estudio, la velocidad de circulación de vehículos motorizados y la cantidad de ciclistas que usan la intersección. Usando listas de chequeo, se revisa: la calidad del pavimento en la zona, el sistema de drenaje, los paraderos de buses, el subsistema peatonal, la iluminación en la noche, la señalización vertical, las demarcaciones, los semáforos y algunos aspectos básicos sobre el diseño geométrico. Finalmente, se presentan propuestas para mejorar la seguridad vial en la intersección, en especial para ciclistas. Se estudian manuales de diseño de cicloinfraestructura, de Colombia y el mundo, y se aplican los conceptos a la intersección de estudio.

Palabras clave: seguridad vial, ciclistas, movilidad sostenible, listas de chequeo, ingeniería de transporte.

ABSTRACT

This research studies road safety at the intersection of 10th street with career 39 in Santiago de Cali, Colombia. The accident rate at the study intersection, the speed of motor vehicle traffic and the number of cyclists using the intersection are evaluated. The quality of the pavement in the area, the drainage system, the bus stops, the pedestrian subsystem, the lighting at night, the vertical signage, the markings, the traffic lights and some basic aspects of the geometric design are reviewed by using checklists. Finally, proposals are presented to improve road safety in the intersection, specially for cyclists. Cycle infrastructure design manuals from Colombia and the world are studied, and the concepts are applied to the intersection under study.

Key words: road safety, cyclists, sustainable mobility, checklists, transportation engineering.

TABLA DE CONTENIDO

<u>1.</u>	<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>13</u>
<u>2.</u>	<u>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	<u>16</u>
<u>3.</u>	<u>JUSTIFICACIÓN</u>	<u>19</u>
<u>4.</u>	<u>OBJETIVOS</u>	<u>21</u>
4.1.	OBJETIVO GENERAL	21
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
<u>5.</u>	<u>MARCO TEÓRICO</u>	<u>22</u>
5.1.	ANTECEDENTES	22
5.2.	ESTADO DEL ARTE	27
5.2.1.	MARCO CONCEPTUAL	27
5.2.2.	MARCO LEGAL	32
5.2.3.	MARCO TEÓRICO	36
<u>6.</u>	<u>METODOLOGÍA</u>	<u>53</u>
6.1.	EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE	53
6.1.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA INTERSECCIÓN DE ESTUDIO	53
6.1.2.	ACCIDENTALIDAD EN LA INTERSECCIÓN DE ESTUDIO	54
6.2.	CAPTURA DE INFORMACIÓN	54
6.2.1.	ACCIDENTALIDAD EN LA INTERSECCIÓN DE ESTUDIO	54
6.3.	LISTAS DE CHEQUEO	55
6.4.	TRABAJO DE CAMPO	56
6.4.1.	VOLÚMENES EN LA INTERSECCIÓN DE ESTUDIO	56
6.4.2.	VELOCIDADES EN LA INTERSECCIÓN DE ESTUDIO	57
6.4.3.	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CICLISTAS EN LA INTERSECCIÓN DE ESTUDIO	59
6.5.	RECOMENDACIONES DE DISEÑO	59
<u>7.</u>	<u>ANÁLISIS Y RESULTADOS</u>	<u>60</u>
7.1.	ACCIDENTALIDAD EN LA INTERSECCIÓN DE ESTUDIO	60
7.2.	VOLÚMENES DE CICLISTAS EN LA INTERSECCIÓN DE ESTUDIO	63
7.3.	VELOCIDADES EN LA INTERSECCIÓN DE ESTUDIO	66
7.4.	COMPORTAMIENTO DE CICLISTAS EN LA INTERSECCIÓN DE ESTUDIO	68

7.5.	LISTAS DE CHEQUEO	71
<u>8.</u>	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>108</u>
<u>9.</u>	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>110</u>

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Usuarios que mueren en Cali por accidentes de tránsito. Periodo 2016-2020.
- Tabla 2. Número de muertes por accidentes de tránsito en Cali según tipo de usuario y porcentaje de ciclistas respecto al total de usuarios. Periodo 2015-2020.
- Tabla 3. Tipos de daños en pavimentos flexibles.
- Tabla 4. Tipos de daños en pavimentos rígidos.
- Tabla 5. Accidentes de tránsito en la intersección de estudio. Periodo 2016-2020.
- Tabla 6. Accidentes de tránsito de ciclistas en Santiago de Cali. Periodo 2017-2021.
- Tabla 7. Número de ciclistas que usan la intersección de estudio en un día típico
- Tabla 8. Número de ciclistas que usan la intersección de estudio en un día atípico.
- Tabla 9. Velocidad a flujo libre en la intersección de estudio. Carrera 39.
- Tabla 10. Velocidad a flujo libre en la intersección de estudio. Calle 10.
- Tabla 11. Nomenclatura de ubicación de daños en el pavimento.
- Tabla 12. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Daños en el pavimento en la zona 1.
- Tabla 13. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Daños en el pavimento en la zona 2.
- Tabla 14. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Daños en el pavimento en la zona 3.
- Tabla 15. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Daños en el pavimento en la zona 4.
- Tabla 16. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Daños en el pavimento en la zona 5.
- Tabla 17. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Sistema de drenaje.
- Tabla 18. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Paraderos en la intersección de estudio.
- Tabla 19. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Subsistema peatonal.
- Tabla 20. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Sistema de iluminación.
- Tabla 21. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Señalización vertical.
- Tabla 22. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Demarcaciones.
- Tabla 23. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Semáforos.
- Tabla 24. Radio de giro mínimo.

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Velocidad instantánea.
- Figura 2. Elasticidades entre cambio en velocidad promedio y número de fallecidos en una vía.
- Figura 3. Relación parabólica entre flujo y velocidad de tránsito.
- Figura 4. Diagrama de flujo para establecer velocidades seguras.
- Figura 5. Semáforos especiales para ciclistas.
- Figura 6. Esquema de giro directo e indirecto a la izquierda.
- Figura 7. Áreas de espera ciclista.
- Figura 8. Áreas de espera ciclista, incluyendo isla de espera.
- Figura 9. Demarcación de los cruces en la intersección.
- Figura 10. Intersección protegida con esquinas protegidas.
- Figura 11. Radio mínimo de curva horizontal.
- Figura 12. Localización de la intersección de estudio.
- Figura 13. Zonas de la intersección de estudio.
- Figura 14. Aplicación *contador*.
- Figura 15. Variación del volumen de ciclistas en la ciclobanda, en los dos sentidos. Día típico.
- Figura 16. Variación del volumen de ciclistas en la ciclobanda, en los dos sentidos. Día atípico.
- Figura 17. Ciclistas cruzando la intersección usando la Ciclobanda. Cruce a riesgo, con semáforo en rojo.
- Figura 18. Cruce de ciclista a riesgo, entre el tráfico. Y uso a contraflujo de la Ciclobanda.
- Figura 19. Comportamiento usual de ciclistas en la intersección de estudio.
- Figura 20. Ciclistas cruzando (a flujo y contraflujo) la intersección de estudio.
- Figura 21. Formas en las que los ciclistas cruzan la intersección de estudio.
- Figura 22. Fotografías de daños en pavimento en la zona 1.
- Figura 23. Fotografías de daños en pavimento en la zona 2.
- Figura 24. Fotografías de daños en pavimento en la zona 3.
- Figura 25. Fotografías de daños en pavimento en la zona 4.
- Figura 26. Fotografías de daños en pavimento en la zona 5.
- Figura 27. Localización de daños en pavimento según zonas de estudio.
- Figura 28. Grupos semafóricos vehiculares y peatonales en la intersección de estudio.
- Figura 29. Diagrama de tiempos en 5 fases.
- Figura 30. Radios de giro mínimo en las curvas de la intersección de estudio.
- Figura 31. Diseño esquemático de intersección para ciclistas.
- Figura 32. Ciclistas vulnerables.
- Figura 33. Ciclista cruza la intersección, a riesgo, por el paso a desnivel.

1. INTRODUCCIÓN

El transporte motorizado permite el desarrollo social, urbanístico y económico de las ciudades: de él dependen la movilidad de personas, la planificación urbana y el traslado de mercancías. Sin embargo, trae consigo serios problemas: la contaminación atmosférica y auditiva, la congestión vehicular y los accidentes de tránsito.

Son tan graves las lesiones generadas por el tránsito que la OMS las considera un importante problema de salud pública y decide, junto al Banco Mundial, coordinar un grupo de más de 100 expertos del mundo para elaborar, en el 2004, el *Informe mundial sobre la prevención de los traumatismos causados por el tránsito*, cuya finalidad fue presentar un panorama general de los conocimientos existentes sobre la magnitud, los factores de riesgo y las repercusiones de estos traumatismos y sobre las formas de prevenir y reducir su impacto (OMS, 2004). En este informe se invita a que los gobiernos legislen a favor de la seguridad vial y es así como, en el 2011, el Gobierno Colombiano definió la seguridad vial como prioridad y la adoptó como política pública de Estado, mediante la expedición del Plan Nacional de Seguridad Vial (PNSV, 2011-2021). Posteriormente se crearon planes regionales y locales en todo el país.

Son tres los factores que generan accidentes de tránsito: el factor humano, el automotriz y el medio ambiental, que se refiere a infraestructura vial y condiciones meteorológicas. Dentro del factor automotriz, una de las principales causas de accidentes de tránsito, es el crecimiento del parque automotor: entre más vehículos hay en las ciudades, hay más posibilidades de que estos colisionen. Sin embargo, la accidentalidad por crecimiento del parque automotor también se relaciona con un deficiente desarrollo de la infraestructura vial y con un bajo nivel de educación vial de los usuarios. Particularmente en Cali, según *el Informe anual de calidad de vida Cali Cómo Vamos*, de los años 2019 y 2020, la tasa de crecimiento del parque automotor ha aumentado: entre 2017 y 2018 creció 2,4% y entre 2018 y 2019 creció 4,5%. Este aumento se convierte en un problema cuando no se construye o mejora

la infraestructura vial: crece el volumen de tránsito y se sobre pasa la capacidad del sistema, lo que genera congestión vehicular y accidentes. Es aquí donde implementar políticas que promuevan sistemas alternativos de transporte no motorizado, como la bicicleta, puede ser una solución (sostenible, equitativa y amigable con el ambiente) frente al problema de la movilidad. Sin embargo, la infraestructura vial de muchas ciudades, entre ellas Cali, no está pensada, diseñada y construida para movilizarse en bicicleta.

Los problemas de movilidad e infraestructura, ante un accidente de tránsito, afectan en especial a los usuarios vulnerables en la vía: motociclistas, peatones y ciclistas. Estos, al movilizarse, no cuentan con una armadura que los proteja de las colisiones, a diferencia de los usuarios de vehículos automotores de cuatro ruedas o más. En Cali, según el *Informe anual de calidad de vida*, de los años 2019 y 2020, durante el 2018 hubo 13.792 accidentes de tránsito, de los cuales 353 fueron fatales y 342 de estos siniestros le ocurrieron a usuarios vulnerables. Mientras que en 2019 hubo 12.934 accidentes, de los cuales 309 fueron fatales y 296 de estos siniestros le ocurrieron a usuarios vulnerables. Con estos datos se puede apreciar la vulnerabilidad de motociclistas, ciclistas y peatones en Cali. Ciclistas y peatones, pese a ser una minoría entre los usuarios de la movilidad, son protagonistas en la cantidad de accidentes fatales. Estas cifras también son un indicativo de la importancia de adaptar la infraestructura vial para mejorar la seguridad de los usuarios vulnerables.

Gran parte de esta accidentalidad fatal ocurre en las intersecciones viales. Es por esto que, en esta investigación, se pretende aplicar los conocimientos de la Ingeniería de Transporte, para mejorar la seguridad vial (en especial de ciclistas) en una intersección vial urbana donde convergen cicloinfraestructura, pasos peatonales y carriles para automotores. Específicamente se hará una auditoría de seguridad vial a la intersección de la Calle 10 con la Carrera 39, en la ciudad de Santiago de Cali, debido al alto grado de accidentalidad que se registra en esta

zona. Se analizará el patrón de tránsito, la señalización existente, la calidad de la infraestructura, las velocidades de circulación y la semaforización.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los traumatismos por accidente de tránsito siguen representando un importante problema de la salud pública. Cada año mueren cerca de 1,3 millones de personas en las carreteras del mundo entero, y entre 20 y 50 millones padecen traumatismos no mortales (OMS, 2009).

Pero, ¿qué es un accidente de tránsito? Según la ley 769 de 2002 o Código Nacional de Tránsito, un accidente de tránsito es un evento generalmente involuntario, generado al menos por un vehículo en movimiento, que causa daños a personas y bienes involucrados en él e igualmente afecta la normal circulación de los vehículos que se movilizan por la vía o vías comprendidas en el lugar o dentro de la zona de influencia del hecho. (Código Nacional de Tránsito, 2002, Artículo 2). Sin embargo, la Agencia Nacional de Seguridad Vial - ANSV, creada en 2013, sugiere el uso del término siniestro vial, porque refleja el nuevo enfoque que se le da a la seguridad vial a nivel mundial: los accidentes de tránsito no son un hecho fortuito debido al azar sino a un fallo en alguna parte del sistema que compone la movilidad segura y sostenible (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2020).

Se identifican tres factores inseparables en los accidentes de tránsito: el factor humano, el automotriz y el medio ambiental. Este último se divide en dos subcategorías: las condiciones meteorológicas y la infraestructura vial. Sin embargo, independiente de las causas que generen el accidente, hay usuarios que, por sus características propias, son más vulnerables a sufrir lesiones temporales, lesiones permanentes o accidentes fatales. Los usuarios vulnerables de la vía se definen como aquellos expuestos directamente a los impactos vehiculares (peatones, ciclistas y motociclistas), a diferencia de aquellos protegidos dentro de un vehículo (conductores, pasajeros). (GRSF, 2008). En la ciudad de Cali, la gran mayoría de usuarios que sufren accidentes de tránsito fatales son los usuarios vulnerables, a pesar de que son minoría en comparación a quienes se movilizan en vehículos motorizados de más de cuatro ruedas. En la siguiente tabla se ve cómo

entre 2016 y 2020, los usuarios vulnerables que mueren en accidentes de tránsito son más del 93%, comparados con el total de usuarios de la movilidad.

Tabla 1. Usuarios que mueren en Cali por accidentes de tránsito. Periodo 2016-2020.

	2016	2017	2018	2019	2020
Peatón	115	128	167	131	105
Motociclista y pasajero	151	144	146	129	140
Ciclista	32	32	29	36	41
Pasajero Auto	5	8	5	10	8
Conductor Auto	17	3	6	2	4
No registra	2	7		1	2
Total usuarios	322	322	353	309	300
Total usuarios vulnerables	298	304	342	296	286
% Total usuarios vulnerables	93%	94%	97%	96%	95%

Fuente: Observatorio de seguridad vial. Elaboración propia.

En general, la razón más común por la cual se generan siniestros viales, en Cali, es “No mantener distancia de seguridad”. Razón por la cual sucedieron 6682 accidentes viales solo en el 2019, según el *Informe anual de eventos de tránsito* del año 2020. “No mantener distancia de seguridad” es una causa de accidentes que, en parte, depende de la infraestructura vial, particularmente de la señalización y la semaforización, que, hasta cierto punto, controlan el flujo del tránsito. Sin embargo, esta causa de accidentes está asociada en mayor medida al factor humano, ya que depende de la velocidad con la que los usuarios deciden circular en sus vehículos por la infraestructura vial. Por esto, es muy importante la educación en seguridad vial de los usuarios y poner límites a la velocidad del tránsito, porque las velocidades más altas conducen a un mayor riesgo de una colisión y a un aumento de la probabilidad de lesiones graves o de la muerte. Esto se debe a que, a medida que la velocidad aumenta, también lo hace la distancia recorrida durante el tiempo de reacción del conductor y la distancia necesaria para detenerse. Además, a gran velocidad, los efectos de los errores del conductor se agravan. En una colisión, cuanto mayor es la velocidad, mayor es la cantidad de energía mecánica (cinética)

que debe ser absorbida por el impacto. Por lo tanto, hay más posibilidades de una lesión grave. (GRSF, 2008).

Particularmente hablando de ciclistas, otra causa de accidentalidad es la deficiencia de la ciclo infraestructura. Se debe garantizar que la ciclo infraestructura cumpla con parámetros mínimos de seguridad para reducir la probabilidad de accidentes de los ciclistas al mínimo posible. Sin embargo, en Cali, estos parámetros mínimos no siempre se cumplen y como consecuencia se presentan altos índices de accidentalidad para ciclistas. Según el *Informe anual de calidad de vida* del año 2018, para el 2016, Cali registró 30,7 km de cicloinfraestructura, donde el 78,3% se encuentra en buenas condiciones, el 49,7% de la ciclo infraestructura está articulada y el 57,1% se encuentra con buena iluminación. En la actualidad no hay información oficial sobre el número de kilómetros de cicloinfraestructura, sin embargo, colectivos ciclistas de la ciudad, informan que, entre ciclorrutas y ciclo bandas, hay 150 km de cicloinfraestructura, algunos tramos en buenas condiciones y otros no.

Dentro de la cicloinfraestructura y la infraestructura en general, las intersecciones son zonas de especial atención debido a que en ellas suceden gran número de accidentes viales. Estos ocurren por la convergencia no controlada de peatones, ciclistas y conductores de vehículos automotores que circulan a velocidades distintas. Para disminuir la cantidad de accidentes de los distintos usuarios que interactúan en las intersecciones, se deben cumplir parámetros mínimos de seguridad vial. Estos parámetros mínimos se identifican con la ejecución de auditorías de seguridad vial en cada una de las etapas del proyecto: diseño, construcción y puesta en operación. Y justo aquí está el problema: la ejecución de auditorías e inspecciones de seguridad vial en Colombia es una práctica que se ejecuta desde hace aproximadamente 10 años en el país y que se volvió política de estado apenas en el 2014, con la resolución 2213 del año 2014. Así, muchas vías del país se diseñaron, construyeron y habilitaron al público, sin considerar seria y sistemáticamente la seguridad vial de los usuarios. Dentro de estas vías se encuentra la intersección del caso de estudio.

3. JUSTIFICACIÓN

Debido al aumento de los accidentes de tránsito y a los problemas sociales, de salud pública, de movilidad y económicos que esto genera, el Departamento del Valle del Cauca y el Municipio de Santiago de Cali, en cumplimiento de la política nacional de seguridad vial, formularon el Plan Regional de Seguridad Vial del Valle del Cauca y Cali 2012-2020. Y también se formuló el Plan Local de Seguridad Vial de Santiago de Cali 2018-2021. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos por disminuir los accidentes de tránsito fatales, estos han ido en aumento, salvo en 2019 y 2020, como se puede ver en la siguiente tabla. Además, se puede apreciar que los ciclistas son aproximadamente una décima parte de los muertos por accidentes de tránsito y que este valor se mantiene relativamente constante a lo largo de los años.

Tabla 2. Número de muertes por accidentes de tránsito en Cali según tipo de usuario y porcentaje de ciclistas respecto al total de usuarios. Periodo 2015-2020.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Peatón	124	115	128	167	131	105
Motociclista y pasajero	118	151	144	146	129	140
Ciclista	32	32	32	29	36	41
Pasajero Auto	10	5	8	5	10	8
Conductor Auto	15	17	3	6	2	4
No registra	21	2	7		1	2
Total usuarios	320	322	322	353	309	300
% Ciclistas	10%	10%	10%	8%	12%	14%

Fuente: Observatorio de seguridad vial. Elaboración propia.

Los datos anteriores evidencian la necesidad de estudiar las causas que generan accidentes de tránsito y muertes para los ciclistas de Santiago de Cali. Además, el Observatorio de Movilidad Sostenible y Seguridad Vial de Cali informa que existen puntos críticos donde ocurren la mayoría de los accidentes de tránsito. Justamente estos puntos son intersecciones viales. Un ejemplo es la intersección de la calle 10

con carrera 39, donde en el año 2019 murieron dos personas, 14 personas resultaron lesionadas y hubo 30 daños; todo esto solo por accidentes de tránsito.

Por las razones anteriormente descritas se justifica la investigación propuesta en este proyecto. Se espera que, con los análisis de semaforización, flujo de tránsito, composición de tránsito, velocidades de operación, calidad de la superficie de rodadura, infraestructura y señalización vertical y horizontal, se identifiquen y evalúen las posibles causas que generan accidentes de tránsito en la intersección de la calle 10 con carrera 39 en la ciudad de Santiago de Cali. Para finalmente, plantear propuestas, a nivel esquemático, para mejorar la seguridad vial en la intersección, en especial para los ciclistas.

Con el fin de reducir la accidentalidad y los siniestros viales, estos estudios y recomendaciones pueden ser usados por personas naturales, colectivos ciclistas y entidades y autoridades encargadas de la movilidad y la seguridad vial de la ciudad: Secretaría de Infraestructura, Secretaria de Movilidad y el Observatorio de Movilidad Sostenible y Seguridad Vial de Cali.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar una auditoría de seguridad vial, orientada a ciclistas, en la intersección de la calle 10 con carrera 39 en la ciudad de Santiago de Cali; identificando las causas potenciales de accidentalidad y proponiendo soluciones técnicas, a nivel esquemático, que permitan mejorar las condiciones de seguridad vial en dicha intersección.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la información secundaria disponible sobre accidentalidad en la intersección de estudio y su correlación con volúmenes de tránsito de ciclistas y velocidades de operación de vehículos motorizados.
- Caracterizar en una lista de chequeo el estado de la superficie de rodadura, drenajes, paraderos, subsistema peatonal, ciclistas, entorno, mobiliario, iluminación, señalización horizontal y vertical, semaforización, parámetros geométricos y condiciones de seguridad vial en la intersección a estudiar.
- Evaluar las características de comportamiento de los ciclistas al realizar cruces en la intersección a estudiar.
- Diseñar, a nivel esquemático, soluciones técnicas para el mejoramiento de las condiciones de la seguridad vial en la intersección a estudiar, en especial para los ciclistas.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. ANTECEDENTES

A continuación, un resumen de algunas investigaciones relacionadas con accidentes de tránsito, seguridad vial, movilidad en bicicleta y auditorías de seguridad vial.

- **El diseño de intersecciones y su utilidad en la seguridad vial para la prevención de accidentes (Caso de estudio Calle 25 con avenida 2n en Santiago de Cali) (Mosquera, 2018).**

El autor escoge esta intersección debido a la alta accidentalidad registrada en la zona. Analiza las consecuencias de la accidentalidad en la ciudad y también en la intersección de estudio y estadísticas donde se miden accidentes con muertos, heridos y daños materiales. Estudia la velocidad de circulación de los vehículos. Después, en visitas de campo, revisa los puntos recomendados por las listas de chequeo para Auditorías de seguridad vial (ASV) en Colombia: Geometría de la vía, Drenajes, Semaforización, Señalización vertical y horizontal, Iluminación, Paraderos, Superficie de rodadura, Subsistema peatonal, Ciclistas, Entorno, mobiliario y paisajismo urbano e Imprudencias de los usuarios. Tras esto, determina el volumen del tráfico y la capacidad de servicio de la intersección, que la calcula con el método del Highway Capacity Manual (HCM, 2000). Explica que hay incertidumbre en los datos de velocidad y volumen ya que estos fueron recopilados por cámaras de foto multas. Por último, hace recomendaciones para mejorar la seguridad vial en la intersección.

- **Análisis de Accidentes de Tránsito en la Ciudad de Cali teniendo en cuenta la infraestructura construida para motociclistas “Motovía” (Castellanos, 2018).**

Como la mayoría de los accidentes de tránsito fatales le ocurren a motociclistas y parrilleros, en el 2009, en Cali se implementó una vía propia para motociclistas en algunos tramos de la malla vial de la ciudad: la “Motovía”. La autora primero determina los *hot spots* (o puntos de mayor accidentalidad). Para esto la zona de

estudio son las 22 comunas de la ciudad. La incidencia de la Motovía se determina en las comunas por donde esta pasa, la 8, 11 y 12. Se trabaja con información anterior y posterior a la implementación de la Motovía. Realiza conteos de accidentes de tránsito que involucran motocicletas en vías aledañas a la Motovía, en un radio de influencia de 90 m y organiza los datos de accidentalidad con métodos de estadística descriptiva, encuentra medidas de tendencia central, de dispersión y de forma. Posteriormente, determina la tasa de accidentalidad según la población total, considerando el número de motocicletas registradas. Utilizando el software *ArcGis* y su herramienta de densidad de Kernel establece los *hot spots*. La evaluación de la Motovía se consigue usando datos de panel y el software *Stata/SE*. Después de esto analiza los datos calculados y construye mapas de accidentalidad, donde se ven las comunas con más y menos accidentes de tránsito, desde 2010 hasta 2014. Concluye que no se evidencia que la Motovía haya reducido el número de accidentes de tránsito. Explica las falencias del método de investigación aplicado en su trabajo de grado.

– **Auditoría en seguridad vial para la ciclorruta de la carrera 13 entre calles 51 y 63. Chapinero-Bogotá. (Reyes, 2016).**

Con esta investigación se busca mejorar la movilidad de estudiantes y administrativos de la Universidad Santo Tomás que se desplazan entre las sedes de la universidad. El autor estudia las ciclorrutas en distintos países del mundo, en Colombia y en Bogotá. Después identifica los usuarios que usan y usarán la ciclorruta a auditar. Con encuestas define los usuarios potenciales y en el día sin carro de la universidad, mide los usuarios de la ciclorruta. Divide los 1,3 km de la zona de estudio en 12 tramos. Después revisa la superficie de rodadura en cada tramo, usando el Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Construye tablas donde muestra el tipo de daño, su ubicación, el tramo, su tamaño (longitud o área), la severidad del daño (baja, media o alta) y una fotografía. Lo anterior también lo aplica para pavimentos articulados, presentes en la zona de estudio. Realiza un presupuesto y calcula el precio que cuesta reparar la ciclorruta.

Luego hace un inventario de las señales de tránsito: verticales y horizontales y muestra las deficiencias en señalización. Con todo lo anterior identifica puntos críticos donde pueden suceder más accidentes de tránsito en el tramo de estudio.

– **Listas de chequeo para realizar auditorías de seguridad vial en Colombia (Alarcón, 2015).**

El autor explica la importancia de las listas de chequeo como herramienta para realizar auditorías de seguridad vial. Compara las listas de chequeo que se usan en distintos países, hay países donde las listas son más detalladas, en comparación a otros, donde son más generales y se deja que el auditor experto aplique su experiencia. Aclara que en muchos países son una cultura y se realizan sistemáticamente en todas las etapas del proyecto vial. El autor propone crear listas de chequeo para las carreteras colombianas, usando listas internacionales y las listas nacionales definidas por el Fondo de Prevención Vial y el Ministerio de Transporte. Define tres niveles de severidad para calificar el efecto de cada elemento de la carretera sobre la seguridad vial. Esto servirá para determinar en qué lugares de la carretera se debe priorizar su intervención para garantizar la seguridad vial. El autor propone dentro de las listas de chequeo los siguientes puntos: sección transversal, entorno, zonas de despeje lateral y elementos de seguridad pasiva, intersecciones, señalización vertical e iluminación, señalización horizontal y delineación, superficie de rodadura, usuarios vulnerables y servicios. Luego propone *criterios para el diligenciamiento de las listas de chequeo*. Primero habla de la *frecuencia*: en Colombia las ASV se realizan de forma esporádica y no en cada una de las etapas del proyecto vial. Después habla de *dónde aplicar las listas de chequeo*, establece tres puntos: Sectores de Concentración de Accidentes (TCA), Sectores con accidentes que no sean TCA pero que podrían llegar a serlo, o sectores críticos, y por último Sectores aparentemente sin problemas o sectores típicos. Tras esto propone tres *fases en el proceso de aplicación de las listas de chequeo*: *trabajo preliminar de oficina*, *trabajo en campo* y *la fase final de oficina*. En el *trabajo preliminar de oficina* se analiza la información existente de la vía: tipo

de vía, volúmenes, rutas de transporte, tipos de vehículos y sus características, usuarios vulnerables, normatividad, mapas, planos y videos. Aquí también se debe decidir qué listas de chequeo utilizar, si generales o detalladas. En el *trabajo en campo*, el equipo auditor utiliza las listas de chequeo para revisar los puntos que han decidido investigar. El autor propone hacer la evaluación en el siguiente orden: *sección transversal, entorno de la vía y servicios y operación de los diferentes usuarios de la carretera*. En *sección transversal* se evalúan: carriles, bermas, drenajes y taludes, allí se observa: visibilidad, demarcación, estado y alineamiento. En *entorno de la vía* se revisa: barreras, despeje lateral, señalización, vegetación y objetos fijos. Y en *operación de los diferentes usuarios de la carretera* se evalúan los servicios existentes en la carretera y se observa la interacción, entre sí, de camiones, autobuses, peatones y ciclistas y la interacción de estos con elementos físicos de la carretera. Se propone al equipo auditor realizar recorridos por la carretera a auditar desde distintos vehículos y a pie. También se recomienda recorrer la carretera con lluvia. Por último, agrega que recorrer de noche la vía a auditar es importante. Para finalizar, el autor aplica la teoría descrita anteriormente realizando una ASV en la vía Chiquinquirá-Tunja.

– **Auditoría de seguridad vial de la avenida iberia (calle 134) comprendida en el tramo entre la carrera 20 y carrera 46. (Ingeniería y diseños SAS, 2018)**

El equipo auditor realiza un levantamiento geométrico del tramo vial. Analizan: drenajes, iluminación y pavimento. Después, hacen un inventario de la señalización vertical y horizontal. Informan que en el tramo de estudio no hay semaforización porque las intersecciones son a desnivel. Tras esto miden el número de viajes diarios que se realizan en la zona, incluyendo rutas de transporte público. Miden la accidentalidad: muertos, lesionados y daños materiales; según la hora del día. Determinan un *punto crítico* y un *tramo de riesgo*. Se estudian los usuarios que pasan por el punto y el tramo: edades, discapacidades, si son peatones, ciclistas o conductores; se numeran los conflictos entre usuarios. Se construye una *Matriz de Evaluación de la amenaza*, para el punto y el tramo. Se clasifica el nivel de amenaza

en alto, medio y bajo, según las listas de chequeo. Tras esto se construye la *Matriz de Peligrosidad*. Con las distintas matrices se construye una *Matriz de riesgo*, para el punto crítico y para el tramo; aquí se evalúa el *Rango del riesgo total*. Se clasifica el riesgo en: Intolerable, Medio y Tolerable, asociados respectivamente a la Prioridad de acción para cambiar esto: Prioridad Crítica, Urgente y Básica. A partir de las matrices se construyen *Planos de riesgo*, donde se ve en qué lugares el riesgo es Intolerable, Medio o Tolerable. Para finalizar, los auditores presentan *Fichas de hallazgos y recomendaciones*.

- **Auditoría en seguridad vial de ciclovías. Caso de estudio: av. Cristóbal Colón (desde av. América hasta av. 12 de octubre) y av. 6 de diciembre (desde av. Tarqui hasta av. Cristóbal Colón) (García y Morejón, 2019).**

El proyecto comienza con un estudio de ciclo infraestructura (ciclorrutas y ciclocarriles) en Europa, Norteamérica, Suramérica y luego se centra en la ciudad de Quito. Tras esto se define Auditoría en seguridad vial, ASV. Se propone completar una lista de chequeo para medir la seguridad de la ciclorruta. Se analiza: diseño geométrico, superficie de rodadura, señalización horizontal y delineadores, señalización vertical, mobiliario vial (iluminación, barreras, vallas peatonales, drenajes e islas), usuarios de la vía y vehículos de la vía. Debido a la falta de información estatal de accidentes, los autores realizaron sus propias observaciones de campo. Los accidentes se clasificaron con el *Índice de frecuencia*, que se divide en: Frecuente, Ocasional, Poco frecuente y Raro. Dependiendo de la gravedad de las lesiones, se clasificaron los accidentes usando el *Índice de severidad* que puede ser: Extrema, Alta, Media y Baja. Combinando los índices anteriores se construyó una *Matriz de evaluación del riesgo* donde se determina el riesgo que genera un accidente, este se clasifica en Mayor, Alto, Moderado y Bajo. Con la información anterior se determinaron los puntos críticos y la prioridad con la que se deben intervenir para reducir la accidentalidad. Tras esto, se construyeron fichas de recomendación, donde se muestran el problema y su solución. Por otra parte, se creó una encuesta de percepción de seguridad para ciclistas. En las conclusiones

se contrastaron las percepciones recogidas en la encuesta con los resultados de la ASV, se compararon los dos tramos de estudio y se presenta un presupuesto general del costo de las soluciones recomendadas.

5.2. ESTADO DEL ARTE

5.2.1. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se presentan definiciones de términos relacionados con ciclo-infraestructura y seguridad vial. Se unificaron conceptos utilizando la *Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas* (2016), el glosario del Instituto Nacional de vías (2018, el Plan Nacional de Seguridad Vial (2014), el Plan Local de Seguridad Vial del Municipio de Santiago de Cali (2018) y el *Manual de señalización vial* (2015).

Accidente de tránsito: es un evento generalmente involuntario, generado al menos por un vehículo en movimiento, que causa daños a personas y bienes involucrados en él e igualmente afecta la normal circulación de los vehículos que se movilizan por la vía o vías comprendidas en el lugar o dentro de la zona de influencia del hecho.

Agencia nacional de seguridad vial: LA ANSV es la máxima autoridad para la aplicación de las políticas y medidas de seguridad vial nacional. Coordina los organismos y entidades públicas y privadas comprometidas con la seguridad vial e implementa el plan de acción de la seguridad vial del gobierno; su misión es prevenir y reducir los accidentes de tránsito.

Auditoría de seguridad vial: es el procedimiento sistemático por el que un profesional cualificado e independiente comprueba las condiciones de seguridad de un proyecto de una carretera nueva, de una carretera existente o de cualquier proyecto que pueda afectar a la seguridad de la vía o a los usuarios. Mediante las auditorías se pretende garantizar que las carreteras, desde su primera fase de planeamiento, se diseñen con los criterios óptimos de seguridad para todos los

usuarios, verificando que se mantienen dichos criterios durante las fases de proyecto, construcción, puesta en servicio de la misma y su vida posterior.

Banda ciclopreferente: Banda en la calzada reservada preferentemente a la circulación de bicicletas y delimitada mediante una línea discontinua. Vehículos motorizados y las bicicletas pueden cruzar la línea si la situación del tráfico así lo requiere, siempre y cuando no se incomode ni se ponga en peligro al ciclista.

Berma: Fajas comprendidas entre los bordes de la calzada y las cunetas. Sirven de confinamiento lateral de la superficie de rodadura, controlan la humedad y las posibles erosiones de la calzada.

Ciclista: conductor de bicicleta o triciclo. Para desplazarse emplea el esfuerzo muscular a través del cual acciona por medio de pedales estos vehículos no motorizados. Los ciclistas ayudan a que haya menos tráfico, menos contaminación y menos gastos en salud.

Calzada: Zona de la vía destinada a la circulación de vehículos. Generalmente pavimentada o acondicionada con algún tipo de material de afirmado.

Capacidad: Número máximo de vehículos que pueden circular, por un punto o tramo uniforme de la vía en los dos sentidos por unidad de tiempo, bajo las condiciones imperantes de vía y de tránsito.

Carril: Parte de la calzada destinada al tránsito de una sola fila de vehículos.

Ciclobanda: vía de uso exclusivo para la bicicleta. Se distingue respecto a otro tipo de vialidad por una de las siguientes razones: cambio de pavimento, dispositivos de canalización del tránsito (hitos, balizas, tachones, bordillos, o elementos similares) o demarcación.

Ciclorruta: vía de uso exclusivo para la bicicleta. Se distingue respecto a otro tipo de vialidad porque está a otra altura o porque a su alrededor hay instalados elementos de segregación permanentes.

Cuneta: Zanjas, revestidas o no, construidas paralelamente a las bermas, destinadas a facilitar el drenaje superficial longitudinal de la carretera. Su geometría puede variar según las condiciones de la vía y del área que drenan.

Derecho de vía: Faja de terreno destinada a la construcción de la vía y sus futuras ampliaciones.

Dispositivos para la regulación del tránsito: Son los mecanismos físicos o marcas especiales, que indican la forma correcta como deben circular los usuarios de las calles y carreteras. Los mensajes de los dispositivos para la regulación del tránsito se dan por medio de símbolos, elementos y leyendas de fácil y rápida interpretación.

Educación vial: La educación vial consiste en acciones educativas, iniciales y permanentes, cuyo objetivo es favorecer y garantizar el desarrollo integral de los actores de la vía, tanto a nivel de conocimientos sobre la normativa, reglamentación y señalización vial, como a nivel de hábitos, comportamientos, conductas, y valores individuales y colectivos, de tal manera que permita desenvolverse en el ámbito de la movilidad y el tránsito en perfecta armonía entre las personas y su relación con el medio ambiente, mediante actuaciones legales y pedagógicas, implementadas de forma global y sistémica, sobre todos los ámbitos implicados y utilizando los recursos tecnológicos más apropiados.

Intersección: dispositivos viales en los que dos o más carreteras se encuentran ya sea en un mismo nivel o bien en distintos, produciéndose cruces y cambios de trayectorias de los vehículos que por ellos circulan.

Las intersecciones son elementos fundamentales en el diseño de las ciclorredes, ya que en estos puntos suelen tener lugar la mayoría de los incidentes, conflictos o siniestros y, por otro lado, su diseño y regulación son determinantes para la comodidad y rapidez de una ruta ciclista.

Lista de chequeo: herramienta de verificación que ayuda al auditor a realizar de una forma ordenada y sistemática la revisión de las condiciones de seguridad vial de un proyecto.

Movilidad reducida: Es la restricción para desplazarse que presentan algunas personas debido a una discapacidad o que sin ser discapacitadas presentan algún tipo de limitación en su capacidad de relacionarse con el entorno al tener que acceder a un espacio o moverse dentro del mismo, salvar desniveles, alcanzar objetos situados en alturas normales.

Nivel de servicio: Refleja las condiciones operativas del tránsito vehicular en relación con variables tales como la velocidad y tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, la comodidad, los deseos del usuario y la seguridad vial.

Obras de drenaje: Obras proyectadas para eliminar el exceso de agua superficial sobre la franja de la carretera y restituir la red de drenaje natural, la cual puede verse afectada por el trazado.

Pavimento: Conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía y deben resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura y el efecto degradante de los agentes climáticos.

Pavimento flexible: Tipo de pavimento constituido por una capa de rodadura bituminosa apoyada generalmente sobre capas de material no ligado.

Pavimento rígido: Es aquel que fundamentalmente está constituido por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido.

Peatón: Persona que transita a pie por una vía.

Seguridad vial: es el producto o resultado de una serie de intervenciones sistémicas en diferentes niveles o ámbitos (normativo, informativo, formativo, educativo, técnico, tecnológico y de investigación) de forma inicial y permanente, que incide sobre la propia sociedad y sobre los medios relacionados con la movilidad, con el fin de mitigar y/o prevenir y/o eliminar los accidentes de tránsito que causan daños materiales, lesión o muerte a los actores de la vía.

Semáforo: Son dispositivos que proporcionan indicaciones visuales para el control del tránsito de vehículos y peatones en intersecciones. Las indicaciones se hacen a través de luces con lentes de diferentes colores. El color verde corresponde a la indicación de "siga" y el color rojo a "pare", el color amarillo normalmente sirve de transición entre las fases de "siga" y "pare". Los lentes con luces de colores diferentes se ordenan verticalmente en una secuencia convencional y preestablecida de la siguiente manera: rojo, amarillo y verde.

Señal de tránsito. Dispositivo físico o marca vial que indica la forma correcta como deben transitar los usuarios de las vías y se instala a nivel de la vía para transmitir órdenes o instrucciones mediante palabras o símbolos. Señal informativa ubicada sobre estructuras especiales que permiten una visibilidad a mayores distancias, por contener mensajes de mayor tamaño y estar a una altura superior a las demás señales de tránsito.

Señalización vertical: Placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la vía o adyacentes a ella, que mediante símbolos o leyendas determinadas cumplen la función de prevenir a los usuarios sobre la existencia de peligros y su naturaleza, reglamentar las prohibiciones o restricciones respecto del uso de las vías, así como brindar la información necesaria para guiar a los usuarios de estas.

Separador: Zonas verdes o zonas duras colocadas paralelamente al eje de la carretera, para separar direcciones opuestas de tránsito (separador central o mediana) o para separar calzadas destinadas al mismo sentido de tránsito (calzadas laterales).

Usuarios vulnerables: es un término que se aplica a los usuarios con una mayor probabilidad de sufrir lesiones graves o la muerte en caso de un accidente, son principalmente aquellos sin la protección de un revestimiento exterior, a saber, los peatones y los conductores de vehículos de dos ruedas. Entre éstos, los peatones y los ciclistas son aquellos que probablemente menos probabilidades tienen de infligir lesiones a otro usuario de la vía, mientras que los motociclistas, dado que las máquinas son más pesadas y las velocidades más altas, puede representar un peligro mayor para los demás.

Vehículo: Todo aparato montado sobre ruedas que permite el transporte de personas o mercancías de un punto a otro.

Velocidad de diseño: Velocidad guía o de referencia de un tramo homogéneo de carretera, que permite definir las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado, en condiciones de seguridad y comodidad.

Visibilidad: Condición que debe ofrecer el proyecto de una carretera al conductor de un vehículo de poder ver hacia delante la distancia suficiente para realizar una circulación segura y eficiente.

5.2.2. MARCO LEGAL

Para la construcción de este documento y para las propuestas de mejoramiento de seguridad vial que se harán al culminar esta investigación, se usa la terminología y normas técnicas avaladas legalmente por las instituciones gubernamentales colombianas. Así, a continuación, se hace un listado de políticas nacionales, departamentales y locales relacionadas con el tránsito, urbanismo y seguridad vial. También se hace un listado de leyes y decretos que regulan la seguridad vial y el diseño de carreteras (y ciclo-infraestructura) en Colombia. Por último, se enumeran los manuales nacionales e internacionales sobre diseño de infraestructura vial que se consultaron.

- Políticas nacionales y locales sobre tránsito y seguridad vial:

Plan Nacional de Seguridad Vial. Colombia 2011-2016. Donde la seguridad vial se define como prioridad y política de estado. Mediante Resolución 1282 de 2012, se estableció el Plan Nacional de Seguridad Vial – PNSV 2011-2016.

Plan Nacional de Seguridad Vial 2011-2021. Mediante Resolución 2273 de 2014, el Ministerio de Transporte ajustó el Plan Nacional de Seguridad Vial hasta el año 2021.

Plan Regional de Seguridad Vial del Valle del Cauca y Cali 2012-2020.

Plan Local de Seguridad Vial de Santiago de Cali, 2018-2021. Cuyo objetivo central es: Reducir el número de muertos y lesionados por siniestros viales.

Acuerdo 0373 de 2014, Por el cual se adopta la revisión ordinaria del contenido de largo plazo, del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Santiago de Cali. Aquí, entre más cosas, se le da prioridad a políticas donde se incluyan el SITM, peatones y personas como movilidad reducida.

Acuerdo N° 396 de 2016. “Por el cual se adopta el Plan de Desarrollo del Municipio de Santiago de Cali 2016 –2019: Cali progresa contigo”. Responde a lo establecido por la Ley 1083 de 2006 y se compone de los siguientes programas: programa: peatonal, en bicicleta, movilidad en transporte público, infraestructura para transporte privado y optimización del tráfico y la seguridad vial.

Plan integral de Movilidad Urbana (PIMU). El objetivo de este plan es fomentar un modelo de movilidad multimodal e intermodal que, en el marco de criterios de sostenibilidad ambiental, social y económica, otorgue a los modos de transporte público optimizados y no motorizados (peatón y bicicleta) prioridad sobre el transporte privado, fomente la seguridad vial y garantice la accesibilidad a todos los grupos poblacionales; buscando con ello la mejora de la calidad de vida de los habitantes del Municipio de Santiago de Cali.

- Leyes, decretos y resoluciones sobre movilidad, tránsito y seguridad vial:

Constitución Política de Colombia. Artículo 24. Todo colombiano, con las limitaciones que establezca la ley, tiene derecho a circular libremente por el territorio nacional, a entrar y salir de él, y a permanecer y residenciarse en Colombia.

Ley 769 de 2002. Código Nacional de Tránsito terrestre.

Ley 1083 de 2006, por medio de la cual se establecen algunas normas sobre planeación urbana sostenible y se dictan otras disposiciones.

Ley 1239 de 2008. Estableció límites de velocidad en vías urbanas y carreteras municipales. En las vías urbanas las velocidades máximas y mínimas para vehículos de servicio público o particular será determinada y debidamente señalizada por la autoridad de Tránsito competente en el distrito o municipio respectivo.

Decreto 798 DE 2010. Por medio del cual se reglamenta parcialmente la Ley 1083 de 2006.

Ley 1702 de 2013. Creación de la Agencia Nacional de Seguridad Vial.

Resolución 2273 de 2014. Plan Nacional de Seguridad Vial 2011-2021.

Resolución 1885 de 17 de junio de 2015. Por la cual se adopta el Manual de Señalización Vial-Dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en calles, carreteras y Ciclorrutas de Colombia.

Ley 1811 de 2017. La presente ley tiene por objeto incentivar el uso de la bicicleta como medio principal de transporte en todo el territorio nacional; incrementar el número de viajes en bicicleta, avanzar en la mitigación del impacto ambiental que produce el tránsito automotor y mejorar la movilidad urbana. Los Sistemas Integrados de Transporte Masivo, Sistemas Integrados de Transporte Público, Sistemas Estratégicos de Transporte Público y Sistemas Integrados de Transporte Regional, establecerán esquemas de estacionamientos adecuados, seguros y

ajustados periódicamente a la demanda de bicicletas para que les permitan a los usuarios ingresar o conectar con diferentes sistemas de transporte.

Resolución No. 4132.010.21/82 de 2017. Por la cual se establecen normas para la prelación a la ciclo-infraestructura en la red de infraestructura vial existente del municipio de Santiago de Cali.

- Manuales nacionales e internacionales sobre diseño de infraestructura vial:

Manual de diseño geométrico. (INVIAS, 2008)

Manual de señalización vial. (Ministerio de transporte, 2015).

Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos. (Ministerio de transporte de Colombia, 2006).

Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. (Ministerio de transporte de Colombia, 2006).

Control de la velocidad: Un manual de seguridad vial para los responsables de tomar decisiones y profesionales. (Ginebra, Sociedad Global de Seguridad Vial, 2008).

Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas. (Ministerio de transporte de Colombia, 2016).

Guía técnica de auditorías e inspecciones de seguridad vial para Colombia. (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2020).

Ciclo ciudades. Manual integral de movilidad ciclista para ciudades Mexicanas. (Instituto para Políticas de Transporte y Desarrollo, México, 2011).

Urban Bikeway Design Guide. (National Association of City Transportation Officials, 2014).

Programa de gestión de la velocidad. (Alcaldía de Bogotá. 2019).

Protected Intersection Design Guide. (City of Ottawa, 2021).

Geometric design parameters for cycling infrastructure. Aleksander Buczynski. (European Cyclists' Federation, 2022).

5.2.3. MARCO TEÓRICO

VOLUMEN DE TRÁNSITO:

Aforos: usando *aforos* o conteos, se determina la cantidad de vehículos, ciclistas, pasajeros o peatones usuarios de una vía. (Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2018).

El **volumen** es el número de vehículos (o personas) que pasan por un punto durante un tiempo específico. (Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2018).

La **tasa de flujo** es la frecuencia a la cual pasan los vehículos (o personas) durante un tiempo específico menor a una hora, expresada como una tasa horaria equivalente. (Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2018).

La **demanda** es el número de vehículos (o personas) que desean viajar y pasan por un punto durante un tiempo específico. Donde existe congestión, la demanda es mayor que el volumen actual, ya que algunos viajes se desvían hacia rutas alternas y otros simplemente no se realizan debido a las restricciones del sistema vial. (Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2018).

La **capacidad** es el número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto durante un tiempo específico. Es una característica del sistema vial, y representa su oferta. En un punto, el volumen actual nunca puede ser mayor que su capacidad real, sin embargo, hay situaciones en las que parece que esto ocurre precisamente debido a que la capacidad es estimada o calculada mediante algún procedimiento y no observada directamente en campo. (Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2018).

Como puede observarse, la demanda es una medida del número de vehículos (o personas) que esperan ser servidos, distinto de los que son servidos (volumen) y de los que pueden ser servidos (capacidad). (Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2018).

El **volumen de tránsito** se define como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un periodo determinado, y se expresa como:

$$Q = N/t, \quad \text{donde:}$$

Q: vehículos que pasan por unidad de tiempo (vehículos/periodo).

N: número total de vehículos que pasan (vehículos).

t: periodo determinado (unidades de tiempo).

(Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2018).

Tránsito horario (TH): es el número total de vehículos que pasan durante una hora.

(Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2018).

Tránsito en un período inferior a una hora (Qi): es el número total de vehículos que pasan durante un período inferior a una hora. En este caso $t < 1$ hora y donde i, por lo general, representa el período en minutos. Así por ejemplo, Q15 es el volumen de tránsito total en 15 minutos. (Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2018).

Volumen horario de máxima demanda (VHMD): es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o de una calzada durante 60 minutos consecutivos. Es el representativo de los períodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día en particular. (Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2018).

Uso de los volúmenes de tránsito:

De una manera general, los datos sobre volúmenes de tránsito son ampliamente utilizados en los siguientes campos:

- Desarrollo de programas de mantenimiento, mejoras y prioridades.
- Caracterización de flujos vehiculares.
- Zonificación de velocidades.
- Necesidad de dispositivos para el control del tránsito.
- Cálculo de índices de accidentes y mortalidad.
- Evaluación de mejoras por seguridad.
- Análisis e investigación en el campo de los accidentes y la seguridad.

Específicamente los *Volúmenes de tránsito horario (TH)* se usan para:

- Determinar la longitud y magnitud de los períodos de máxima demanda.
- Evaluar deficiencias de capacidad.
- Establecer controles en el tránsito, como: colocación de señales, semáforos y marcas viales; jerarquización de calles, sentidos de circulación y rutas de tránsito; y prohibición de estacionamiento, paradas y maniobras de vueltas.
- Proyectar y rediseñar geométricamente calles e intersecciones.

(Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2018).

VELOCIDAD:

Velocidad en general: el término velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Es decir, para un vehículo representa su relación de movimiento, usualmente expresada en kilómetros por hora (km/h). (Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2018).

Para el caso de una velocidad constante, ésta se define como una función lineal de la distancia y el tiempo, expresada por la fórmula:

$$V = d/t, \quad \text{donde:}$$

V: velocidad constante (kilómetros por hora).

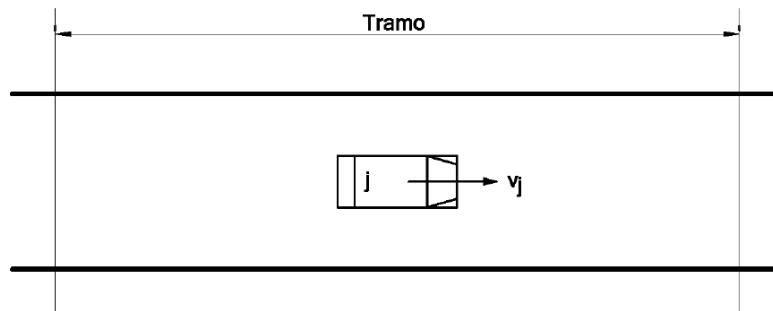
d: distancia recorrida (kilómetros).

t: tiempo de recorrido (horas).

(Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2018).

Velocidad instantánea: de acuerdo con la siguiente figura, la velocidad instantánea de un vehículo j , es la velocidad v_j cuando se encuentra circulando a lo largo de un tramo de una carretera o de una calle en un instante dado.

Figura 1: Velocidad instantánea.



Fuente: Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2018.

Velocidad media espacial: es la media aritmética de las velocidades instantáneas de todos los vehículos que en un instante dado se encuentran en un tramo de carretera o calle. Se dice entonces, que se tiene una distribución espacial de velocidades instantáneas. (Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2018).

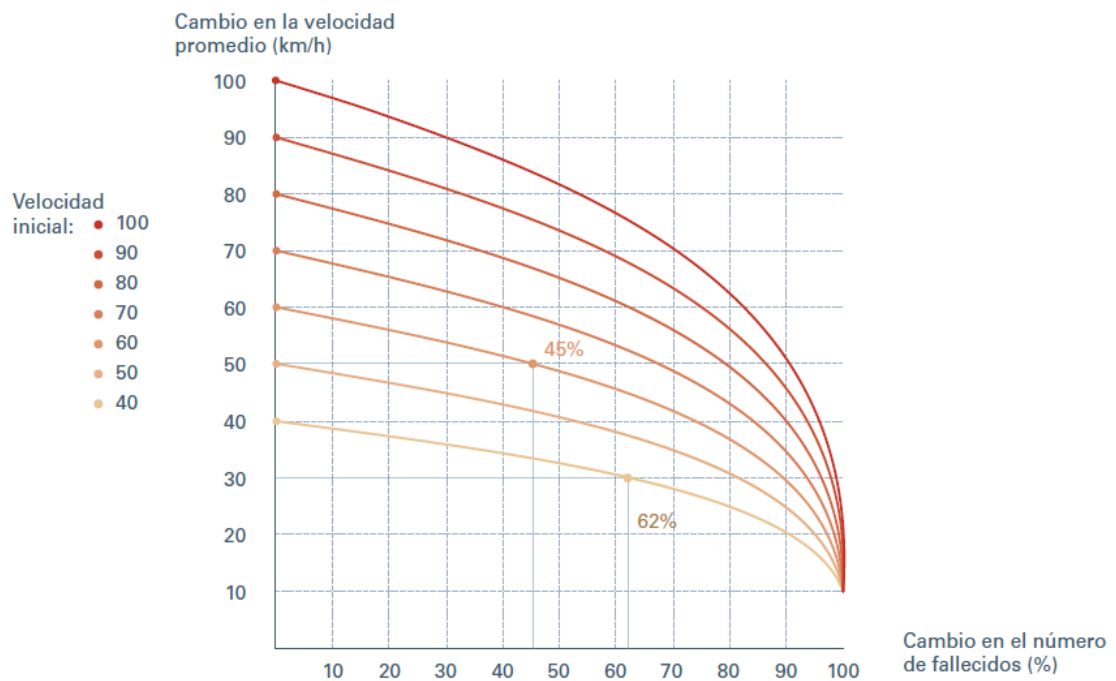
Límites máximos de velocidad según normas nacionales:

El Código Nacional de Tránsito Terrestre (Ley 769 de 2002) establece un límite de velocidad máximo para vías urbanas de 80 km/h (art. 106 modificado por el art. 1º, Ley 1239 de 2008, modificado por el art. 1º, Decreto Nacional 15 de 2011), sin embargo precisa que «la autoridad local debe establecer los límites de velocidad de forma sectorizada, razonable, apropiada y coherente con el tráfico vehicular», lo que faculta a los entes territoriales para establecer la velocidad máxima permitida por medio de la señalización. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2019). Esta velocidad límite para ciudades colombianas supera a la recomendada para zonas urbanas según la OMS: 50km/h, salvo lugares con alta presencia de peatones y ciclistas, donde la misma organización recomienda un límite máximo de 30km/h.

Relación entre velocidad y siniestros fatales:

En la siguiente figura se relaciona la velocidad promedio con el número de fallecidos.

Figura 2. Elasticidades entre cambio en velocidad promedio y número de fallecidos en una vía.



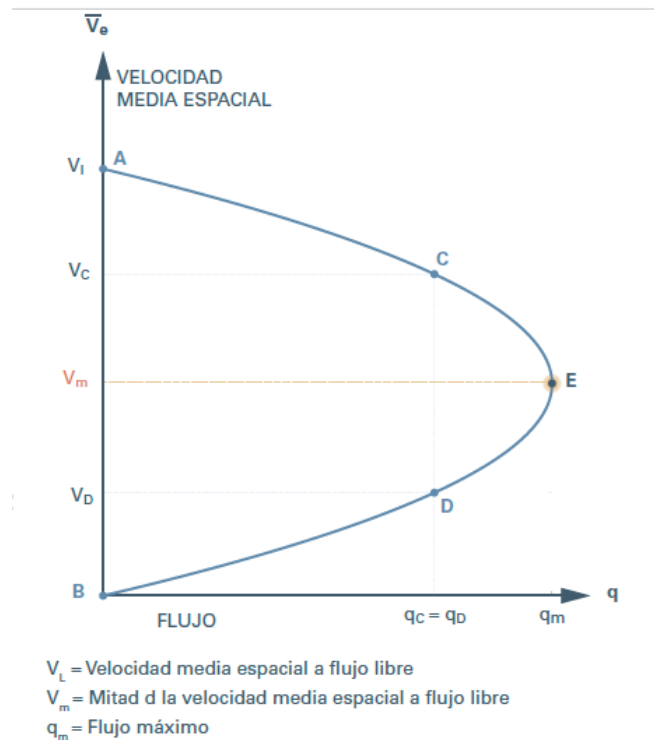
Fuente: WRI Ross Center, 2017 con datos de Greibe (2005).

Una de las lecturas posibles a partir de la figura anterior es: si la velocidad disminuye de 50km/h a 40km/h, se pueden reducir las víctimas fatales hasta en un 50%. La figura anterior se construyó usando más de 200 estudios mundiales sobre velocidad.

Relación entre flujo y velocidad de tránsito:

En la siguiente figura se relaciona el flujo con la velocidad media del tránsito. El flujo máximo se logra a la mitad de la velocidad a flujo libre. Esto quiere decir que al reducir la velocidad no se afecta fuertemente el flujo.

Figura 3. Relación parabólica entre flujo y velocidad de tránsito.



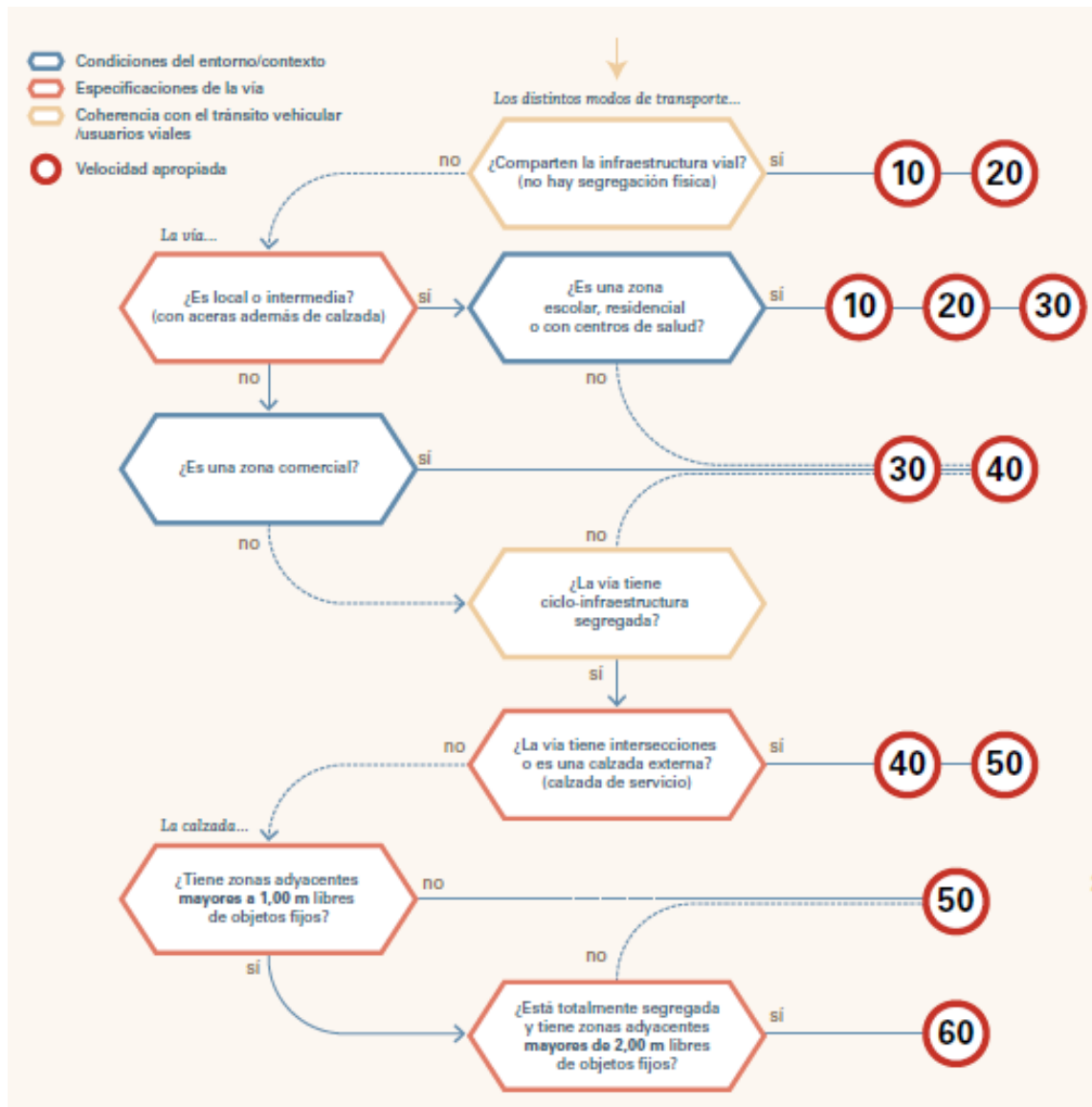
Fuente: Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2018.

En el Programa de Gestión de la Velocidad (PGV) del año 2019, de la Alcaldía de Bogotá, se habla de dos simulaciones realizadas por la Secretaría de movilidad en vías importantes de la ciudad de Bogotá. En uno de los modelos se redujo la velocidad de flujo libre de 60km/h a 50km/h, logrando reducir el tiempo de viaje en hora pico en 1 segundo para uno de los sentidos y en 14 segundos para el otro sentido. En las horas valle también se logró una disminución en el tiempo de viaje.

La conclusión a la que se llega es que al reducir la velocidad no se afecta negativamente el flujo, por el contrario, se puede mejorar. Esto se debe a que se puede alcanzar el flujo máximo y a que la seguridad vial aumenta y con esta, muy seguramente disminuyen los siniestros viales que afectan el flujo.

En el PGV se desarrolla una metodología para establecer límites de velocidad seguros. La metodología es la siguiente:

Figura 4. Diagrama de flujo para establecer velocidades seguras.



Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá, 2019.

INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTO:

En la intersección del caso de estudio hay dos tipos de pavimento: flexible y rígido. A continuación, se resume en tablas los tipos de daños más frecuentes para pavimentos flexibles y rígidos.

Tabla 3. Tipos de daños en pavimentos flexibles.

TIPOS DE DAÑOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES			
Clasificación	Tipo de daño	Nomenclatura	Unidad de medida
FISURAS	Fisuras longitudinales	FL	m
	Fisuras transversales	FT	m
	Fisura longitudinal en junta de construcción	FCL	m
	Fisura transversal en junta de construcción	FCT	m
	Fisuras longitudinales por reflexión de juntas en placas de concreto	FJL	m
	Fisuras transversales por reflexión de juntas en placas de concreto	FJT	m
	Fisuras en medialuna	FML	m2
	Fisuras de borde	FBD	m
	Fisuras en bloque	FB	m2
	Piel de cocodrilo	PC	m2
	Fisura por deslizamiento de capas	FDC	m2
	Fisuración incipiente	FIN	m2
DEFORMACIONES	Ondulación	OND	m2
	Abultamiento	AB	m2
	Hundimiento	HUN	m2
	Ahuellamiento	AHU	m2
PÉRDIDAS DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA	Descascaramiento	DC	m2
	Baches	BCH	m2
	Parche	PCH	m2
DAÑOS SUPERFICIALES	Desgaste superficial	DSU	m2
	Pérdida de agregado	PA	m2
	Pulimientto del agregado	PU	m2
	Cabezas duras	CD	m2
	Exudación	EX	m2
	Surcos	SU	m2
OTROS DAÑOS	Corrimiento vertical de la berma	CVB	m
	Separación de la berma	SB	m
	Afloramiento de finos	AFI	#
	Afloramiento de agua	AFA	m

Fuente: Ministerio de transporte de Colombia, 2006. Elaboración propia.

Tabla 4. Tipos de daños en pavimentos rígidos.

TIPOS DE DAÑOS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS			
Clasificación	Tipo de daño	Nomenclatura	Unidad de medida
GRIETAS	Grietas de esquina	GE	m
	Grietas longitudinales	GL	m
	Grietas transversales	GT	m
	Grietas en los extremos de los pasadores	GP	m
	Grietas en bloque o fracturación múltiple	GB	m2
	Grietas en pozos y sumideros	GA	m2
DAÑOS EN JUNTAS	Separación de juntas longitudinales	SJ	m
	Deterioro del sello junta longitudinal	DSL	m
	Deterioro del sello junta transversal	DST	m
DETERIOROS SUPERFICIALES	Desportillamiento de juntas longitudinales	DPL	m
	Desportillamiento de juntas transversales	DPT	m
	Descascaramiento	DE	m2
	Desintegración	DI	m2
	Baches	BCH	m2
	Pulimientto	PU	m2
	Escalonamiento de juntas longitudinales	EJL	m
	Escalonamiento de juntas transversales	EJT	m
	Levantamiento localizado junta longitudinal	LEL	m2
	Levantamiento localizado junta transversal	LET	m
	Parches	PCHA-PCHC	m2
	Hundimientos o asentamientos	HU	m2
OTROS TIPOS DE DETERIORO	Fisuración por retracción o tipo malla	FR	m2
	Fisuras ligeras de aparición temprana	FT	m2
	Fisuración por durabilidad	FD	m2
	Bombeo sobre la junta longitudinal	BOL	m
	Bombeo sobre la junta transversal	BOT	m
	Ondulaciones	ON	m2
	Descenso de la berma	DB	m
	Separación entre la berma y el pavimento	SB	m

Fuente: Ministerio de transporte de Colombia, 2006. Elaboración propia.

SEMAFORIZACIÓN:

En toda vialidad donde exista una infraestructura ciclista se deberán colocar semáforos ciclistas en aquellas intersecciones que ya se encuentren semaforizadas para otros usuarios. En todos los casos, deben tener una altura máxima de 3.50 m. Además, deben estar sincronizados con los semáforos vehiculares, dejando de 3 a 5 segundos de preferencia para el arranque de ciclistas. (Instituto para Políticas de Transporte y Desarrollo, México, 2011).

Figura 5. Semáforos especiales para ciclistas.



Fuente: Instituto para Políticas de Transporte y Desarrollo, México, 2011.

FOTOGRAMETRÍA USANDO DRONES:

Uno de los resultados de esta investigación es un diseño (a nivel esquemático) de la intersección de estudio, donde se plantean propuestas para mejorar la seguridad vial, en especial de los ciclistas. Para lograr este objetivo, fue necesario un levantamiento de la intersección a estudiar. Se decidió usar un dron para tomar fotografías aéreas y conseguir el levantamiento.

Una de las preocupaciones al realizar el levantamiento con fotografías aéreas con dron fue la precisión. Al respecto se consultaron dos investigaciones donde se realizaron levantamientos con drones: *Levantamientos Topográficos con Drones*, artículo que aparece en el volumen 1 del año 2019 de la revista *Ciencia, Ingeniería y Desarrollo* del Tecnológico Nacional de México y la tesis de grado *Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría*

con drones al método tradicional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú. En estas investigaciones se comprueba que con el dron se logra una precisión superior al 95% en las medidas. Esta precisión es suficiente para el alcance de esta investigación, debido a que los diseños finales son esquemáticos.

El dron utilizado en esta investigación es de marca **DJI** y referencia **mini 2**. La empresa dRonde sea, de la ciudad de Cali, se encargó de tomar las fotografías y los videos.

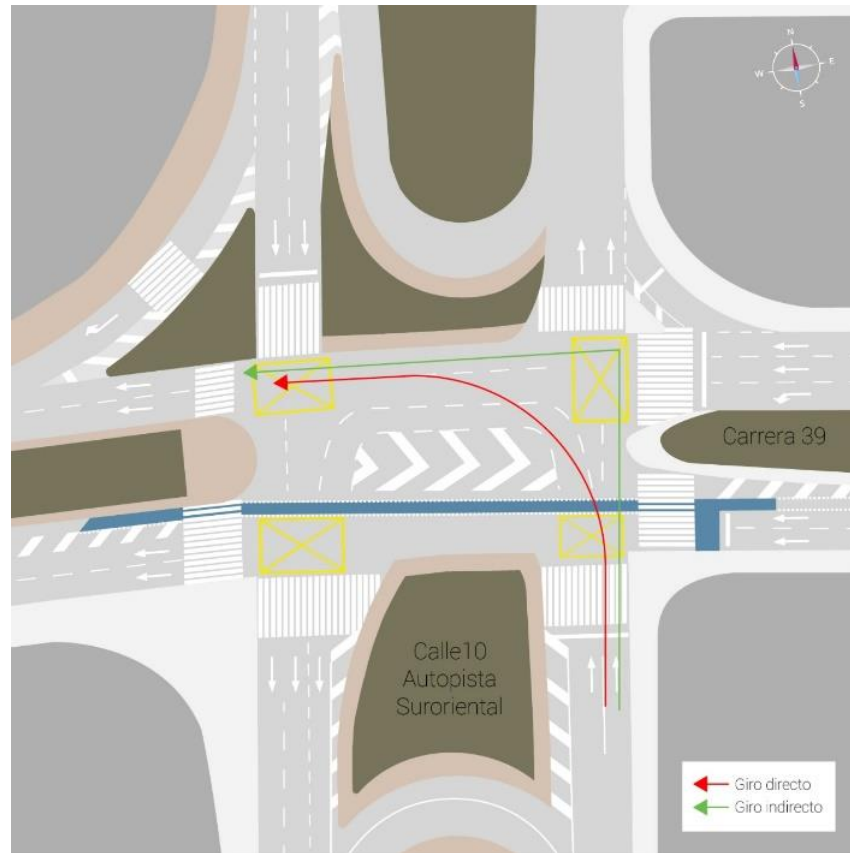
DISEÑO DE INTERSECCIONES PARA CICLISTAS:

A continuación, se presentan recomendaciones de diseño que actualmente se aplican, en el mundo, para mejorar la seguridad vial de los ciclistas en las intersecciones.

GIRO DIRECTO E INDIRECTO:

Por la intersección del caso de estudio pasa la calle 10 (Autopista suroriental). Esta es una vía de tráfico alto y grandes velocidades, muy importante para la movilidad, conecta el sur y el oriente de Cali. Los ciclistas que desean cruzar de esta calle a la carrera 39, pueden girar de forma directa o indirecta. Al respecto, la *Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas* (2016), presenta una imagen donde se ilustra esto. La imagen fue actualizada a la intersección del caso de estudio.

Figura 6. Esquema de giro directo e indirecto a la izquierda.



Fuente: Elaboración propia.

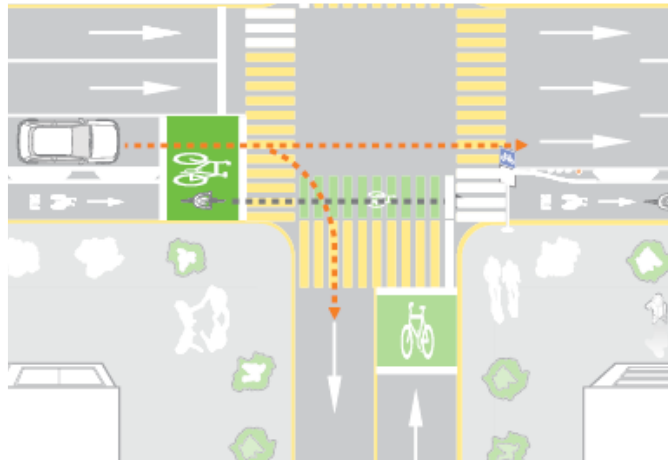
En esta guía se explica que el giro indirecto afecta la velocidad de los ciclistas, pero mejora la seguridad. Así, las próximas recomendaciones de diseño a presentar, consideran giros indirectos. Se opta por los giros indirectos no solo por el aumento de la seguridad, sino porque se le da prelación a los vehículos que transitan por la calle 10 y, como se mencionó, es una vía muy importante para la ciudad.

ÁREAS DE ESPERA CICLISTA:

Aunque en la *Guía de cicloinfraestructura para ciudades colombianas* (2016), se mencionan las *Áreas de espera ciclista*, en el tomo IV del manual mexicano *Ciclociudades* (2011), se amplía esta información: estas áreas, si se combinan con semáforos especiales para ciclistas, permiten un arranque preferencial para los ciclistas. Así, los conductores de vehículos automotores puedan ver a todos los

ciclistas que están en la intersección y los ciclistas pueden maniobrar mejor en el momento del arranque.

Figura 7. Áreas de espera ciclista.

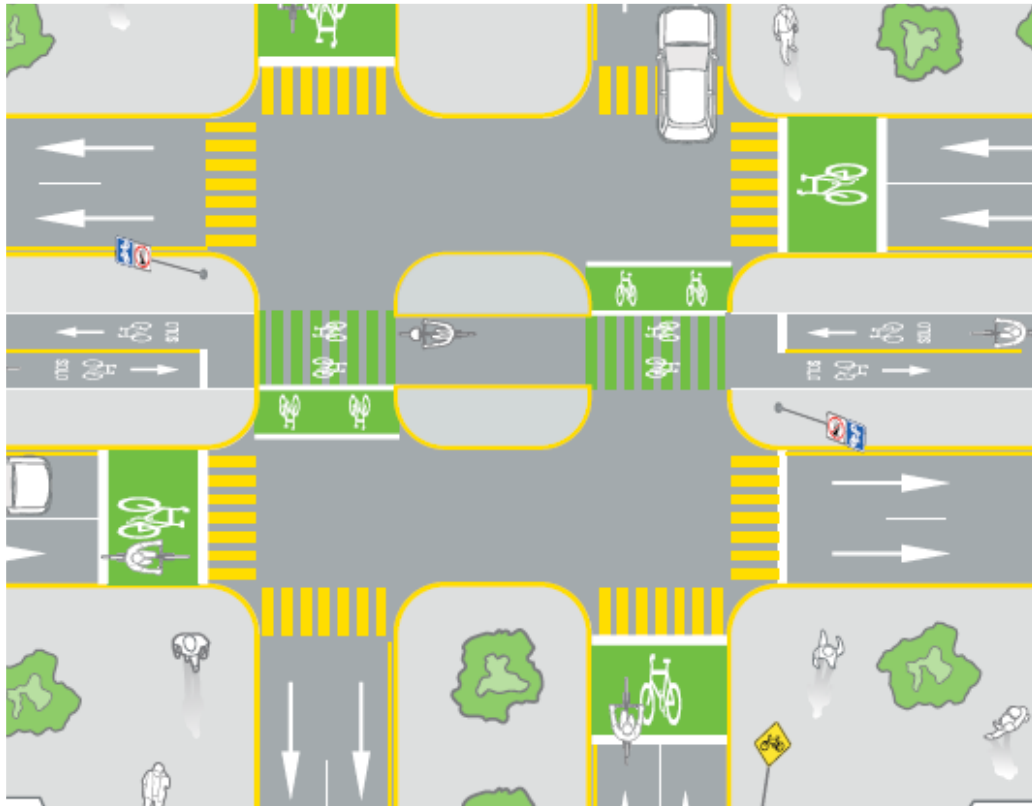


Fuente: Instituto para Políticas de Transporte y Desarrollo, México, 2011.

El diseño de Áreas de espera ciclista, se amplía aún más en la *Urban Bikeway Design Guide* (2014), donde se muestran ejemplos reales de aplicación de estas áreas, dimensiones recomendadas, señales de tránsito a instalar y tipos de pintura a usar.

La calle y la carrera que conforman la intersección del caso de estudio son vías de doble calzada. En cada calzada hay múltiples carriles. El manual *Ciclociudades* (2011) propone una recomendación de diseño seguro para ciclistas en una vialidad similar. En esta recomendación se destaca la isla ubicada en la zona central. Esta isla brinda seguridad a los ciclistas en el momento de cruzar la intersección. La siguiente imagen ilustra esta recomendación. Es importante mencionar que en la cicloinfraestructura de la intersección del caso de estudio existe una isla de espera justo en la mitad de la intersección, sin embargo, y a diferencia de la siguiente figura, está construida con elementos de segregación no permanentes.

Figura 8. Áreas de espera ciclista, incluyendo isla de espera.



Fuente: Ciclociudades. Tomo IV.

DEMARCACIÓN DE CRUCES EN LA INTERSECCIÓN:

Un elemento adicional que brinda seguridad cuando los ciclistas cruzan una intersección, es la demarcación de los cruces en la intersección. En la *Urban Bikeway Design Guide* (2014) se explican las características, dimensiones, pintura y colores que deben tener estos cruces.

Figura 9. Demarcación de los cruces en la intersección.



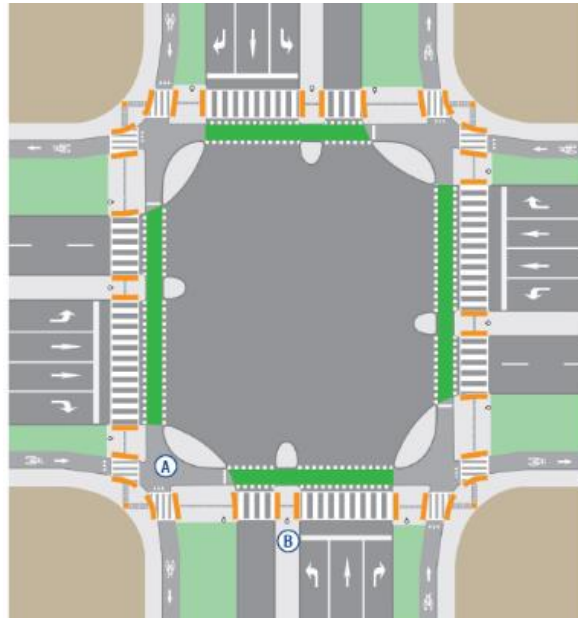
Fuente: National Association of City Transportation Officials, 2014.

Es importante mencionar que en la intersección del caso de estudio estos cruces están demarcados.

INTERSECCIONES PROTEGIDAS:

El Departamento de Servicios de Transporte de la ciudad de Ottawa, publica el libro *Protected Intersection Design Guide* (2021), una guía dedicada exclusivamente al diseño de intersecciones protegidas para peatones y ciclistas. En esta guía se propone segregar a los ciclistas totalmente cuando cruzan intersecciones. Esto se logra ubicando la ciclo infraestructura paralela y justo al lado de la cebrá por donde pasan los peatones. Adicionalmente, se crean áreas de espera ciclista en todas las esquinas de la intersección.

Figura 10. Intersección protegida con esquinas protegidas.



Fuente: City of Ottawa, 2021.

La segregación de ciclistas, al momento de cruzar la intersección, aumenta la seguridad, debido a que es en las intersecciones donde se producen más accidentes de tránsito. Sin embargo, este diseño implica giros indirectos, lo que aumenta el tiempo de recorrido en el que los ciclistas cruzan la intersección.

RADIO MÍNIMO DE CURVA HORIZONTAL:

El libro *Geometric design parameters for cycling infrastructure* (Aleksander Buczynski, 2022) compila normas de manuales de diseño de cicloinfraestructura de países europeos. En este documento se presentan los radios mínimos de curvas horizontales de cicloinfraestructura para distintos países y se recomienda aumentar el ancho de los carriles en las curvas y en los cruces. Esto por dos razones: los ciclistas que viajan a velocidades altas se inclinan mucho en las curvas y los ciclistas que viajan a velocidades bajas necesitan más espacio para equilibrarse al pedalear. En la siguiente fotografía se ve la importancia de ampliar los carriles en los cruces.

Figura 11. Radio mínimo de curva horizontal.



Fuente: European Cyclists' Federation, 2022

6. METODOLOGÍA

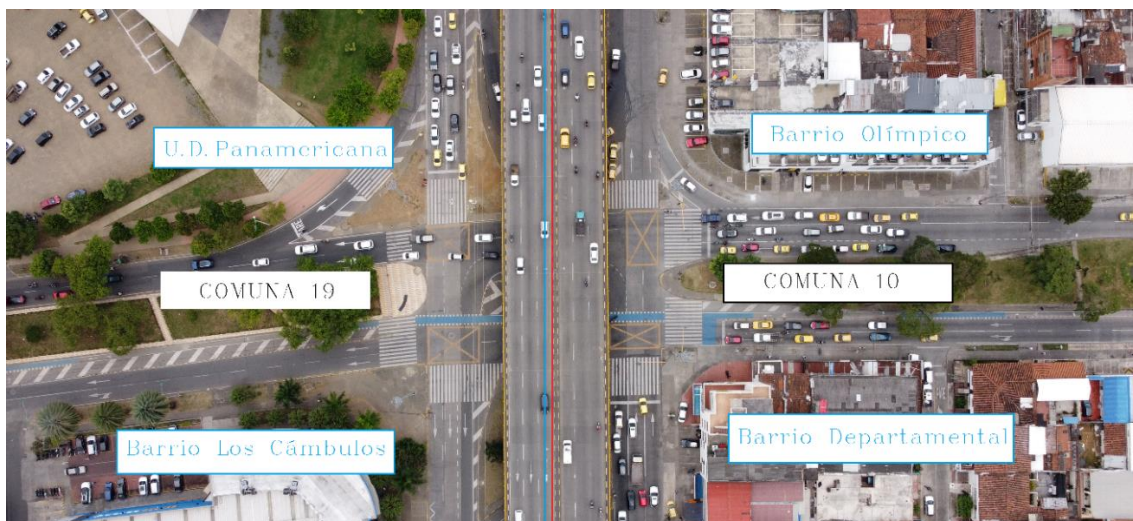
6.1. EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

6.1.1. Caracterización de la intersección de estudio

La intersección que se estudia (calle 10 con carrera 39), se encuentra en la ciudad de Santiago de Cali, capital del Departamento del Valle del Cauca, en Colombia. Santiago de Cali es una ciudad con 2.227.642 habitantes, según el censo del año 2018. Tiene una extensión de 564 km² considerando sus zonas urbana y rural. Se encuentra ubicada a una altura de 995 msnm. (Alcaldía de Santiago de Cali, 2022).

La intersección de la calle 10 (autopista suroriental) con la carrera 39 está ubicada entre las comunas 10 y 19 de la ciudad de Santiago de Cali. Las comunas están divididas por la calle 10, al lado derecho está la comuna 10 y al izquierdo la 19. Los barrios que componen la intersección son el barrio Departamental, el barrio Olímpico y el barrio Los Cámbulos. Los tres barrios están divididos por la carrera 39. Y los barrios Departamental y Los cámbulos están divididos por la calle 10. La Unidad deportiva Panamericana también limita esta intersección.

Figura 12. Localización de la intersección de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

La intersección está conformada por un paso a nivel y un paso a desnivel. Este último permite que los usuarios de la calle 10 crucen sobre un puente la carrera 39. Esta investigación se centrará únicamente en el paso a nivel, que es donde se generan la mayoría de accidentes de tránsito.

Por esta intersección se movilizan distintos tipos de vehículos. Vehículos de transporte de pasajeros interdepartamentales, intermunicipales y de transporte escolar. También vehículos de transporte de carga como: volquetas, mezcladoras de concreto y camiones. Además, vehículos particulares como: automóviles, camionetas y camperos. Y por último vehículos de dos ruedas: motocicletas y bicicletas. Sumado a esto, la intersección también es usada por peatones.

6.1.2. Accidentalidad en la intersección de estudio

Se evaluaron los datos de accidentalidad en la intersección del caso de estudio. Esta información se encontró en informes emitidos por el *Observatorio de Movilidad Sostenible y Seguridad vial*. Los informes evaluados fueron los siguientes:

Boletín anual de eventos de tránsito de los años 2016 y 2017, el *Informe de movilidad y seguridad vial* del año 2018, el *Informe Anual de eventos de tránsito* para los años 2019 y 2020, el *Anuario estadístico 2020 Siniestralidad Vial en Cali* y el *Informe anual de Calidad de Vida Cali cómo vamos* desde 2018 hasta 2020.

6.2. CAPTURA DE INFORMACIÓN

6.2.1. Accidentalidad en la intersección de estudio

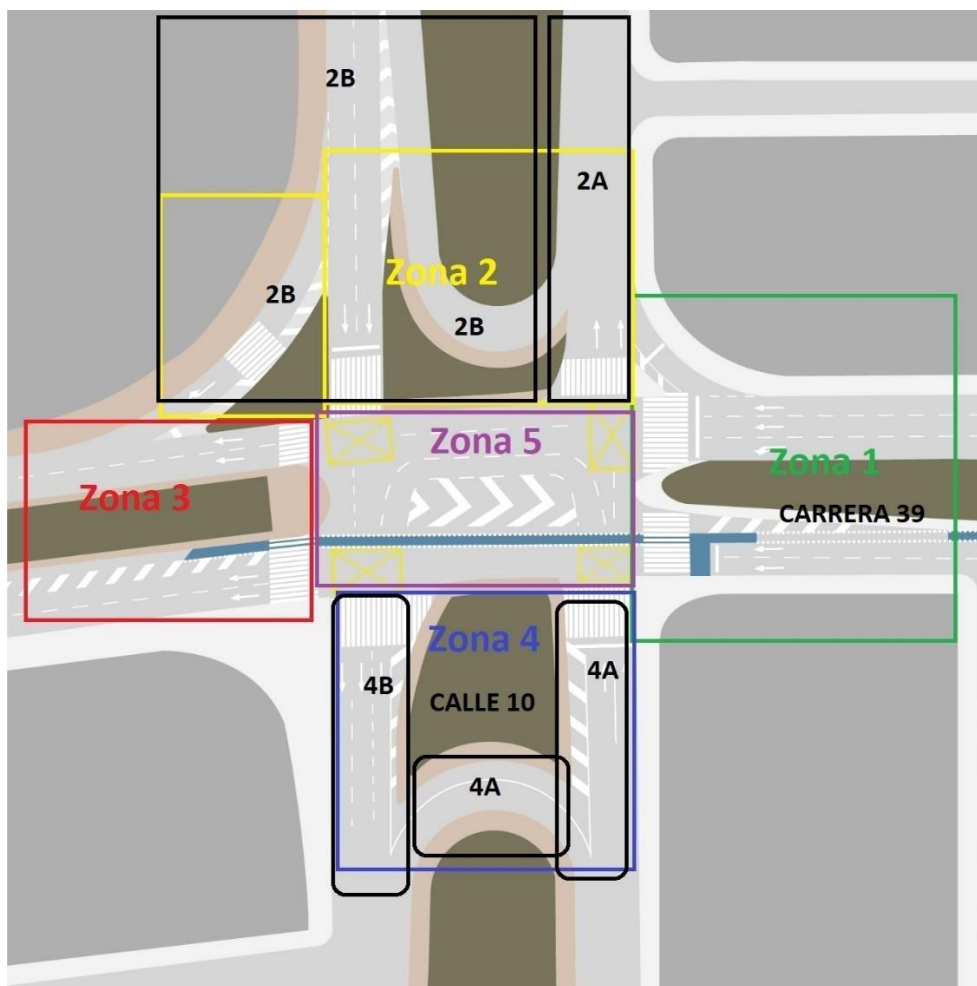
Debido a que se encontró información sobre accidentalidad en la intersección de estudio para usuarios en general, pero no para ciclistas, se diseñó y aplicó la *Encuesta sobre accidentes de tránsito de ciclistas en Cali*. El cuestionario se divulgó por las redes sociales de la Universidad del Valle (Facebook, Instagram y Twitter), el correo universitario de la Universidad del Valle, el *Boletín Ingeniería Informa* de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle y por las redes sociales de miembros de grupos ciclistas urbanos como *Cicloamigos Cali* y *EnBiciArte*.

6.3. LISTAS DE CHEQUEO

A partir de las listas de chequeo propuestas en la *Guía técnica de auditorías e inspecciones de seguridad vial para Colombia* (2020) y de las investigaciones resumidas en los Antecedentes que aparecen en este documento, se elaboraron listas de chequeo, teniendo en cuenta las características propias de la intersección del caso de estudio. Los resultados se presentan en el siguiente capítulo bajo el nombre de fichas de hallazgo y recomendaciones.

Para facilitar la comprensión de los resultados obtenidos, la intersección de estudio se dividió en 5 zonas:

Figura 13. División de la intersección de estudio en zonas.



Fuente: Elaboración propia.

Zona 1: Carrera 39 sentido Este-Oeste, antes de la intersección. Incluye calzadas izquierda, derecha, cicloinfraestructura y desvío hacia la calle 10 por la calzada derecha.

Zona 2: se divide en Zona 2A y Zona 2B.

Zona 2A: Calle 10 sentido Sur-Norte, después de la intersección. Calzada derecha.

Zona 2B: Calle 10 sentido Norte-Sur, antes de la intersección. Incluye calzada derecha, retorno y desvío hacia la carrera 39.

Zona 3: Carrera 39 sentido Este-Oeste, después de la intersección. Incluye calzadas izquierda, derecha y cicloinfraestructura.

Zona 4: se divide en Zona 4A y Zona 4B.

Zona 4A: Calle 10 sentido Sur-Norte, antes de la intersección. Incluye calzada derecha y retorno.

Zona 4B: Calle 10 sentido Norte-Sur, después de la intersección. Calzada derecha.

Zona 5: Zona central de la intersección, punto de convergencia entre la calle y la carrera.

6.4. TRABAJO DE CAMPO

6.4.1. Volúmenes en la intersección de estudio

No se consiguió información actualizada sobre volúmenes de tránsito en la intersección de estudio, ni en informes oficiales y tampoco por parte de empresas privadas consultoras. Algunos empleados de empresas consultoras informaron que no hay medición de volúmenes recientes en la intersección de estudio. Los valores que existen son anteriores al año 2005 y, por tanto, para esta investigación, son obsoletos.

Así, dado el alcance de esta investigación, se decidió limitarse a medir únicamente los volúmenes de ciclistas que pasan por la intersección de estudio. El método empleado fue aforos manuales. Se realizó una estación maestra. El investigador junto a dos ayudantes, realizó aforos durante dos días: un día típico (entre semana) y un día atípico (fin de semana). Se contabilizó el número de ciclistas que pasan por la intersección de estudio durante 12 horas seguidas: desde las 6:00 a.m. hasta las

6:00 p.m. El primer aforo se realizó el día lunes 25 de octubre de 2021 (día no festivo) y el segundo aforo se realizó el domingo 22 de noviembre de 2021. El investigador previamente a los conteos capacitó a los aforadores.

Para facilitar el conteo de ciclistas se usó la aplicación de uso libre y gratuito *Contador*, disponible para celulares con sistema operativo Android. La aplicación permite tener varias pantallas de conteo.

Figura 14. Aplicación *contador*.



Elaboración propia.

6.4.2. Velocidades en la intersección de estudio.

Al igual que los volúmenes en la intersección de estudio, los valores sobre velocidad existentes, son obsoletos para esta investigación. Así, se decidió estimar los valores de velocidad de vehículos automotores. Aplicando la teoría descrita en el ya mencionado libro de Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, los vehículos se clasificaron en *ligeros* y *pesados* y se midió la velocidad para estos dos tipos de vehículos. Los dos tipos de vehículos se distinguen así:

Los *vehículos ligeros* son vehículos de pasajeros y/o carga, que tienen dos ejes y cuatro ruedas. Se incluyen en esta denominación los automóviles, camperos, camionetas y las unidades ligeras de pasajeros y carga. (Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2019).

Los *vehículos pesados* son unidades destinadas al transporte masivo de pasajeros o carga, de dos o más ejes y de seis o más ruedas. En esta denominación se incluyen los autobuses y los camiones. (Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2019).

Se midió la velocidad instantánea con la cual los vehículos ingresan a la intersección de estudio y la velocidad instantánea con la cual los vehículos cruzan la intersección. Para ello se usaron videos tomados con un dron. Se realizaron videos durante dos días: un día típico y un día atípico. El primer día fue el viernes 4 de febrero de 2022 y el segundo día fue el domingo 6 de febrero de 2022.

Los videos se realizaron en un horario donde hay tráfico fluido, esperando que los vehículos desarrollaran su velocidad a flujo libre. El horario escogido fue a las 10:50 am. También se escogió esta hora para facilitar el vuelo del dron y lograr videos con pocas sombras. Se realizaron 4 videos tanto para el día típico como para el atípico, correspondientes a las 4 zonas de estudio en las que se dividió la intersección. Cada video tuvo una duración en promedio de 3 minutos.

La metodología para calcular la velocidad fue la siguiente: se seleccionaron tramos de vía y se midieron sus longitudes. Tras esto, se observaron los videos y se determinó el tiempo en el que los vehículos cruzaban los tramos seleccionados. Para calcular el tiempo exacto se usó el software de reproducción de videos *Avidemux*. Este programa descompone los videos en sus distintos fotogramas. Además, al reproducir los videos, permite ver el tiempo de reproducción en horas, minutos, segundos y milésimas de segundo. Estas dos razones permitieron medir el tiempo de recorrido de los tramos de forma exacta. Posteriormente se aplicó la ecuación $V = X/t$ y se calcularon las velocidades. Únicamente se calcularon las máximas velocidades, esto se determinó visualmente, observando en los videos los vehículos que más rápido recorrían los tramos.

6.4.3. Evaluación del comportamiento de ciclistas en la intersección de estudio

El comportamiento de los ciclistas al cruzar la intersección de estudio se evaluó observando desde distintas perspectivas: desde la intersección a desnivel, con videos y fotografías aéreas con dron y desde la calle y carrera que componen la intersección de estudio.

Se evaluaron las distintas formas de recorrer la intersección y el tiempo que tardan los ciclistas en cruzar la intersección.

6.5. RECOMENDACIONES DE DISEÑO

Las recomendaciones finales de diseño, que buscan mejorar la seguridad vial, en especial de ciclistas, se construyeron adaptando a las particularidades propias de la intersección de estudio, las propuestas de diseño de intersección presentadas en el marco teórico de este documento. Los libros y manuales consultados son los siguientes:

Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas. (Ministerio de transporte de Colombia, 2016).

Guía técnica de auditorías e inspecciones de seguridad vial para Colombia. (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2020).

Ciclociudades. Manual integral de movilidad ciclista para ciudades Mexicanas. (Instituto para Políticas de Transporte y Desarrollo, México, 2011).

Urban Bikeway Design Guide. (National Association of City Transportation Officials, 2014).

Programa de gestión de la velocidad. (Alcaldía de Bogotá. 2019).

Protected Intersection Design Guide. (City of Ottawa, 2021).

Geometric design parameters for cycling infrastructure. Aleksander Buczynski. (European Cyclists' Federation, 2022).

7. ANÁLISIS Y RESULTADOS

7.1. ACCIDENTALIDAD EN LA INTERSECCIÓN DE ESTUDIO

En la información sobre accidentalidad de las diferentes intersecciones, que aparece en los informes oficiales sobre accidentalidad, no se clasifican los usuarios, sino que se presentan valores de forma general. La información sobre accidentalidad en la intersección de estudio, se organizó así:

Tabla 5. Accidentes de tránsito en la intersección de estudio. Periodo 2016-2020.

Año	MUERTES	HERIDOS	SOLO DAÑOS	TOTAL	SINIESTRALIDAD
2016	0	21	26	47	Muy alto
2017	No hay información			41	Muy alto
2018	0	18	34	52	Muy alto
2019	2	14	30	46	Muy alto
2020	No hay información				Alto

Fuente: Observatorio de seguridad vial, 2016-2020. Elaboración propia.

La accidentalidad registrada en la intersección se clasificó como *Muy alta* desde el 2016 hasta el 2019. Para el 2020 la accidentalidad se clasificó en *Alta*. Estas clasificaciones y el número de eventos de tránsito registrados, muestran el alto nivel de peligro que implica cruzar esta intersección. Además, en los informes, se pudo comprobar que, desde el 2016 hasta el 2020, la intersección del caso de estudio, es una de las intersecciones con mayor siniestralidad en toda la ciudad.

A pesar de la alta siniestralidad en la intersección, no hay registros oficiales de siniestros viales ocurridos a ciclistas en esta zona. Sin embargo, grupos de ciclistas urbanos de la ciudad y ciclistas en general, informan que han sufrido accidentes en la intersección. Aquí surge una duda ¿por qué estos accidentes no se registran? Consultando con agentes de tránsito, señalan que únicamente se registran los

accidentes muy graves, cuando se debe llamar a una ambulancia. Esta forma de medir la accidentalidad para ciclistas no es la más efectiva, pues muchos accidentes “leves” no se registran.

La baja cantidad de accidentes de tránsito para ciclistas registrados en cualquier intersección durante todo un año en Santiago de Cali, es quizá una muestra de lo difícil que es medir la accidentalidad de ciclistas efectivamente. Por ejemplo: en el año 2017, la intersección con mayor siniestralidad de ciclistas fue la Calle 70 con Carrera 8, con 8 siniestros. Y en ese año, el resto de intersecciones con niveles de siniestralidad *muy altos* alcanzaron valores de 6, 4 y 3 siniestros. En el año 2018 la intersección con mayor siniestralidad tuvo 6 siniestros. En el 2019 la intersección con mayor siniestralidad tuvo 5 siniestros, incluyendo una persona fallecida. Para conocer esta información, se revisaron los siguientes informes: *Análisis de siniestralidad de Bicicletas, Enero – Diciembre. 2016 – 2017* y los informes mencionados en el capítulo anterior para la siniestralidad de usuarios en general.

Buscando medir la accidentalidad de ciclistas en la intersección de estudio, se diseñó y aplicó la *Encuesta sobre accidentes de tránsito de ciclistas en Cali*. En total, la encuesta fue diligenciada por 506 personas, de las cuales 238 han sufrido siniestros viales mientras se movilizaban en bicicleta, en los últimos cinco años, en Santiago de Cali. Los lugares con mayor siniestralidad se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6. Accidentes de tránsito de ciclistas en Santiago de Cali. Periodo 2017-2021.

Intersección	Número de siniestros viales	Intersección	Número de siniestros viales
Cl 5 Kr 36	5	Cl 13 Kr 86	3
Cl 10 Kr 39	5	Cl 14 Kr 56	3
Cl 10 Kr 44	4	Cl 16 Kr 66	3
Cl 13 Kr 66	4	Cl 44 Kr 8	3
Cl 13 Kr 70	4	Cl 5 Kr 13	3
Cl 25 Kr 86	4	Cl 5 Kr 62	3
Cl 44 Kr 1	4	Cl 62 Kr 1	3

Fuente: *Encuesta sobre accidentes de tránsito de ciclistas en Cali*. Elaboración propia.

Con los datos obtenidos en la encuesta, se creó la tabla anterior, donde solo se consideraron las intersecciones con más de tres siniestros viales. Los resultados obtenidos se contrastaron con los informes oficiales: desde el 2017 hasta el 2020 solo coincide la intersección de la Calle 44 con la carrera 8. Como hipótesis de esta baja coincidencia se consideran la aleatoriedad de las personas encuestadas y la ya mencionada baja efectividad con la cual se miden oficialmente los siniestros de ciclistas en la ciudad de Cali. Sin embargo, de la encuesta se rescata, por una parte, la captura de datos sobre siniestralidad de ciclistas en la intersección del caso de estudio.

Accidentalidad en Santiago de Cali y su relación con la intersección de estudio:

En el *Anuario estadístico 2020. Siniestralidad Vial en Cali*, se presenta una *Matriz de interacciones de fatalidades acumulada 2016-2020*. En esta matriz se ven los ciclistas que han muerto al interactuar con distintos vehículos automotores: 19 ciclistas murieron en siniestros con vehículos de transporte de carga, 54 con vehículos de transporte de pasajeros, 22 con automóviles, 62 con motocicletas y 5 al chocar con un objeto fijo. Al sumar las muertes por distintos vehículos automotores, de más de dos ruedas, se logra un total de 95 ciclistas muertos.

La anterior información es de toda la ciudad de Cali. Sin embargo, permite dimensionar que, en el periodo estudiado, los motociclistas son los usuarios que generan más accidentes de tránsito para el resto de usuarios en general y también para los ciclistas. Estos datos permiten tomar decisiones al establecer medidas para mejorar la seguridad vial.

Otra información importante que se presenta en el *Anuario estadístico 2020. Siniestralidad Vial en Cali*, es el mapa de *Corredores críticos de mortalidad por tránsito entre los años 2016 al 2020*. En una tabla adjunta al mapa, se puede ver que en el corredor de la Calle 10 hubo 40 siniestros fatales en el periodo estudiado. En el mapa aparecen los corredores en diferentes colores. Aunque la carrera 39 no

aparece en la tabla adjunta, este corredor aparece con color naranja, indicando que hubo de 37 a 59 siniestros viales fatales en este corredor en el periodo estudiado.

7.2. VOLÚMENES DE CICLISTAS EN LA INTERSECCIÓN DE ESTUDIO

Los resultados de los aforos se resumen en las siguientes tablas:

Tabla 7. Número de ciclistas que usan la intersección de estudio en un día típico.

AFORO # 1					Eventos atípicos:				
LUGAR:	Carrera 39 con Calle 10, Cali				Siniestro vial (10:01 a.m.): entre motociclista y conductor de camión. Motociclista va por la ciclorruta de la carrera 39. El camión va por la calzada izquierda de la carrera 39 y en la intersección busca cambiar a la calzada derecha. Es en este momento cuando ocurre el accidente, solo con daños materiales.				
FECHA:	25 Octubre de 2021.								
AFORADORES:	Diego, Johan, Favio								
HORARIO:	6:00 a.m. - 6:00 p.m.								
VÍA	AUTOPISTA SUR				VÍA	CARRERA 39			COMPORTAMIENTO ATÍPICO
SENTIDO	Sur - Norte	Sur - Norte	Norte - Sur	Norte - Sur	SENTIDO	Este - Oeste	Este - Oeste	Este - Oeste	
NIVEL	A Nivel	A Desnivel	A Nivel	A Desnivel	CALZADA	Derecha	Izquierda	Izquierda	
TIPO VIALIDAD	Carril automotores	Carril automotores	Carril automotores	Carril automotores	TIPO VIALIDAD	Carril automotores	Ciclobanda	Ciclobanda (Contravía)	
TOTAL	337	38	1173	33		588	887	840	44
TOTAL	375		1206			1727			
GRAN TOTAL					3940				

Fuente: Estación maestra. Elaboración propia

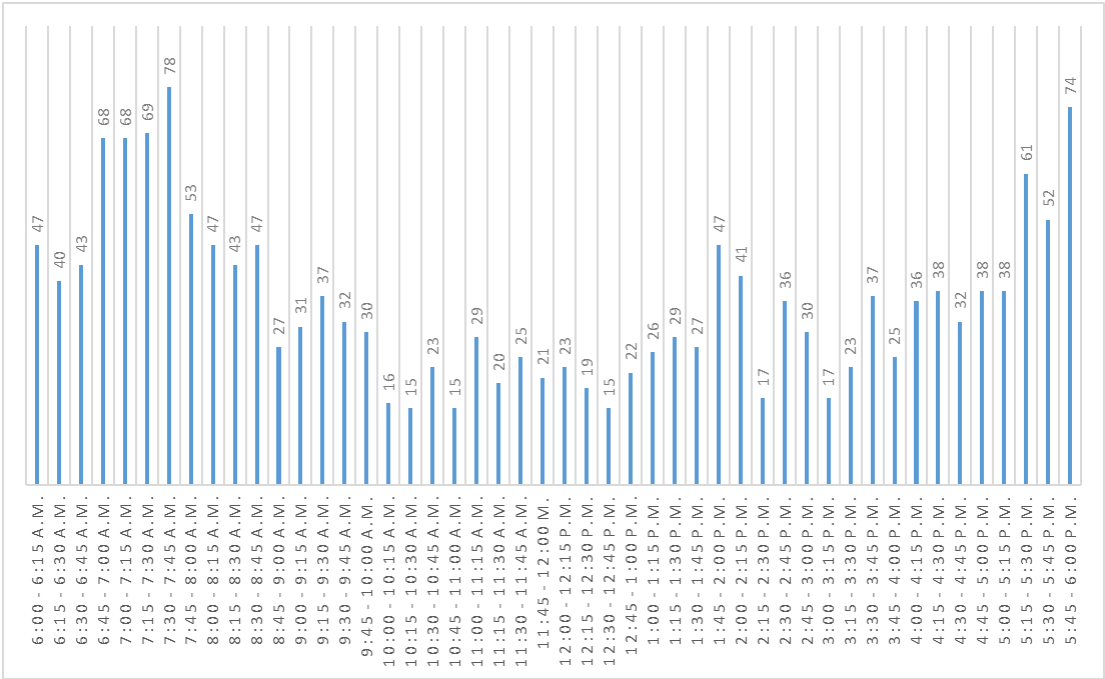
Tabla 8. Número de ciclistas que usan la intersección de estudio en un día atípico.

AFORO # 2				Eventos atípicos:					
LUGAR:	Carrera 39 con Calle 10, Cali			A las 8:00 a.m. pasa un grupo de gente corriendo, más de 100 personas. Esta aglomeración afecta el flujo normal de los vehículos motorizados y las bicicletas. El evento dura aproximadamente 10 minutos.					
FECHA:	22 Noviembre de 2021.								
AFORADORES:	Anthony, Daniel, Favio.								
HORARIO:	6:00 a.m. - 6:00 p.m.								
VÍA	AUTOPISTA SUR				VÍA	CARRERA 39			COMPORTAMIENTO ATÍPICO
SENTIDO	Sur - Norte	Sur - Norte	Norte - Sur	Norte - Sur	SENTIDO	Este - Oeste	Este - Oeste	Este - Oeste	
NIVEL	A Nivel	A Desnivel	A Nivel	A Desnivel	CALZADA	Derecha	Izquierda	Izquierda	
TIPO VIALIDAD	Carril automotores	Carril automotores	Carril automotores	Carril automotores	TIPO VIALIDAD	Carril automotores	Ciclobanda	Ciclobanda (Contravía)	
TOTAL	179	16	147	9		163	1032	1006	93
TOTAL	195		156			2038			
GRAN TOTAL	2552								

Fuente: Estación maestra. Elaboración propia

A partir de las tablas anteriores, se puede observar que la cantidad de ciclistas que usan la ciclobanda en contravía es muy similar a la cantidad de ciclistas que usan esta vialidad en el sentido en que fue diseñada. Algo que también llama la atención es que se usó más la ciclobanda el día atípico, el domingo. A continuación, en gráficos, se relaciona el volumen de ciclistas con intervalos de tiempo de 15 minutos. Solamente se tiene en cuenta los ciclistas que pasan por la ciclobanda, en los dos sentidos: los que pasan en el sentido de diseño y los que pasan en contravía.

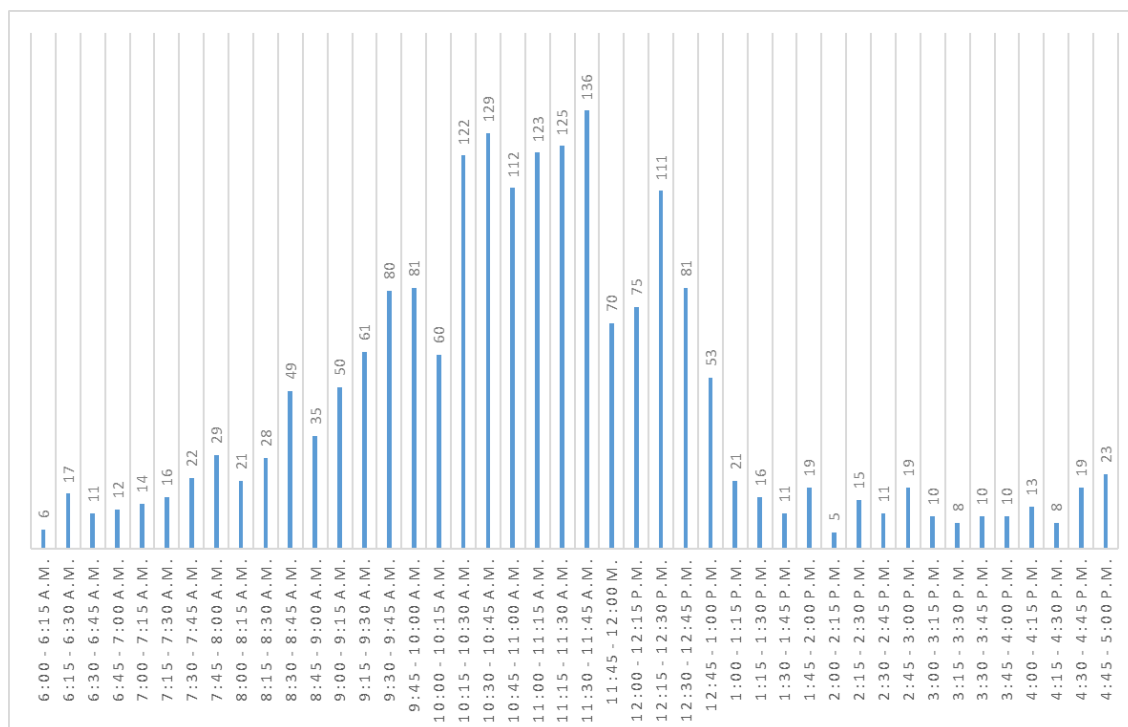
Figura 15. Variación del volumen de ciclistas en la ciclobanda, en los dos sentidos. Día típico.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que el intervalo de máxima demanda es de las 7:30 a las 7:45 a.m., momento en el cual 78 ciclistas usan la ciclobanda.

Figura 16. Variación del volumen de ciclistas en la ciclobanda, en los dos sentidos. Día atípico.



Fuente: Elaboración propia.

En el día atípico, se puede observar que el intervalo de máxima demanda es de las 11:30 a las 11:45 a.m., momento en el cual 136 ciclistas usan la ciclobanda. Cuando se realizó la estación maestra, se observó que, en algunos momentos de este intervalo, la cicloinfraestructura no era suficiente para contener a los ciclistas, quienes, a riesgo, tenían que usar el carril de los vehículos motorizados.

Es importante señalar que la estación maestra se realizó durante 12 horas seguidas y no todo el día. Tanto para el día atípico como para el día típico, se observó que antes y después del periodo de conteo, pasaban ciclistas por la intersección de estudio. Es por esta razón que los volúmenes medidos no corresponden al tránsito promedio diario.

7.3. VELOCIDADES EN LA INTERSECCIÓN DE ESTUDIO

Aplicando la metodología mencionada en el capítulo anterior, se estimaron las velocidades máximas a flujo libre en la intersección. Se usa la palabra estimaron debido a que las velocidades medidas son una muestra mínima de todas las velocidades que se pueden medir en la intersección de estudio. Los valores medidos en el día típico y atípico se resumen en las siguientes tablas:

Tabla 9. Velocidad a flujo libre en la intersección de estudio. Carrera 39.

#	Vía	Calzada	Tipo Vehículo. Clasificación general.	Tipo Vehículo. Clasificación específica.	Distancia (m)	Tiempo (s)	Velocidad (Km/h)
1	Carrera 39	Derecha	Liviano	Taxi	52,52	6,006	31,48
2	Carrera 39	Derecha	Liviano	Taxi	54,7	5,255	37,47
3	Carrera 39	Derecha	Liviano	Taxi	54,7	5,659	34,80
4	Carrera 39	Derecha	Liviano	Automóvil	52,52	4,938	38,29
5	Carrera 39	Derecha	Liviano	Motocicleta	54,7	3,904	50,44
6	Carrera 39	Derecha	Pesado	Bus	54,7	8,592	22,92
7	Carrera 39	Derecha	Pesado	MIO	54,7	9,326	21,12
Calzada derecha				Velocidad promedio		33,79	
				Velocidad máxima		50,44	
8	Carrera 39	Izquierda	Liviano	Taxi	53,36	6,056	31,72
9	Carrera 39	Izquierda	Liviano	Automóvil	53,36	6,957	27,61
10	Carrera 39	Izquierda	Liviano	Motocicleta	53,36	4,535	42,36
11	Carrera 39	Izquierda	Liviano	Camioneta	53,36	8,075	23,79
Calzada izquierda				Velocidad promedio		31,37	
				Velocidad máxima		42,36	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Velocidad a flujo libre en la intersección de estudio. Calle 10.

#	Vía	Sentido	Tipo Vehículo. Clasificación general.	Tipo Vehículo. Clasificación específica.	Distancia (m)	Tiempo (s)	Velocidad (km/h)
1	Calle 10	Sur-Norte	Liviano	Automóvil	45,35	6,189	26,38
2	Calle 10	Sur-Norte	Liviano	Automóvil	41,1	2,269	65,21
3	Calle 10	Sur-Norte	Liviano	Camioneta	41,1	2,586	57,22
4	Calle 10	Sur-Norte	Liviano	Camioneta	45,66	2,235	73,55
5	Calle 10	Sur-Norte	Liviano	Motocicleta	45,35	3,336	48,94
6	Calle 10	Sur-Norte	Liviano	Motocicleta	45,35	3,804	42,92
7	Calle 10	Sur-Norte	Liviano	Motocicleta	41,1	2,686	55,09
8	Calle 10	Sur-Norte	Pesado	Bus grande	45,35	5,689	28,70
9	Calle 10	Sur-Norte	Pesado	Bus grande	45,35	6,34	25,75
10	Calle 10	Sur-Norte	Pesado	Bus grande	41,1	2,419	61,17
11	Calle 10	Sur-Norte	Pesado	MIO	45,66	5,206	31,57
Sentido Sur-Norte				Velocidad promedio			46,95
				Velocidad máxima			73,55
12	Calle 10	Norte-Sur	Liviano	Taxi	48,55	6,74	25,93
13	Calle 10	Norte-Sur	Liviano	Automóvil	48,55	6,156	28,39
14	Calle 10	Norte-Sur	Liviano	Micro-Bus	48,55	5,088	34,35
15	Calle 10	Norte-Sur	Liviano	Motocicleta	51	4,604	39,88
16	Calle 10	Norte-Sur	Liviano	Motocicleta	51	3,971	46,24
17	Calle 10	Norte-Sur	Pesado	Camión	45,66	6,24	26,34
18	Calle 10	Norte-Sur	Pesado	MIO	48,55	5,52	31,66
Sentido Norte-Sur				Velocidad promedio			33,26
				Velocidad máxima			46,24

Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar que, generalmente, la velocidad de los motociclistas no se mide sobre un tramo recto. Esto se debe a la forma de conducción de los motociclistas, que, ante cualquier espacio, realizan maniobras de adelantamiento. Sin embargo, para este ejercicio académico, debido a que las mediciones se realizaron con tráfico bajo, los motociclistas no tenían la necesidad de realizar adelantamientos y podían recorrer la intersección de forma recta. Las motocicletas se incluyeron dentro de los vehículos livianos, pero generalmente no se incluyen en esta clasificación.

A partir de los resultados obtenidos, se observa que la velocidad de circulación reglamentaria de la vía es superada. La calle 10 en los dos sentidos: sur-norte y norte-sur, tiene señales de tránsito que reglamentan la velocidad a máximo 30km/hora. Y aunque en la carrera 39 no hay señales de tránsito que reglamenten la velocidad, debido a la alta presencia de peatones y ciclistas, según las normas colombianas, la velocidad máxima de esta vía también es 30 km/h. En las dos vialidades se superan los 30km/h. Es por esta razón que, en las recomendaciones de diseño de intersección segura para ciclistas, se proponen medidas para controlar la velocidad de los vehículos motorizados.

7.4. COMPORTAMIENTO DE CICLISTAS EN LA INTERSECCIÓN DE ESTUDIO

Para conocer el comportamiento de los ciclistas en la intersección de estudio, se observó, desde distintas perspectivas, la forma en la que cruzan la intersección.

- Fotografías desde el paso a desnivel.

Figura 17. Ciclistas cruzando la intersección usando la Ciclobanda. Cruce a riesgo, con semáforo en rojo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Cruce de ciclista a riesgo, entre el tráfico. Y uso a contraflujo de la Ciclobanda.



Elaboración propia.

- Fotografías y videos aéreos con dron.

Figura 19. Comportamiento usual de ciclistas en la intersección de estudio.



Elaboración propia.

La anterior imagen es un fotograma de uno de los videos realizados con dron en la intersección. Esta técnica permite conocer de forma casi exacta la manera en la que se comportan los ciclistas. Cuando se realizó esta toma, el investigador estaba en la intersección de estudio y pudo ver el comportamiento de los ciclistas bajo el puente, algo que obviamente no se ve en la toma aérea. En la imagen, los ciclistas están encerrados con óvalos rojos.

- Fotografías desde la intersección. (A nivel).

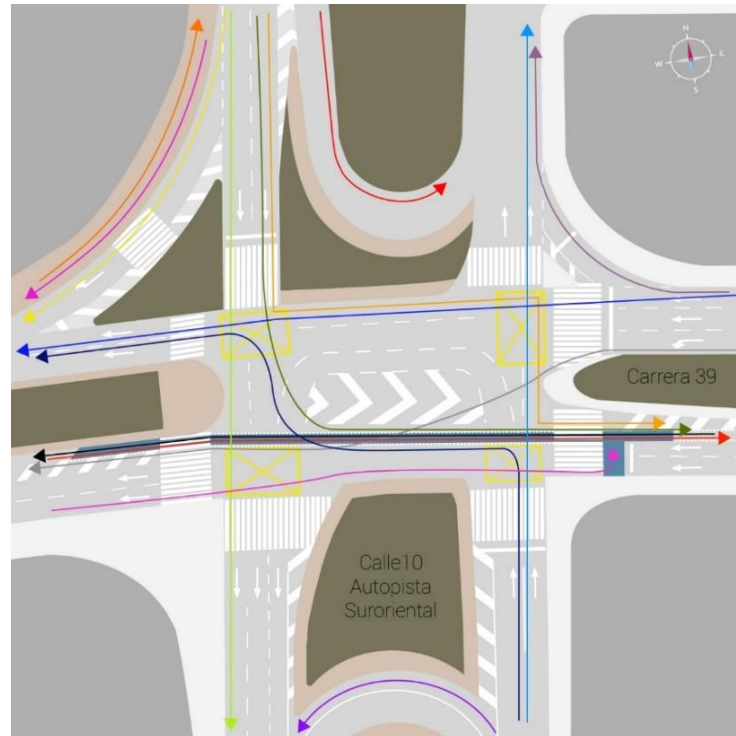
Figura 20. Ciclistas cruzando (a flujo y contraflujo) la intersección de estudio.



Elaboración propia.

Con las técnicas descritas anteriormente, se determinaron los recorridos más comunes que realizan los ciclistas al cruzar la intersección de estudio. Estos se resumen en la siguiente figura. Las flechas indican el sentido de movimiento.

Figura 21. Formas en las que los ciclistas cruzan la intersección de estudio.



Elaboración propia.

7.5. LISTAS DE CHEQUEO

Superficie de rodadura:

Para catalogar la ubicación de los daños en el pavimento, se creó una nomenclatura de ubicación basada en la nomenclatura que aparece en el *Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles* (Ministerio de transporte de Colombia, 2006). La nomenclatura se resume en la siguiente tabla. En esta tabla se habla de carriles externos o internos. Esta ubicación se considera respecto al separador que divide las calzadas. Por ejemplo, el carril más cercano al separador será el carril interno, el más lejano al separador será el carril externo.

Tabla 11. Nomenclatura de ubicación de daños en el pavimento.

Tabla 1		Tabla 2			
Zona de estudio:	Carrera 39 sentido Este-Oeste, antes de la intersección. Zona 1.	Zona de estudio:	Calle 10. Zona 2.		
Ubicación		Ubicación		Zona	Nomenclatura
Calzada derecha (tres carriles)		Calzada derecha (dos carriles)		2A	C7
Calzada izquierda (dos carriles)		Calzada derecha (tres carriles)		2B	C8
Carril calzada derecha externo		Salida derecha (dos carriles)		2B	SD
Carril calzada derecha intermedio		Carril calzada derecha externo		2A	D9
Carril calzada derecha interno		Carril calzada derecha interno		2A	D10
Carril calzada izquierda externo		Carril calzada derecha externo		2B	I8
Carril calzada izquierda interno		Carril calzada derecha intermedio		2B	I9
Carril calzada izquierda Ciclobanda		Carril calzada derecha interno		2B	I10
		Carril Salida derecha externo		2B	SD1
		Carril Salida derecha interno		2B	SD2
Tabla 3		Tabla 4			
Zona de estudio:	Carrera 39 sentido Este-Oeste, después de la intersección. Zona 3.	Zona de estudio:	Calle 10. Zona 4.		
Ubicación		Ubicación		Zona	Nomenclatura
Calzada derecha (dos carriles)		Calzada derecha (tres carriles)		4A	C5
Calzada izquierda (dos carriles)		Calzada derecha (tres carriles)		4B	C6
Carril calzada derecha externo		Carril calzada derecha externo		4A	D6
Carril calzada derecha interno		Carril calzada derecha intermedio		4A	D7
Carril calzada izquierda externo		Carril calzada derecha interno		4A	D8
Carril calzada izquierda interno		Carril calzada derecha externo		4B	I5
Carril calzada izquierda Ciclobanda		Carril calzada derecha intermedio		4B	I6
		Carril calzada derecha interno		4B	I7
Tabla 5					
Zona de estudio:	Zona 5.				
Ubicación					
Zona central					
Zona central ciclobanda					

Fuente: Elaboración propia.

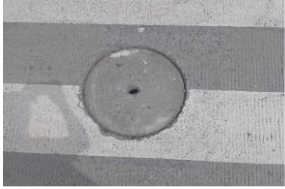
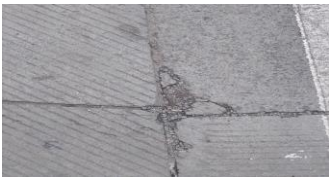
A continuación, se presentan las **Fichas de hallazgo y recomendaciones** para mejorar los problemas que tiene la superficie de rodadura en la intersección y de paso, mejorar las condiciones de seguridad vial de todos los usuarios. Hay una ficha para cada una de las cinco zonas en que se dividió la intersección.

Tabla 12. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Daños en el pavimento en la zona 1.

TABLA 1	Tipo de pavimento:	Municipio:	Santiago de Cali	Fecha de medición: Febrero 7 de 2022			
		Departamento:	Valle del Cauca				
		Dirección	Intersección Carrera 39 con Calle 10 (Autopista suroriental)				
	Rígido	Ubicación:	Carrera 39, sentido Este-Oeste. Antes de la intersección. Zona 1.				
#	Carril	Tipo	Severidad	Dimensiones			Observaciones y recomendaciones
				Largo (m)	Ancho (m)	Área (m2)	
1	C1	DST	Alta	11,75	0,03	0,35	Entrada de agua y/o material incompresible, el cambio y resellado debe ser inmediato
2	D3	DPT	Media	0,43	0,13	0,06	Reparación a mediano plazo. Posible evolución del daño a bombeo
3	D2	GA	Baja	0,56	0,05	0,03	No hay urgencia inmediata de reparación. Sin embargo, el problema puede evolucionar a futuro
4	D2	GA	Baja	0,56	0,1	0,06	No hay urgencia inmediata de reparación. Sin embargo, el problema puede evolucionar a futuro
5	D2-D3	DSL	Alta	2,4	0,2	0,48	Entrada de agua y/o material incompresible, el cambio y resellado debe ser inmediato.
6	D1	DPT	Alta	0,13	0,3	0,04	Reparación inmediata, para evitar que entre agua a la base y se produzca bombeo
7	D1	DPT	Baja	0,13	0,19	0,02	No hay urgencia inmediata de reparación. Sin embargo, el problema puede evolucionar a futuro
8	D1	DPT	Alta	0,11	0,17	0,02	Reparación inmediata, para evitar que entre agua a la base y se produzca bombeo
9	D2	DPT	Alta	0,15	0,22	0,03	Reparación inmediata, para evitar que entre agua a la base y se produzca bombeo
10	D1	GA	Media	0,25	0,02	0,01	Reparación a mediano plazo, para evitar que el daño evolucione a grietas en bloque y para evitar que se genere escalonamiento por entrada de agua
11	IC1	DE	Alta	0,42	0,21	0,09	Reparación inmediata, para evitar que el daño evolucione a bache
12	IC1-I2	GT	Alta	3,8	0,02	0,08	Reparación inmediata, para evitar que el daño evolucione a grietas en bloque y para evitar que se genere escalonamiento por entrada de agua
13	I2	DE	Alta	0,17	0,16	0,03	Reparación inmediata, para evitar que el daño evolucione a bache
			Área total afectada (m2)				1,28

Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Fotografías de daños en pavimento en la zona 1.

					
DAÑO # 1	Tipo de daño: DST	DAÑO # 2	Tipo de daño: DPT	DAÑO # 3	Tipo de daño: GA
					
DAÑO # 4	Tipo de daño: GA	DAÑO # 5	Tipo de daño: DSL	DAÑO # 6	Tipo de daño: DPT
					
DAÑO # 7	Tipo de daño: DPT	DAÑO # 8	Tipo de daño: DPT	DAÑO # 9	Tipo de daño: DPT
					
DAÑO # 10	Tipo de daño: GA	DAÑO # 11	Tipo de daño: DE	DAÑO # 12	Tipo de daño: GT
					
DAÑO # 13	Tipo de daño: DE				

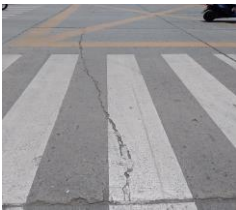
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Daños en el pavimento en la zona 2.

TABLA 2		Tipo de pavimento:		Municipio:	Santiago de Cali		Fecha de medición: Febrero 7 de 2022	
				Departamento:	Valle del Cauca			
				Dirección	Intersección Carrera 39 con Calle 10 (Autopista suroriental)			
		Rígido y flexible		Ubicación:		Calle 10. Zona 2.		
Nota: la columna carril indica si el daño está en la zona 2A o 2B.								
#	Tipo de pavimento	Carril	Tipo de daño	Severidad	Dimensiones			Observaciones y recomendaciones.
					Largo (m)	Ancho (m)	Área (m2)	
1	Flexible	D10	HUN	Alta	0,6	0,3	0,18	Profundidad mayor que 40 mm, causa vibración excesiva que puede generar un alto grado de incomodidad, haciendo necesario reducir la velocidad por seguridad. Reparación inmediata
2	Rígido	D10	DPT	Media	0,65	0,2	0,13	Reparación a mediano plazo. Posible evolución del daño a bombeo
3	Rígido	D9	GT	Media	3,4	0,02	0,07	Reparación a mediano plazo. Posible evolución del daño a a grietas en bloque
4	Rígido	D9	DST	Alta	7,1	0,1	0,71	Entrada de agua y/o material incompresible, el cambio y resellado debe ser inmediato
5	Rígido	D9	DST	Alta	7,15	0,1	0,72	Entrada de agua y/o material incompresible, el cambio y resellado debe ser inmediato
6	Flexible	D10	FCL	Media	6,8	0,04	0,27	Reparación a mediano plazo, existe probabilidad de infiltración de agua
7	Rígido	D10	PCHA / AB	Alta	0,85	0,8	0,68	Parche en concreto asfáltico mal ejecutado, se genera abultamiento. Reparación inmediata
8	Rígido	D10	GT	Alta	3,8	0,02	0,08	Reparación inmediata, para evitar que el daño evolucione a grietas en bloque y para evitar que se genere escalonamiento por entrada de agua
9	Rígido	SD	DE	Alta	14	1,1	15,40	Reparación inmediata, para evitar que el daño evolucione a bache
10	Rígido	SD	DE	Alta	10,2	7,5	76,50	Reparación inmediata, para evitar que el daño evolucione a bache
11	Flexible	SD	PCH	Alta	15,7	0,55	8,64	El parche está gravemente deteriorado, presentan daños de severidad alta y requiere ser reparado pronto
12	Rígido	I8	GL	Alta	5,7	0,03	0,17	Reparación inmediata, para evitar que el daño evolucione a grietas en bloque y para evitar que se genere escalonamiento por entrada de agua
13	Rígido	C8	GP	Alta	7,45	0,04	0,30	Reparación inmediata, para evitar que el daño evolucione a grietas en bloque y para evitar que se genere escalonamiento por entrada de agua
14	Rígido	I9	GE	Alta	5,65	0,22	1,24	Reparación inmediata, para evitar que el daño evolucione a grietas en bloque y para evitar que se genere escalonamiento por entrada de agua
				Área total afectada (m2)			105,08	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Fotografías de daños en pavimento en la zona 2.

					
DAÑO # 1	Tipo de daño: HUN	DAÑO # 2	Tipo de daño: DPT	DAÑO # 3	Tipo de daño: GT
					
DAÑO # 4	Tipo de daño: DST	DAÑO # 5	Tipo de daño: DST	DAÑO # 6	Tipo de daño: FCL
					
DAÑO # 7	Tipo de daño: PCHA / AB	DAÑO # 8	Tipo de daño: GT	DAÑO # 9	Tipo de daño: DE
					
DAÑO # 10	Tipo de daño: DE	DAÑO # 11	Tipo de daño: PCH	DAÑO # 12	Tipo de daño: GL
					
DAÑO # 13	Tipo de daño: GP	DAÑO # 14	Tipo de daño: GE		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Daños en el pavimento en la zona 3.

TABLA 3		Tipo de pavimento:		Municipio:	Santiago de Cali	Fecha de medición: Febrero 7 de 2022		
				Departamento:	Valle del Cauca			
				Dirección	Intersección Carrera 39 con Calle 10 (Autopista suroriental)			
		Rígido y flexible		Ubicación:	Carrera 39 sentido Este-Oeste, después de la intersección. Zona 3.			
#	Tipo de pavimento	Carril	Tipo de daño	Severidad	Dimensiones			Observaciones y recomendaciones
					Largo (m)	Ancho (m)	Área (m2)	
1	Rígido-Flexible	D4	FCL-FCT	Alta	11,9	0,12	1,43	Junta que separa el pavimento rígido del flexible. En la elaboración de la junta no se consideraron que las deformaciones de los dos materiales son diferentes. Reparación inmediata.
2	Flexible	D5	FL	Alta	5,65	0,03	0,17	Abertura de la fisura mayor que 3 mm, pueden presentar desportillamientos considerables y fisuras con patrones irregulares de severidad media o alta en los bordes o cerca de ellos, puede causar movimientos bruscos a los vehículos. Reparación inmediata.
3	Rígido	D4	GA	Alta	2,8	3,1	8,68	Reparación inmediata, para evitar que el daño evolucione a grietas en bloque y para evitar que se genere escalonamiento por entrada de agua
4	Flexible	C3	FT	Alta	7,3	0,02	0,15	Abertura de la fisura mayor que 3 mm, pueden presentar desportillamientos considerables y fisuras con patrones irregulares de severidad media o alta en los bordes o cerca de ellos, puede causar movimientos bruscos a los vehículos. Reparación inmediata.
5	Rígido	D5	GA	Alta	1,8	1,5	2,70	Reparación inmediata, para evitar que el daño evolucione a grietas en bloque y para evitar que se genere escalonamiento por entrada de agua
6	Flexible	C4	FCT	Alta	13,9	0,16	2,22	Abertura de la fisura mayor que 3 mm, pueden presentar desportillamientos considerables y fisuras con patrones irregulares de severidad media o alta en los bordes o cerca de ellos, puede causar movimientos bruscos a los vehículos. Reparación inmediata.
7	Flexible	C4	FCL	Alta	80	0,1	8,00	Abertura de la fisura mayor que 3 mm, pueden presentar desportillamientos considerables y fisuras con patrones irregulares de severidad media o alta en los bordes o cerca de ellos, puede causar movimientos bruscos a los vehículos.
8	Flexible	I3	FB	Alta	1,5	0,09	0,14	Bloques bien definidos por fisuras de abertura mayor que 3 mm. El daño puede evolucionar a piel de cocodrilo o descascaramiento. Reparación inmediata.
				Área total afectada (m2)			23,48	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Fotografías de daños en pavimento en la zona 3.

					
DAÑO # 1	Tipo de daño: FCL-FCT	DAÑO # 2	Tipo de daño: FL	DAÑO # 3	Tipo de daño: GA
					
DAÑO # 4	Tipo de daño: FT	DAÑO # 5	Tipo de daño: GA	DAÑO # 6	Tipo de daño: FCT
					
DAÑO # 7	Tipo de daño: FCL	DAÑO # 8	Tipo de daño: FB		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Daños en el pavimento en la zona 4.

TABLA 4		Tipo de pavimento:		Municipio:	Santiago de Cali	Fecha de medición: Febrero 7 de 2022		
				Departamento:	Valle del Cauca			
				Rígido y flexible		Dirección:	Intersección Carrera 39 con Calle 10 (Autopista suroriental)	
		Ubicación:	Calle 10. Zona 4.					
Nota: la columna carril indica si el daño está en la zona 4A o 4B.								
#	Tipo de pavimento	Carril	Tipo de daño	Severidad	Dimensiones			Observaciones y recomendaciones.
					Largo (m)	Ancho (m)	Área (m2)	
1	Rígido	C5	PCHA	Alta	11,9	3,3	39,27	Parche gravemente deteriorado, genera un abultamiento. Reparación inmediata
2	Rígido-Flexible	D7-D8	DPL	Alta	17	0,2	3,40	Junta que separa el pavimento rígido del flexible. En la elaboración de la junta no se consideraron que las deformaciones de los dos materiales son diferentes. Reparación inmediata
3	Rígido	D6	GB	Alta	7,46	1	7,46	Reparación inmediata. Posible evolución a deterioro total de la estructura y/o hundimientos
4	Rígido	I5	PCHA	Alta	7,2	0,45	3,24	Parche gravemente deteriorado. Reparación inmediata.
5	Rígido	I5	GL	Alta	2,5	0,05	0,13	Reparación inmediata. Posible evolución a fracturas múltiples de la losa y/o incremento de los escalonamientos
6	Rígido	I5	GB	Alta	3,17	1	3,17	Reparación inmediata. Posible evolución a deterioro total de la estructura y/o hundimientos
7	Rígido	I5	GL	Alta	7,3	0,04	0,29	Reparación inmediata. Posible evolución a fracturas múltiples de la losa y/o incremento de los escalonamientos
8	Rígido	I5	DST	Alta	7,15	0,05	0,36	Entrada de agua y/o material incompresible, el cambio y resellado debe ser inmediato
				Área total afectada (m2)			57,31	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Fotografías de daños en pavimento en la zona 4.

					
DAÑO # 1	Tipo de daño: PCHA	DAÑO # 2	Tipo de daño: DPL	DAÑO # 3	Tipo de daño: GB
					
DAÑO # 4	Tipo de daño: PCHA	DAÑO # 5	Tipo de daño: GL	DAÑO # 6	Tipo de daño: GB
					
DAÑO # 7	Tipo de daño: GL	DAÑO # 8	Tipo de daño: DST		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Daños en el pavimento en la zona 5.

TABLA 5		Tipo de pavimento:		Municipio:	Santiago de Cali	Fecha de medición: Febrero 7 de 2022		
				Departamento:	Valle del Cauca			
				Dirección	Intersección Carrera 39 con Calle 10 (Autopista suroriental)			
		Rígido y flexible		Ubicación:	Zona central de la intersección. Zona 5.			
#	Tipo de pavimento	Carril	Tipo de daño	Severidad	Dimensiones			Observaciones y recomendaciones
					Largo (m)	Ancho (m)	Área (m2)	
1	Rígido	ZC	GA	Alta	3,84	4,23	16,24	Reparación inmediata, para evitar que el daño evolucione a grietas en bloque y para evitar que se genere escalonamiento por entrada de agua
2	Rígido	ZC	GP	Alta	6,18	0,04	0,25	Reparación inmediata, para evitar que el daño evolucione a grietas en bloque y para evitar que se genere escalonamiento por entrada de agua
3	Rígido	ZC	DPT-DPL	Alta	44,7	0,7	31,29	Reparación inmediata, para evitar que entre agua a la base y se produzca bombeo
4	Flexible	ZC	DE	Alta	1,5	1,38	2,07	Reparación inmediata, para evitar que el daño evolucione a bache
5	Flexible	ZC	PA	Alta	22,3	6,69	149,19	Reparación inmediata. Probable evolución a descascaramiento
6	Rígido	ZC	GE	Media	4,17	0,01	0,04	Reparación a mediano plazo. Probable evolución a fracturas múltiples
7	Flexible	ZC	PA	Baja	38	13,3	505,40	Reparación a largo plazo. Probable evolución a descascaramiento
8	Rígido	ZC	GT	Alta	7,1	0,2	1,42	Reparación inmediata. Posible evolución a fracturas múltiples de la losa y/o incremento de los escalonamientos
9	Rígido	ZC	GA	Alta	7,1	0,8	5,68	Reparación inmediata, para evitar que el daño evolucione a grietas en bloque y para evitar que se genere escalonamiento por entrada de agua
10	Rígido	ZC	DST-DSL	Alta	7,2	0,05	0,36	Longitud con deficiencia de sellado mayor al 25% de la longitud de la junta, entrada de agua y/o material incompresible, el cambio y resellado debe ser inmediato
11	Rígido	ZC	GA	Alta	7,2	1,4	10,08	Reparación inmediata, para evitar que el daño evolucione a grietas en bloque y para evitar que se genere escalonamiento por entrada de agua
12	Flexible	ZC	FB	Media	2,3	1,3	2,99	El daño puede evolucionar a piel de cocodrilo o descascaramiento. Reparación a mediano plazo
13	Flexible	CC-ZCC	FL-FT	Alta	35,8	0,25	8,95	Abertura de la fisura mayor que 3 mm, pueden presentar desportillamientos considerables y fisuras con patrones irregulares de severidad media o alta en los bordes o cerca de ellos, puede causar movimientos bruscos a los vehículos. Reparación inmediata
14	Flexible	ZCC	GA	Alta	0,8	0,9	0,72	Reparación inmediata, para evitar que el daño evolucione a grietas en bloque y para evitar que se genere escalonamiento por entrada de agua
				Área total afectada (m2)			734,68	

Fuente: Elaboración propia.

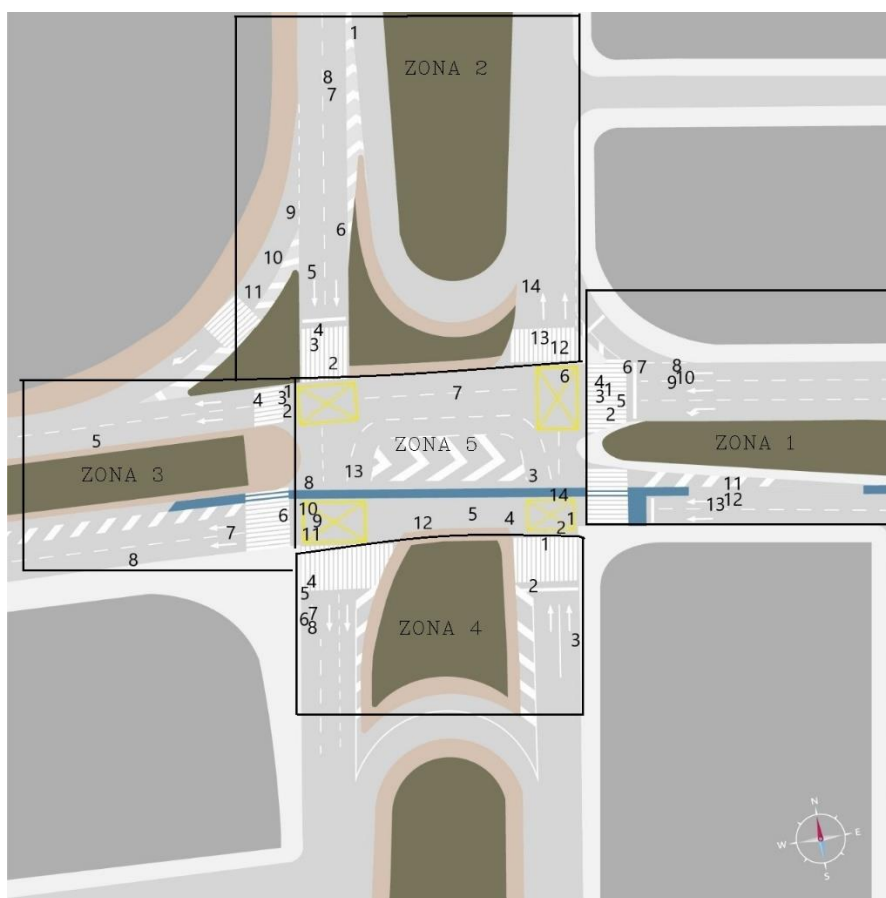
Figura 26. Fotografías de daños en pavimento en la zona 5.

					
DAÑO # 1	Tipo de daño: GA	DAÑO # 2	Tipo de daño: GP	DAÑO # 3	Tipo de daño: DPT-DPL
					
DAÑO # 4	Tipo de daño: DE	DAÑO # 5	Tipo de daño: PA	DAÑO # 6	Tipo de daño: GE
					
DAÑO # 7	Tipo de daño: PA	DAÑO # 8	Tipo de daño: GT	DAÑO # 9	Tipo de daño: GA
					
DAÑO # 10	Tipo de daño: DST-DSL	DAÑO # 11	Tipo de daño: GA	DAÑO # 12	Tipo de daño: FB
					
DAÑO # 13	Tipo de daño: FLT	DAÑO # 14	Tipo de daño: GA		

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de pavimento rígido, el *Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos* (Ministerio de transporte de Colombia, 2006), recomienda dividir la vía a estudiar en las respectivas losas que componen el pavimento. En el caso del pavimento flexible, el *Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles* (Ministerio de transporte de Colombia, 2006), recomienda localizar los daños según el abscisado de las vías a estudiar y dividir las calzadas y carriles como se mencionó anteriormente. Para este ejercicio académico se creó un esquema donde se pueden ver los distintos daños en el pavimento para cada una de las 5 zonas. La numeración corresponde a la presentada en las anteriores *Fichas de hallazgo y recomendaciones*.

Figura 27. Localización de daños en pavimento según zonas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Sistema de drenaje:

Se recorrió la intersección de estudio un día de lluvia y se comprobó que en la zona no se generan grandes empozamientos de agua que pongan en riesgo la seguridad de los usuarios de la intersección. Se observó un empozamiento relativamente pequeño después de que pasó la lluvia. A continuación, se presentan la *ficha de hallazgos y recomendaciones*.

Tabla 17. Ficha de hallazgo y recomendaciones. Sistema de drenaje.

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE			
Ubicación:	Carrera 39, sentido Este-Oeste. Antes de la intersección. Ciclobanda. Zona 1.	Ubicación:	Calle 10. Zona 4A.
Fotografía 1		Fotografía 2	
Recomendaciones:	Nivelar la rejilla de desagüe de la alcantarilla al nivel del pavimento	Recomendaciones:	Reconstruir la rejilla de desagüe.
			
Ubicación:	Calle 10. Zona 4A.	Ubicación:	Calle 10. Zona 2A.
Fotografía 3		Fotografía 4	
Recomendaciones:	Reparar el pavimento alrededor de la rejilla de desagüe	Recomendaciones:	Reconstruir la rejilla de desagüe de la alcantarilla.
			

Tabla 17. (Continuación)

Ubicación:	Carrera 39. Zona 5.	Ubicación:	Calle 10. Zona 2B.
Fotografía 5		Fotografía 6	
Recomendaciones:	Ninguna	Recomendaciones:	Ninguna
			
Imagen tomada de Google Streetview		Imagen tomada de Google Streetview	
Ubicación:	Calle 10. Zona 4B.	Ubicación:	Zona 5.
Fotografía 7		Fotografía 8	
Recomendaciones:	Nivelar la rejilla de desagüe de la alcantarilla al nivel del pavimento	Observaciones:	Esta es la única zona de la intersección donde se forman empozamientos. No es un problema de desagües, es por desgaste del pavimento.
			
Imagen tomada de Google Streetview			

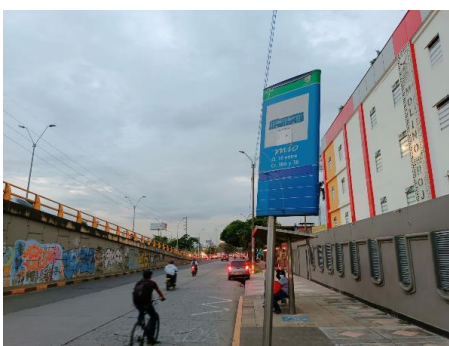
Fuente: Elaboración propia.

Durante muchas de las visitas a la intersección de estudio se encontraron muchos residuos sólidos en las vías. Para evitar que los desagües se taponen con estos residuos, se propone instalar contenedores de basura.

Cerca de la intersección de estudio, no hay desagües en la zona 3. Esto se debe a la pendiente del terreno.

Paraderos:

Tabla 18. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Paraderos en la intersección de estudio.

Ubicación:	Carrera 39, sentido Este-Oeste, calzada derecha.	Ubicación:	Calle 10. Zona 2A.
Paradero MIO	Antes de la intersección. Zona 1.	Paradero MIO	
Observaciones:	Rutas P47A y P47B	Observaciones:	Rutas: P27c y P74. La demarcación del paradero está desgastada. Reparación inmediata.
			
Ubicación:	Calle 10. Retorno. Zona 2B.	Ubicación:	Calle 10. Zona 4B.
Paradero Taxis		Paradero MIO	
Observaciones:	Paradero informal de taxis y motocicletas. Ventas ambulantes. Estos vehículos afectan el libre paso de peatones.	Observaciones:	Rutas: P27c y P74. La demarcación del paradero está desgastada. Reparación inmediata.
			
		Imagen tomada de Google Street View	
Ubicación:	Calle 10. Zona 4A.		
Observaciones:	Parada de taxis y buses en casi cualquier lugar de la intersección. Según necesidades de los usuarios. Estas paradas afectan el flujo vehicular. Importante buscar mecanismos de regulación de las paradas.		
			

Fuente: Elaboración propia.

En la anterior tabla no aparecen paraderos en dos lugares: la carrera 39 en el sentido Este-Oeste después de la intersección (zona 3) y la calle 10 en la zona 2B. La razón es que, aunque hay paraderos del MIO, están relativamente muy lejos de la intersección de estudio, están en otras intersecciones viales.

Subsistema peatonal:

A continuación, se presenta la *Ficha de hallazgos y recomendaciones*. Se especifican las diferentes zonas de estudio.

Tabla 19. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Subsistema peatonal.

Ubicación:	Carrera 39, sentido Este-Oeste, andén calzada derecha. Antes de la intersección. Zona 1.	Ubicación:	Carrera 39, sentido Este-Oeste, andén calzada derecha. Antes de la intersección. Zona 1.
Observaciones y recomendaciones:	El andén no tiene superficie podotáctil para las personas ciegas o con deficiencias visuales. Únicamente la parada del MIO está demarcada con una superficie podotáctil. Los ciclistas constantemente invaden el andén. Instalar camino podotáctil.	Observaciones y recomendaciones:	El andén tiene un ancho de 1,7 m en la zona aledaña a la intersección. La calidad de la superficie de rodadura es muy buena.
			

Tabla 19. (Continuación).

Ubicación:	Carrera 39, sentido Este-Oeste, andén calzada izquierda. Antes de la intersección. Zona 1.	Ubicación:	Carrera 39, sentido Este-Oeste, paso peatonal. Antes de la intersección. Zona 1.
Observaciones y recomendaciones:	Presencia constante de vehículos estacionados que afectan la circulación de peatones. Estado regular de la superficie de rodadura. No existe superficie podotáctil, es urgente su instalación.	Observaciones y recomendaciones:	El paso peatonal se ve interrumpido por los andenes izquierdo y derecho y por el separador, que están a un nivel superior. Se recomienda nivelar todo el paso peatonal lo antes posible, en especial por las personas con movilidad reducida.
			
Ubicación:	Calle 10, zona 2A. Andén calzada derecha y paso peatonal.	Ubicación:	Paso peatonal zona 1 y zona 2A.
Observaciones y recomendaciones:	El andén tiene un ancho de 1,7 m en la zona aledaña a la intersección. La calidad de la superficie de rodadura es muy buena, sin embargo, no hay camino con superficie podotáctil, urgente su instalación. El paso peatonal se ve afectado por bordillos, afectando en especial a las personas con movilidad reducida.	Observaciones y recomendaciones:	Los pasos peatonales, en las zonas de la vía, se deben nivelar con el separador y los andenes. Esta deficiencia en el sistema peatonal genera que las personas con movilidad reducida transiten por la vía junto a los vehículos, poniendo su vida en riesgo.
		 	

Tabla 19. (Continuación).

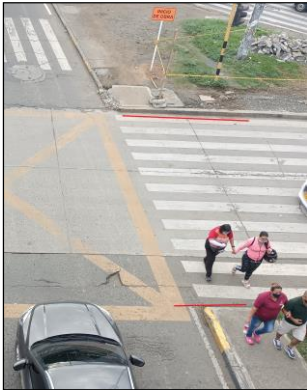
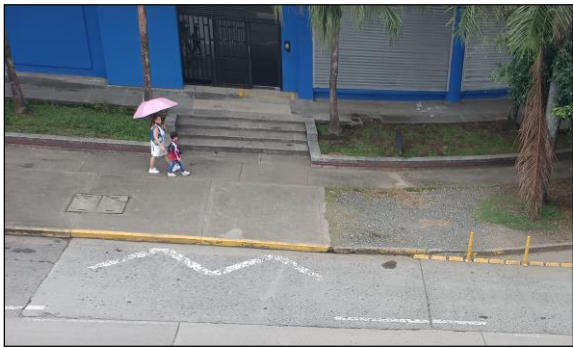
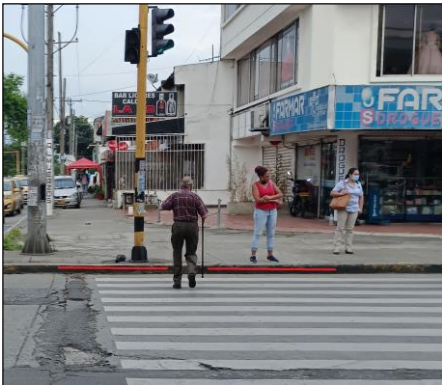
Ubicación:	Calle 10, zona 2B. Paso peatonal.	Ubicación:	Calle 10, zona 2B. Andén calzada derecha. Paso peatonal.
Observaciones y recomendaciones:	El paso peatonal está a desnivel respecto a los separadores, afectando en especial a las personas con movilidad reducida.	Observaciones y recomendaciones:	Este paso peatonal une al andén con el separador del desvío hacia la carrera 39. El paso peatonal tiene una transición correcta hacia el andén. Sin embargo, entre el paso peatonal y el separador, hay un desnivel.
			
Ubicación:	Calle 10, zona 2B. Andén calzada derecha.	Ubicación:	Carrera 39, sentido Este-Oeste, paso peatonal. Después de la intersección. Zona 3.
Observaciones y recomendaciones:	En el andén hay un camino peatonal con superficie podotáctil, sin embargo, hay presencia constante de bicicletas. En los distintos manuales se recomienda no mezclar peatones con ciclistas, pero por este andén, a partir de todas las observaciones de campo, se concluye que no se generan conflictos debido a la baja velocidad de circulación de los ciclistas.	Observaciones y recomendaciones:	En las primeras salidas a campo de esta investigación, se observó una obra de adecuación del separador. La empresa constructora usó señales de tránsito para advertir de la obra y cuando había descargue de material pesado, cerró la calzada izquierda de la carrera 39.
			

Tabla 19. (Continuación).

Ubicación:	Carrera 39, sentido Este-Oeste, paso peatonal. Después de la intersección. Zona 3.	Ubicación:	Calle 10, zona 4B.
Observaciones:	Al finalizar la obra se comprobó que instalaron un camino en superficie podotáctil, para las personas ciegas y con deficiencias visuales. También se niveló el separador con el paso peatonal en la zona de la vía. Además, se crearon andenes alrededor del separador. La obra mejoró la seguridad vial	Observaciones:	La superficie de rodadura está en muy buen estado. El ancho del andén es variable, pero en su mayoría supera los 2,5 m. No hay caminos en superficie podotáctil.
			
Ubicación:	Calle 10, zona 4A.	Ubicación:	Calle 10, zona 4A. Andén calzada derecha.
Observaciones:	El paso peatonal está a desnivel respecto a los separadores, afectando en especial a las personas con movilidad reducida.	Observaciones:	La superficie de rodadura está en muy mal estado, reparación inmediata. Aunque el ancho del andén supera los 2,5 m, automóviles y motocicletas parquean, afectando al peatón. No hay caminos en superficie podotáctil.
			

Fuente: Elaboración propia.

Iluminación:

A continuación, se presenta la *Ficha de hallazgos y recomendaciones* del sistema de iluminación. Se omiten intencionalmente algunas calzadas y andenes. Esto se debe a que la iluminación en la intersección es muy buena, en algunos sitios excelente. Se recorrió la intersección de noche desde una motocicleta, un bus del MIO, automóvil y bicicleta. En todos los vehículos se atraviesa la intersección con comodidad, debido a la muy buena iluminación.

Tabla 20. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Sistema de iluminación.

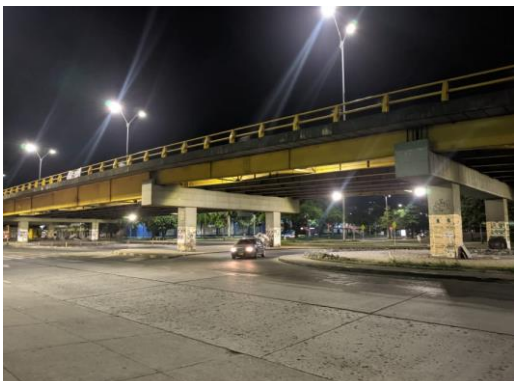
Ubicación:	Carrera 39, sentido Este-Oeste, calzada derecha. Antes de la intersección. Zona 1.	Ubicación:	Calle 10, zona 2A. Retorno: zona 2B
Observaciones:	Muy buena iluminación, tanto en la calzada como en el andén.	Observaciones:	Muy buena iluminación: en la calzada y en el retorno.
			
Ubicación:	Calle 10, zona 2B.	Ubicación:	Carrera 39, sentido Este-Oeste, calzada izquierda. Después de la intersección. Zona 3.
Observaciones:	Excelente iluminación en el paso peatonal.	Observaciones:	Excelente iluminación en el paso peatonal.
			

Tabla 20. (Continuación).

Ubicación:	Calle 10, zona 4B.	Ubicación:	Zona 5.
Observaciones:	Iluminación muy buena en el andén. Afectada levemente por los árboles.	Observaciones:	Excelente iluminación en la zona 5, es decir, bajo el puente del paso a desnivel.
			

Fuente: Elaboración propia.

Señalización vertical:

A continuación, en la *Ficha de hallazgos y recomendaciones*, se presenta el inventario de las señales verticales en la intersección. Se indica si la ubicación es adecuada o no, si el estado de la señal es bueno, regular o malo y si la visibilidad es buena, regular o mala.

Tabla 21. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Señalización vertical.

INVENTARIO SEÑALES DE TRÁNSITO VERTICALES								
Intersección de estudio:				Carrera 39 con Calle 10 (Autopista suroriental)				
Zona 1	Costado / Ubicación	#	Nomenclatura	Señal	Tipo de señal	Ubicación	Estado	Visibilidad
Carrera 39, calzada izquierda, antes de la intersección. Sentido Este-Oeste.	Derecho	1	SI-05	De dirección	Informativa	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	2	SI-05	De dirección	Informativa	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	3	SI-05	De dirección	Informativa	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	4	SI-26	Nombre de calles y nomenclatura urbana	Informativa	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	5	SI-26	Nombre de calles y nomenclatura urbana	Informativa	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	6	SI-26	Nombre de calles y nomenclatura urbana	Informativa	No adecuada	Bueno	Mala
	Izquierdo	7	SR-01	Pare	Reglamentaria	No adecuada	Regular	Regular
Carrera 39, calzada izquierda, Ciclobanda, antes de la intersección. Sentido Este-Oeste.	Derecho	8	SP-59	Ciclistas en la vía	Preventiva	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	9	SR-38	Sentido único de circulación	Informativa	Adecuada	Bueno	Buena
Carrera 39, calzada derecha, antes de la intersección. Sentido Este-Oeste.	Derecho	10	SI-30	Transporte masivo	Informativa	Adecuada	Bueno	Buena
	Elevada	11	SI-05D	Señales de preseñalización	Informativa	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	12	SI-05	De dirección	Informativa	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	13	SP-46	Zona de peatones	Preventiva	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	14	SR-32	Altura maxima permitida	Reglamentaria	Adecuada	Regular	Buena
	Izquierdo	15	SP-59B	Ubicación de cruce de ciclistas	Preventiva/cicloinfraestructura	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	16	SI-05	De dirección	Informativa	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	17	SI-26	Nombre de calles y nomenclatura urbana	Informativa	Adecuada	Bueno	Mala
	Derecho	18	SR-01	Pare	Reglamentaria	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	19	SR-01	Pare	Reglamentaria	Adecuada	Bueno	Buena
Zona 2	Costado / Ubicación	#	Nomenclatura	Señal	Tipo de señal	Ubicación	Estado	Visibilidad
Calle 10, zona 2A.	Derecho	1	SR-30A	Velocidad minima permitida	Reglamentaria	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	2	SI-30	Transporte masivo	Informativa	Adecuada	Regular	Buena
	Izquierdo	3	SMV	Señal de mensaje variable	Informativa	Adecuada	Bueno	Buena
Calle 10, zona 2B.	Derecho	4	SR-30A	Velocidad minima permitida	Reglamentaria	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	5	SP-46	Zona de peatones	Preventiva	No adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	6	SI-16	Primeros auxilios	Informativa	Adecuada	Regular	Buena
	Izquierdo	7	SR-09	Giro en "U" solamente	Reglamentaria	Adecuada	Regular	Buena
	Izquierdo	8	SP-59A	Cruce de ciclistas	Preventiva/cicloinfraestructura	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	9	SP-59A	Cruce de ciclistas	Preventiva/cicloinfraestructura	Adecuada	Bueno	Buena

Tabla 21. (Continuación).

Zona 3	Costado / Ubicación	#	Nomenclatura	Señal	Tipo de señal	Ubicación	Estado	Visibilidad
Carrera 39, después de la intersección, calzada izquierda. Sentido Este-Oeste.	Izquierdo	1	SI-05	De dirección	Informativa	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	2	SR-28	Prohibido parquear	Reglamentaria	Adecuada	Regular	Buena
Carrera 39, calzada izquierda, Ciclobanda, después de la intersección. Sentido Este-Oeste.					No hay señales de tránsito			
Carrera 39, después de la intersección, calzada derecha. Sentido Este-Oeste.	Derecho	3	SR-01	Pare	Reglamentaria	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	4	SR-01	Pare	Reglamentaria	Adecuada	Bueno	Buena
Zona 4	Costado / Ubicación	#	Nomenclatura	Señal	Tipo de señal	Ubicación	Estado	Visibilidad
Calle 10, zona 4A.	Derecho	1	SR-30A	Velocidad mínima permitida	Reglamentaria	Adecuada	Regular	Mala
	Derecho	2	SP-46	Zona de peatones	Preventiva	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	3	SR-09	Giro en "U" solamente	Reglamentaria	Adecuada	Regular	Buena
	Derecho	4	SR-30A	Velocidad mínima permitida	Reglamentaria	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	5	SP-59A	Cruce de ciclistas	Preventiva/cicloinfraestructura	Adecuada	Bueno	Buena
	Elevada	6	SR-09	Giro en "U" solamente	Reglamentaria	No adecuada	Regular	Mala
	Elevada	7	SR-32	Altura máxima permitida	Reglamentaria	No adecuada	Regular	Mala
	Izquierdo	8	SP-59A	Cruce de ciclistas	Preventiva/cicloinfraestructura	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	9	SR-30A	Velocidad mínima permitida	Reglamentaria	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	10	SR-08	Prohibido girar a la derecha	Reglamentaria	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	11	SR-05	Giro solamente a la izquierda	Reglamentaria	Adecuada	Regular	Buena
	Izquierdo	12	SR-32	Altura máxima permitida	Reglamentaria	Adecuada	Regular	Buena
Calle 10, zona 4B.	Izquierdo	13	SI-30	Transporte masivo	Informativa	Adecuada	Regular	Mala

Fuente: Elaboración propia.

Demarcaciones:

La *Ficha de hallazgos y recomendaciones*, que se presenta es análoga a la de la señalización vertical.

Tabla 22. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Demarcaciones.

INVENTARIO DEMARCACIONES							
Intersección de estudio:			Carrera 39 con Calle 10 (Autopista suroriental)				
Zona 1	Costado/Ubicación	#	Demarcación	Clasificación	Ubicación	Estado	Visibilidad
Carrera 39, calzada izquierda, antes de la intersección. Sentido Este-Oeste.	Centro	1	Línea de carril segmentado	Línea longitudinal	Adecuada	Regular	Buena
	Izquierdo	2	Línea de borde de pavimento	Línea longitudinal	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	3	Línea de borde de pavimento	Línea longitudinal	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	4	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	5	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Centro	6	Línea de detención	Línea transversal	Adecuada	Bueno	Buena
	Centro	7	Línea de cruce	Línea transversal	Adecuada	Bueno	Buena
	Centro	8	Cruce cebra	Demarcaciones para cruces	Adecuada	Bueno	Buena
Carrera 39, calzada izquierda, Ciclobanda, antes de la intersección. Sentido Este-Oeste.	Derecho	9	Líneas segmentadas de borde de calzada	Línea longitudinal	Adecuada	Bueno	Buena
	Centro	10	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Malo	Mala
	Centro	11	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Centro	12	Ciclorruta	Simbolos y leyendas	Adecuada	Malo	Mala
	Centro	13	Cruce cebra	Demarcaciones para cruces	Adecuada	Bueno	Buena
Carrera 39, calzada derecha, antes de la intersección. Sentido Este-Oeste.	Centro	14	Ciclorruta	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Centro-Izquierdo	15	Línea de carril segmentado	Línea longitudinal	Adecuada	Bueno	Buena
	Centro-Derecho	16	Línea de carril segmentado	Línea longitudinal	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	17	Línea de borde de pavimento	Línea longitudinal	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	18	Línea de borde de pavimento	Línea longitudinal	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	19	Flecha de giro	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Central	20	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	21	Flecha de frente y de giro	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Centro	22	Línea de detención	Línea transversal	Adecuada	Bueno	Buena
	Centro	23	Cruce cebra	Demarcaciones para cruces	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	24	Líneas segmentadas de borde de calzada	Línea longitudinal	Adecuada	Regular	Buena
	Izquierdo	25	Cruce con restricción de bloqueo	Demarcaciones para cruces	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	26	Líneas segmentadas de borde de calzada	Línea longitudinal	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	27	Demarcación divergente	Otras demarcaciones	Adecuada	Bueno	Buena

Tabla 22. (Continuación).

Zona 2	Costado/Ubicación	#	Demarcación	Clasificación	Ubicación	Estado	Visibilidad
Calle 10, zona 2A.	Centro	1	Cruce de cebra	Demarcaciones para cruces	Adecuada	Bueno	Buena
	Centro	2	Línea de carril segmentado	Línea longitudinal	Adecuada	Malo	Mala
	Izquierdo	3	Línea de borde de pavimento	Línea longitudinal	Adecuada	Malo	Mala
	Derecho	4	Línea de borde de pavimento	Línea longitudinal	Adecuada	Malo	Mala
	Izquierdo	5	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	6	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	7	Líneas segmentadas de borde de calzada	Línea longitudinal	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	8	Demarcación convergente	Otras demarcaciones	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	9	Demarcación de paraderos de buses	Demarcaciones para cruces	Adecuada	Regular	Mala
	Izquierdo	10	Demarcación convergente	Otras demarcaciones	Adecuada	Regular	Mala
Calle 10, zona 2B.	Centro-Derecho	11	Línea de carril segmentado	Línea longitudinal	Adecuada	Malo	Mala
	Centro-Izquierdo	12	Línea de carril segmentado	Línea longitudinal	Adecuada	Malo	Mala
	Izquierdo	13	Demarcación divergente	Otras demarcaciones	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	14	Demarcación divergente	Otras demarcaciones	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	15	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	16	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Centro	17	Línea de detención	Línea transversal	Adecuada	Bueno	Buena
Zona 3	Centro	18	Cruce de cebra	Demarcaciones para cruces	Adecuada	Bueno	Buena
	Costado/Ubicación	#	Demarcación	Clasificación	Ubicación	Estado	Visibilidad
	Centro	1	Cruce cebra	Demarcaciones para cruces	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	2	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	3	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Centro	4	Línea de carril segmentado	Línea longitudinal	Adecuada	Regular	Mala
	Izquierdo	5	Línea de borde de pavimento	Línea longitudinal	Adecuada	Regular	Mala
	Derecho	6	Línea de borde de pavimento	Línea longitudinal	Adecuada	Regular	Mala
	Derecho	7	Líneas segmentadas de borde de calzada	Línea longitudinal	Adecuada	Regular	Buena
	Derecho	8	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	9	Flecha de frente y de giro	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Carrera 39, calzada izquierda, Ciclobanda, después de la intersección. Sentido Este-Oeste.	10	Cruce cebra	Demarcaciones para cruces	Adecuada	Bueno	Buena
		11	Ciclorruta	Simbolos y leyendas	Adecuada	Regular	Mala
		12	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Regular	Mala

Tabla 22. (Continuación).

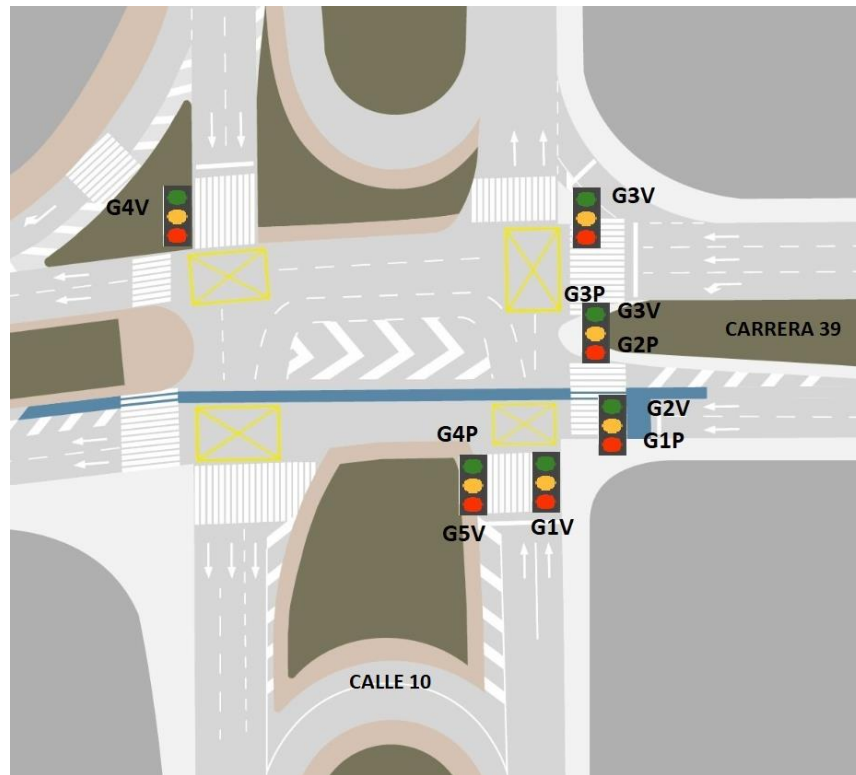
Zona 4	Costado/Ubicación	#	Demarcación	Clasificación	Ubicación	Estado	Visibilidad
Calle 10, zona 4A.	Centro-Derecho	1	Línea de carril segmentado	Línea longitudinal	Adecuada	Malo	Mala
	Centro-Izquierdo	2	Línea de carril segmentado	Línea longitudinal	Adecuada	Malo	Mala
	Izquierdo	3	Línea de borde de pavimento	Línea longitudinal	Adecuada	Malo	Mala
	Derecho	4	Línea de borde de pavimento	Línea longitudinal	Adecuada	Malo	Mala
	Izquierdo	5	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	6	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Centro	7	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Centro	8	Línea de detención	Línea transversal	Adecuada	Bueno	Buena
	Centro	9	Cruce de cebra	Demarcaciones para cruces	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	10	Demarcación divergente	Otras demarcaciones	Adecuada	Bueno	Buena
Calle 10, zona 4B.	Centro	1	Cruce de cebra	Demarcaciones para cruces	Adecuada	Bueno	Buena
	Izquierdo	2	Líneas segmentadas de borde de calzada	Línea longitudinal	Adecuada	Bueno	Buena
	Centro-Derecho	3	Línea de carril segmentado	Línea longitudinal	Adecuada	Regular	Buena
	Centro-Izquierdo	4	Línea de carril segmentado	Línea longitudinal	Adecuada	Regular	Buena
	Izquierdo	5	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	6	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Centro	7	Flecha de frente	Simbolos y leyendas	Adecuada	Bueno	Buena
	Derecho	8	Demarcación de paraderos de buses	Demarcaciones para cruces	Adecuada	Regular	Mala

Fuente: Elaboración propia.

Semaforización:

En la intersección de estudio, se identificaron 5 grupos de semáforos, los cuales tienen como función regular la circulación de los actores viales existentes (vehículos motorizados, peatones y ciclistas). El formato para nombrar los grupos es el siguiente: G + número de semáforo + V (vehículo) o P (Peatón). Los semáforos de la intersección entonces se nombran así: G1V, G2V, G3V, G4V, G5V. Adicionalmente se identificaron 4 semáforos peatonales en mal estado y sin operatividad; se nombraron así: G1P, G2P, G3P, G4P. A continuación la ubicación de los grupos semaforicos en la intersección de estudio:

Figura 28. Grupos semafóricos vehiculares y peatonales en la intersección de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Después de visitar la intersección de estudio y con ayuda de los videos capturados con dron, se construyó el siguiente diagrama de tiempos en 5 fases:

Figura 29. Diagrama de tiempos en 5 fases.

SEMÁFORO	FASE												
G1V	1												
G2V	2												
G3V	3												
G4V	4												
G5V	5												
Tiempo (s)		43	3	1	57	3	1	32	3	1	36	3	1

Fuente: Elaboración propia.

Además de lo anterior, se construyó la *Ficha de hallazgos y recomendaciones* para los semáforos de la intersección:

Tabla 23. Ficha de hallazgos y recomendaciones. Semáforos.

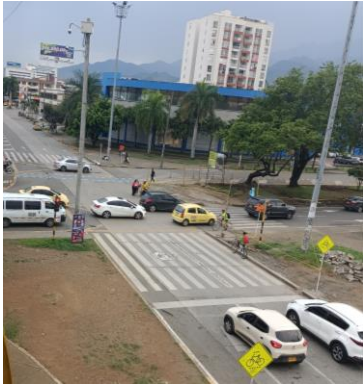
SEMÁFORO	Calle 10, zona 4A.	SEMÁFORO	Carrera 39, calzada izquierda, antes de la intersección. Sentido Este-Oeste. Zona 1.
G1V		G2V	
Observaciones y recomendaciones:	No existe semáforo para peatones. Instalación inmediata.	Observaciones y recomendaciones:	Los semáforos para peatones de esta zona existen pero no están en funcionamiento.
			
SEMÁFORO	Carrera 39, calzada derecha, antes de la intersección. Sentido Este-Oeste. Zona 1.	SEMÁFORO	Calle 10, zona 2B.
G3V		G4V	
Observaciones y recomendaciones:	Los semáforos para peatones de esta zona existen pero no están en funcionamiento. Recomendable al reparar semáforo incluir dispositivo de sonido para personas ciegas y con problemas visuales.	Observaciones y recomendaciones:	No existe semáforo para peatones. Instalación inmediata.
			

Tabla 23. (Continuación).

SEMÁFORO	Calle 10, zona 4A.	SEMÁFOROS	
G5V		G1P, G2P, G3P, G4P	
Observaciones y recomendaciones:	Ninguna	Observaciones y recomendaciones:	Los semáforos peatonales no funcionan. En fotografías los semáforos G1P y G4P. Reparación inmediata e instalación de semáforos faltantes para peatones.
			

Fuente: Elaboración propia.

Parámetros geométricos:

A Partir del *Manual de Diseño geométrico* (Instituto Nacional de Vías, 2008), Mariana Correa Montoya, construyó para su trabajo de grado *Manual de diseño de vías urbanas* (Correa Montoya, 2021), la siguiente tabla, donde se resumen los radios de giro mínimos que debe tener una curva para los distintos tipos de vehículos.

Tabla 24. Radio de giro mínimo.

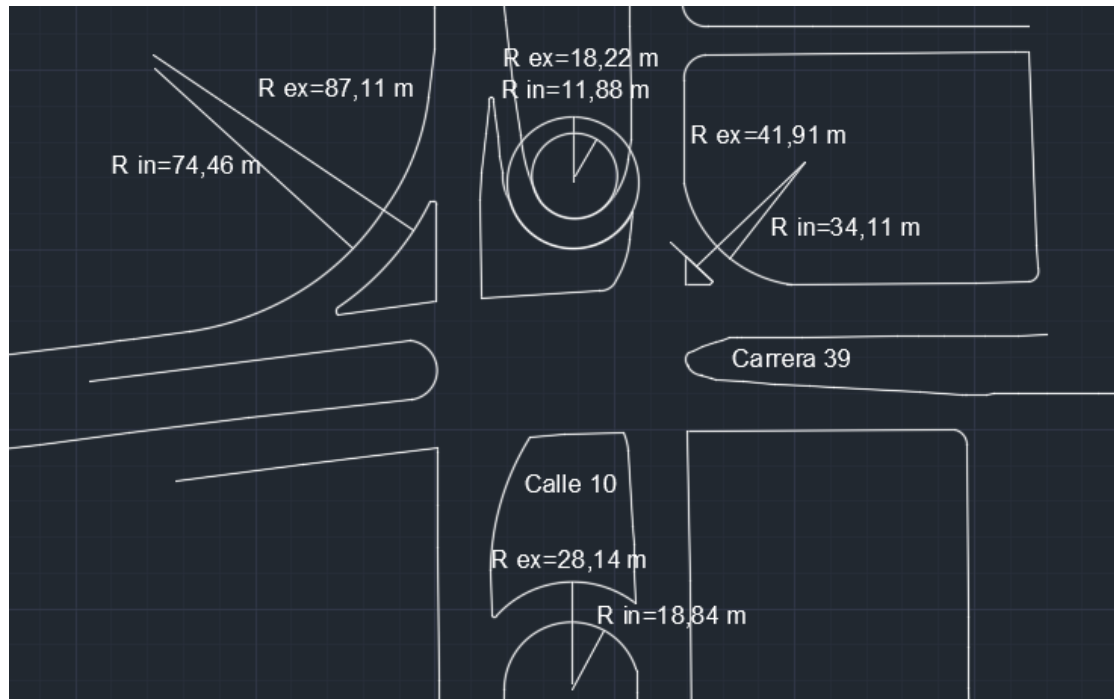
*Depende la trayectoria de la maniobra

RADIO MÍNIMO DE GIRO (m)		
Tipo de vehículo	Radio mínimo de giro	
	Interno	Externo
Automóvil	3.22	6.20
Bus	7.26	12.07
Vehículo pesado Categoría 2	7.66	12.70
Vehículo pesado Categoría 3	7.36	12.48
Vehículo pesado articulado	>5.00*	14.13

Fuente: Correa Montoya, 2021.

Del plano del levantamiento de la intersección, se midieron los radios de las curvas que componen la intersección y se compararon con los radios mínimos de la tabla anterior. La intersección de estudio cumple con los radios de giro mínimo, interno y externo, para los distintos vehículos.

Figura 30. Radios de giro mínimo en las curvas de la intersección de estudio.

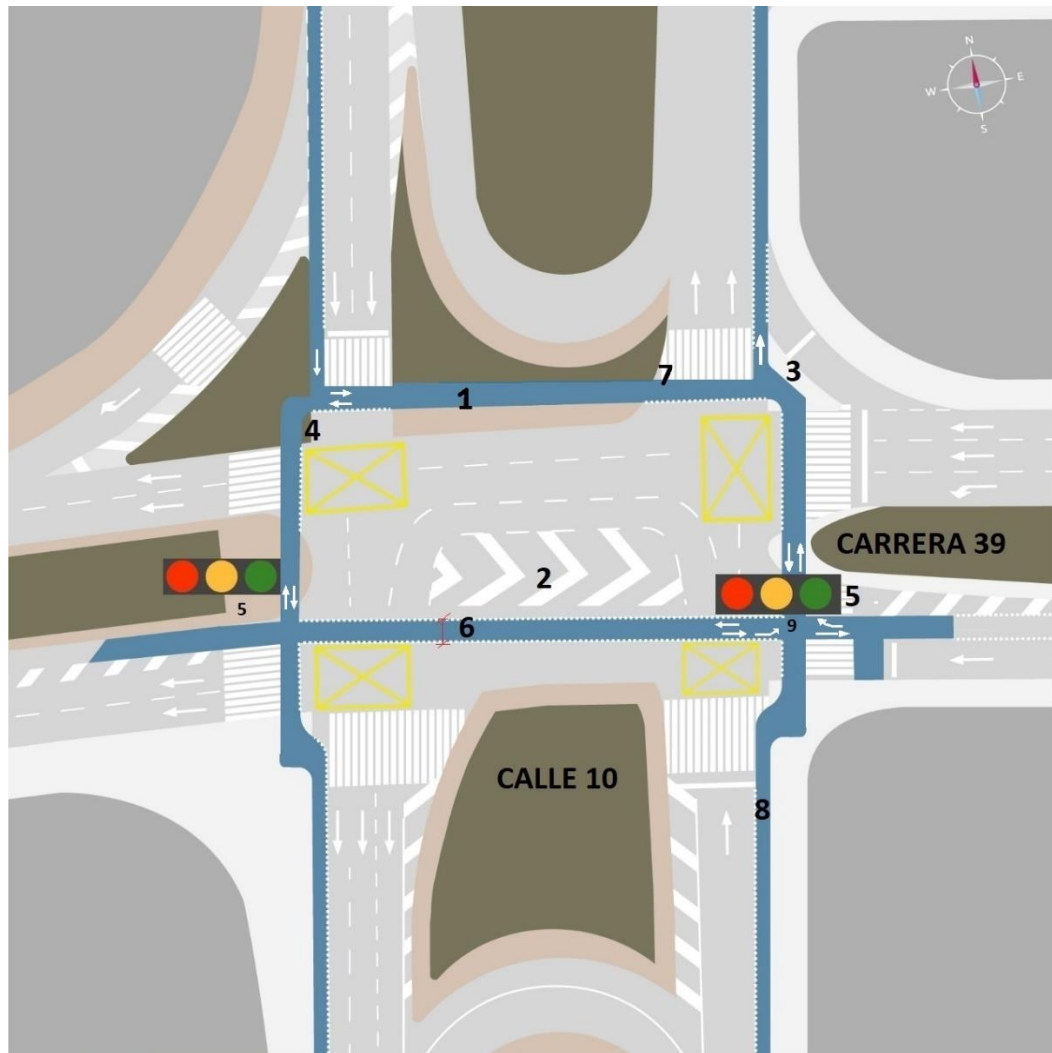


Elaboración propia.

Recomendaciones de diseño en la intersección para ciclistas:

Con los conceptos presentados en el marco teórico y las particularidades propias de la intersección, se propone el siguiente diseño de intersección para ciclistas.

Figura 31. Diseño esquemático de intersección para ciclistas.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior aparece una numeración. Cada punto se explicará a continuación:

Punto 1. Se propone un paso para ciclistas por la intersección, análogo al paso peatonal. Como se ve en la figura, la ciclovía pasa dentro de los separadores y es paralela al paso peatonal. (City of Ottawa, 2021).

Esta solución no beneficia a todos los ciclistas, porque implica más tiempo para cruzar la intersección, sin embargo, ayuda en especial a ciclistas principiantes y a

ciclistas que por distintas razones deben andar a bajas velocidades. Por sus particularidades de edad, condición física y tipo de bicicleta usada, los ciclistas se desplazan a distintas velocidades y, generalmente, se pueden clasificar como ciclistas expertos y ciclistas principiantes.

A continuación, se presentan fotografías donde se evidencia cómo la cicloinfraestructura ayuda a ciclistas principiantes y a una mujer que transporta en bicicleta a una niña.

Figura 32. Ciclistas vulnerables.



Fuente: John Fredy Bustos López, 2021.

Las fotografías anteriores muestran a ciclistas que, quizá, no pueden cruzar la intersección directamente y les conviene más rodear la intersección para cruzar a salvo.

Punto 2. Se conserva el área de espera ciclista en medio de la intersección. Esta área permite que los ciclistas puedan esperar a que el semáforo de la ciclo infraestructura se ponga de nuevo en verde para continuar con su trayecto. Aquí se aplica un diseño dual. La solución del punto 1 favorece a ciclistas principiantes y a ciclistas vulnerables. La solución del punto 2, favorece en especial a ciclistas expertos, quienes pueden cruzar directamente la intersección.

Punto 3. Se proponen las áreas de espera ciclista en las cuatro esquinas que conforman el paso de ciclistas por la intersección. Estas áreas permiten que los ciclistas esperen tranquilamente a que tengan la vía para seguir avanzando en su trayecto. (City of Ottawa, 2021).

Punto 4. Ampliando la imagen de la propuesta de diseño, se ve que los cruces no son totalmente perpendiculares entre sí, sino que las distintas vialidades se unen a través de curvas suaves. En el libro *Geometric design parameters for cycling infrastructure* (European Cyclists' Federation, 2022), se relacionan los radios de giro mínimos de curvas horizontales con la velocidad de desplazamiento de los ciclistas. Para un diseño con planos a detalle, se recomienda ver este documento para el diseño de las curvas. Usando elementos de segregación y demarcación se pueden ajustar estos radios de giro.

Punto 5. Se recomienda la instalación de un semáforo de arranque preferente para ciclistas en la Ciclobanda. La instalación debe hacerse en la Ciclobanda de la carrera 39, antes y después de la intersección, en sentido Este-Oeste. Estos semáforos deben estar sincronizados con los semáforos vehiculares y le debe brindar al menos tres segundos de ventaja a los ciclistas, respecto a los vehículos motorizados. También se recomienda mantener en las fases de los semáforos, el todo en rojo. Esto ayudará en especial a los ciclistas que están cruzando desde la isla de refugio.

Punto 6. La Ciclobanda que pasa por la carrera 39 debe funcionar en los dos sentidos de circulación. Actualmente funciona en sentido Oeste-Este. Pero también se debe habilitar el paso de ciclistas en sentido Este-Oeste. Hay varias razones para hacer esta recomendación:

- La primera son los aforos de ciclistas hechos en esta investigación. La cantidad de ciclistas que usan la ciclobanda en contravía es muy similar a la cantidad de ciclistas que usan la ciclobanda en el sentido de diseño.

- Hace algunos años las dos calzadas de la carrera 39 no iban en la misma dirección, como sucede actualmente. Sino que una calzada iba en sentido Oeste-Este y la otra en sentido Este-Oeste. Se plantea como hipótesis que el uso de la ciclobanda en contravía es por costumbre. Costumbre adquirida antes de la implementación del par vial de la carrera 44 y la carrera 39.
- La ciclobanda de la carrera 39 en contravía es la vialidad más rápida para que los ciclistas lleguen desde la calle 5 hasta la Autopista Simón Bolívar. Esta ciclobanda une las dos calles mencionadas de forma directa. Los ciclistas que desde el oeste de la ciudad desean llegar al oriente, pueden usar la ciclobanda de la carrera 44. Sin embargo, esta ciclobanda se interrumpe en la calle 16 y para llegar hasta la autopista Simón Bolívar, los ciclistas tardan más tiempo del que tardan por la carrera 39.

Independiente de las razones, los ciclistas usan la ciclobanda de la carrera 39 en contravía. Esto es algo muy peligroso, porque la ciclobanda tiene un ancho de 1,5m. Según la *Guía de cicloinfraestructura para ciudades colombianas* (Ministerio de transporte de Colombia, 2016), el ancho mínimo de una ciclobanda en dos sentidos es 2,30m. Así, la ciclobanda de la carrera 39 no cumple con los requerimientos suficientes para garantizar la movilidad de los ciclistas.

Como recomendación de diseño se propone ampliar la ciclobanda a 3m de ancho y que funcione en los dos sentidos. También se propone la instalación de elementos de segregación permanente, claro, salvo en las intersecciones. Así, ya no será una ciclobanda sino una ciclorruta, considerando la denominación que propone la *Guía de cicloinfraestructura para ciudades colombianas* (Ministerio de transporte de Colombia, 2016). Este ancho permitirá que se incluyan los distintos tipos de bicicletas que actualmente se usan en las ciudades (bicicletas de carga, por ejemplo) y que son mucho más anchas que las bicicletas típicas.

Ampliar la cicloinfraestructura implica reducir el número de carriles para vehículos motorizados a uno, en la calzada izquierda de la carrera 39. Esto reducirá considerablemente la velocidad de los vehículos motorizados pues no podrán

realizar maniobras de adelantamiento; lo cual mejorará la seguridad vial de los ciclistas.

Por supuesto, se deben ampliar estos estudios para determinar el ancho definitivo de la cicloinfraestructura.

Adicionalmente se recuerda la **Resolución No. 4132.010.21/82 de 2017**, de la ciudad de Cali: “por la cual se establecen normas para la prelación a la cicloinfraestructura en la red de infraestructura vial existente del municipio de Santiago de Cali”. Esta resolución respalda legalmente la ampliación propuesta.

Punto 7. Se recomienda hacer una transición entre la altura de la calzada y la altura de los separadores. O nivelar los separadores a la altura de la calzada. Esto es fundamental para que el diseño propuesto funcione.

Punto 8. Creación de ciclobanda en la calle 10 (autopista suroriental). Como se puede ver en los resultados de los aforos, la cantidad de ciclistas que usan la autopista suroriental no es comparable con la cantidad de ciclistas que pasan por la carrera 39, pero sí es considerable. Así, se recomienda crear una ciclobanda en las dos calzadas de la autopista suroriental. Se propone que la cicloinfraestructura pase por el extremo derecho de la calzada en los dos sentidos. Esta es la recomendación de ubicación que hacen los expertos y también la recomendación que se hace en los distintos manuales. Sin embargo, se debe estudiar más a fondo la ubicación de la ciclobanda en la autopista suroriental, debido a las altas velocidades de los vehículos, a la presencia de garajes a lo largo del corredor y a las paradas de buses, carros particulares y taxis. Además, se debe estudiar si es mejor la implementación de otro tipo de cicloinfraestructura, una ciclorruta por ejemplo, que es mucho más segregada. El alcance de este proyecto no permite definir ni la ubicación ni el tipo de cicloinfraestructura adecuada para la calle 10.

La creación de cicloinfraestructura en la calle 10 permitirá canalizar a los ciclistas que usan el carril rápido de la calle 10 y que además usan el paso a desnivel. Algunos ciclistas explican que usan el paso a desnivel por razones de seguridad: en

el paso a nivel es más fácil el hurto de bicicletas. Sin embargo, que los ciclistas se movilen muy cerca de vehículos con altas velocidades es muy peligroso. Se propone la instalación de señales de tránsito para prohibir que los ciclistas usen el carril rápido de la calle 10.

A continuación, la foto de un ciclista cruzando la intersección por el paso a desnivel:

Figura 33. Ciclista cruza la intersección, a riesgo, por el paso a desnivel.



Fuente: Elaboración propia.

Punto 9. Se propone que la intersección diseñada se recorra en ambos sentidos. Es por esta razón que se debe demarcar correctamente, para que los ciclistas sepan que pueden cruzar la vialidad en el sentido que más les convenga según sus necesidades de desplazamiento. Alrededor del punto 9, aparecen demarcaciones que se deben realizar en toda la intersección.

8. CONCLUSIONES

Según la experiencia del investigador, los videos y fotografías aéreas capturadas con dron, son herramientas muy útiles al realizar una auditoría de seguridad vial. Esto se debe a que se puede observar el comportamiento de todos los usuarios de la movilidad y medir la velocidad con la cual se desplazan por distintos tramos viales. Además de esto, se pueden medir los tiempos de las fases de los semáforos. E incluso, con esta herramienta, se puede hacer un levantamiento topográfico de la zona de estudio, claro, considerando que la precisión no es exacta.

Una forma de controlar la velocidad de los vehículos motorizados es la instalación de cicloinfraestructura en las vialidades. Así, la cicloinfraestructura puede considerarse como un dispositivo de control indirecto del tránsito. Al darle espacio a la bicicleta, se reduce el espacio de los vehículos motorizados. Indiscutiblemente, esto afecta la velocidad. Sin embargo, como se mostró en el marco teórico, el flujo máximo se logra a la mitad de la velocidad a flujo libre. Y, además, al disminuir la velocidad, mejora la seguridad vial, generando menos accidentes y por tanto mayor velocidad al desplazarse. Es por esta razón que, pensando en mejorar la seguridad vial en la intersección de estudio, se propone ampliar a 3m (considerando los dispositivos de segregación) el ancho de la ciclobanda de la carrera 39. Además de mejorar la seguridad vial, esta propuesta incentivará el uso de la bicicleta.

Es fundamental conocer el volumen real de ciclistas que usan la intersección de estudio a diario. La ciudad de Cali, dadas sus condiciones de altimetría, tiene un potencial de uso de la bicicleta que puede crecer mucho más. Y una de las maneras de promover el uso de la bicicleta es el diseño y construcción de cicloinfraestructura eficiente. Para lograr que la cicloinfraestructura sea cómoda y segura para los usuarios que la transitan, se debe establecer un ancho mínimo de las ciclorrutas o ciclo bandas. Este ancho está en función de la velocidad de desplazamiento y de la cantidad de ciclistas que usan el corredor vial. Por esta razón se recomienda la instalación de contadores de bicicletas. Estos son dispositivos electrónicos que

registran el número exacto de ciclistas que pasan frente al contador. La carrera 39 y la calle 10, son dos vialidades muy usadas por los ciclistas. La primera conecta el oriente de la ciudad con el occidente. Y la segunda conecta el sur con el oriente de la ciudad. Se deben establecer varios puntos en estos corredores viales para la ubicación de los contadores electrónicos. Una vez se tenga la información exacta de ciclistas que pasan por estos corredores, se logrará un mejor diseño de la cicloinfraestructura y por ende, se prestará un mejor servicio a los usuarios.

A partir de lo presentado en las *Fichas de hallazgo y recomendaciones* se concluye que se debe mejorar la infraestructura en la intersección de estudio. Particularmente, se deben corregir problemas en superficie de rodadura, sistema de drenaje, subsistema peatonal, señalización vertical, demarcaciones y semáforos para peatones. Estas falencias influyen directamente en la seguridad vial en la intersección de estudio. Sin embargo, a partir del estudio del comportamiento de ciclistas y otros usuarios, se concluye que los problemas de seguridad en la intersección no dependen solo de la infraestructura sino de la forma en la que los usuarios usan la intersección. Un claro ejemplo de esto es la velocidad. Se alcanzó a medir una velocidad superior a los 70km/h. Muchos vehículos superan la velocidad de circulación, poniendo en riesgo sus vidas y en especial las de los usuarios vulnerables.

Los diseños presentados son a nivel esquemático debido al alcance de esta investigación. Para mejorar los diseños, se sugiere ampliar los estudios de volúmenes y velocidades. Como se mencionó, se determinó el número de ciclistas que pasan por la intersección, más no el número de vehículos automotores. Además, se determinó de forma estimada la velocidad de los vehículos automotores que usan la intersección. Así, tras calcular de forma precisa velocidad y volúmenes, para todos los usuarios que usan la intersección, se podrán optimizar los diseños propuestos en esta investigación.

9. BIBLIOGRAFÍA

Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2020). *Guía técnica de auditorías e inspecciones de seguridad vial para Colombia*.

Alcaldía de Bogotá. (2019). *Programa de gestión de la velocidad*.

Alcaldía de Santiago de Cali. (2016). *Plan estratégico de seguridad vial*.

Alcaldía de Santiago de Cali. (2016-2020). *Informe anual de calidad de vida, Cali Cómo vamos*.

Alcaldía de Santiago de Cali. (2016-2020). *Informe anual de eventos de tránsito*.

City of Ottawa (2021). *Protected Intersection Design Guide*.

Federación europea de ciclistas (2022). *Geometric design parameters for cycling infrastructure*. Aleksander Buczynski.

Ginebra, Sociedad Global de Seguridad Vial (2008). *Control de la velocidad: Un manual de seguridad vial para los responsables de tomar decisiones y profesionales*.

Instituto Nacional de Vías. (2006). *Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles*.

Instituto Nacional de Vías. (2006). *Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos*.

Instituto para Políticas de Transporte y Desarrollo, México (2011). *Ciclociudades*.

Ley 769 de 2002. *Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre*. 2002.

Ministerio de Transporte de Colombia (2016). *Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas*.

Ministerio de Transporte (2015). *Manual de señalización vial*.

National Association of City Transportation Officials (2014). *Urban Bikeway Design Guide*.

Organización mundial de la salud (2004). *Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito*.