



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Titulación Previo a la Obtención del Título de

**Análisis de facilidades peatonales para cruces en vías urbanas. Caso de estudio:
Av. Princesa Toa y Gral. Alberto Enrique Gallo en el sector Chamizal, Distrito
Metropolitano de Quito.**

Milton Vladimir Gómez Racines

Quito, 21 de agosto del 2025



DECLARACION JURAMENTADA

Yo, VLADIMIR GÓMEZ, con cédula de identidad # 1726706433, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual que correspondan relacionados a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Milton Vladimir Gómez Racines

1726706433

Correo electrónico: milton.gomez@uisek.edu.ec



DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“Análisis de facilidades peatonales para cruces en vías urbanas. Caso de estudio:
Av. Princesa Toa y Gral. Alberto Enrique Gallo en el sector Chamizal, Distrito
Metropolitano de Quito.”**

Realizado por:

VLADIMIR GÓMEZ

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

ha sido dirigido por el profesor

HUGO OTAÑEZ

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

FIRMA



Título del trabajo de titulación

Por

Nombres completos del autor(a)

septiembre 2025

Aprobado:

LUIS ALBERTO SORIA NUÑEZ,
SANTIAGO ROLANDO MORALES MOLINA,
HUGO MARCELO OTAÑEZ GOMEZ.

Aceptado y Firmado: _____ sep. 2025

LUIS ALBERTO SORIA NUÑEZ.

Aceptado y Firmado: _____ sep. 2025

SANTIAGO ROLANDO MORALES MOLINA.

Aceptado y Firmado: _____ sep. 2025

HUGO MARCELO OTAÑEZ GOMEZ.

_____ sep. 2025

LUIS ALBERTO SORIA NUÑEZ.

Presidente(a) del Tribunal

Universidad Internacional SEK



Dedicatoria

Dedico este logro a mis padres, quienes han sido mi mayor fortaleza y refugio en cada paso del camino. Fueron su amor, paciencia y sabios consejos los que me impulsaron a superar obstáculos, a levantarme cuando caía y a creer siempre en mis sueños. Gracias por ser el ejemplo de perseverancia, por enseñarme el valor del esfuerzo y por estar a mi lado en los momentos difíciles y en los de alegría. No hay palabras suficientes para expresar la gratitud y el orgullo que siento por ser su hijo; este logro es tan suyo como mío, porque nada habría sido posible sin su amor y apoyo incondicional.



Agradecimiento

Gracias, Universidad Internacional SEK, por abrirme las puertas y brindarme un espacio donde descubrí mi verdadera pasión y pude desarrollar mi potencial. Terminar mi carrera de Ingeniería Civil no sería posible sin el ambiente inspirador, el apoyo de los docentes y los valores que inculcan día a día. Llevo conmigo no solo el conocimiento académico, sino también experiencias y amistades que marcarán mi vida para siempre. Su confianza en mí, y el compañerismo de esta gran familia universitaria, me motivaron a luchar por mis sueños y alcanzar esta meta tan importante. Con profundo orgullo y gratitud, llevaré el nombre SEK en cada logro profesional que construya.

Resumen

El presente trabajo aborda el este estudio fue evaluar y mejorar los cruces peatonales en las vías urbanas, con especial atención a la intersección entre Avenida Princesa Toa y la Calle General Alberto Enrique Gallo en el distrito de Chamizal, en el área metropolitana de Quito. Utilizando un marco conceptual basado en la accesibilidad universal, la normativa vial y el diseño urbano sostenible, el estudio exploró la importancia de garantizar espacios peatonales seguros y accesibles para todos los usuarios, incluyendo grupos vulnerables como niños, adultos mayores y personas con discapacidad.

La metodología de investigación incluyó conteos cuantitativos de peatones y vehículos, simulaciones con software especializado (Synchro 11), análisis de señales y observaciones de campo para evaluar el flujo vehicular, el comportamiento y la calidad del servicio vial en los puntos críticos de la Avenida. Los hallazgos revelaron deficiencias clave en la infraestructura, como aceras estrechas, semáforos y señalización deficientes e inexistente, que aumentan el riesgo y dificultan la movilidad.

Los hallazgos clave destacaron la necesidad de un plan integral que incluya la ampliación y reparación de aceras, la instalación de semáforos peatonales en las intersecciones principales, la mejora y estandarización de la señalización, y la incorporación de programas educativos y un sistema de monitoreo continuo para reducir los accidentes y mejorar la calidad de vida en las comunidades estudiadas.

Palabras clave: peatonales, accesibilidad, señalización, semáforos, movilidad, seguridad



Abstract

This study aimed to evaluate and improve pedestrian crossings on urban roads, with a special focus on the intersection of Avenida Princesa Toa and Calle General Alberto Enrique Gallo in the Chamizal district of the Quito metropolitan area. Using a conceptual framework based on universal accessibility, road regulations, and sustainable urban design, the study explored the importance of ensuring safe and accessible pedestrian spaces for all users, including vulnerable groups such as children, older adults, and people with disabilities.

The research methodology included quantitative pedestrian and vehicle counts, simulations using specialized software (Synchro 11), signal analysis, and field observations to assess vehicular flow, behavior, and road service quality at critical points along the avenue. The findings revealed key infrastructure deficiencies, such as narrow sidewalks, poor or nonexistent traffic lights, and signage, which increase risk and hinder mobility. Key findings highlighted the need for a comprehensive plan that includes sidewalk widening and repair, installing pedestrian signals at major intersections, improving and standardizing signage, and incorporating educational programs and a continuous monitoring system to reduce accidents and improve the quality of life in the communities studied.

Keywords: pedestrians, accessibility, signage, traffic signals, mobility, safety

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I:	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Planteamiento del problema	6
1.3.1. Formulación del Problema.....	7
1.3.2. Descripción del Problema.....	8
1.3.3. Situación Actual	8
1.3.5 Problemas de Movilidad y Seguridad.....	9
1.3.4. Impacto del Problema	9
1.4. Objetivos:	10
1.4.1. Objetivo General.....	10
1.4.2. Objetivos Específicos.	11
1.5. Alcance	12
CAPITULO 2:	14
MARCO TEORICO	14
2.1. Contexto.	14
2.2 Importancia de las Facilidades Peatonales en Cruces Viales	14
2.3. Concepto de Facilidades Peatonales.....	15
2.4. Importancia de Facilidades Peatonales en Cruces Viales.....	15
2.5. Aforos: Fundamento del Análisis de la Demanda	16
2.5.1. Definición de Aforos Peatonales	16
2.5.2. Definición de Aforos Vehiculares	17
2.5.3. Métodos de Aforo	17

2.6. Normas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOB).....	18
2.6.1. Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial (LOTTTSV).....	18
2.6.2. Reglamento a la Ley de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial	19
2.6.3. Código Orgánico del Ambiente (2017)	20
2.6.4. Plan Nacional de Movilidad Sostenible y Segura.....	20
2.6.5. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0042 (Accesibilidad a los Espacios Públicos).....	21
2.6.6. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)	21
2.6.7. Principales aspectos normativos:	22
2.7. Experiencias en Otras Ciudades	23
2.8. Planificación del Uso del Espacio Público.....	24
2.9. Análisis de Comportamiento Peatonal en Quito	24
2.9.1. Modo Peatonal en la Ciudad.....	24
2.9.2. Seguridad Vial	25
2.10. Seguridad Vial y Cruces Peatonales.....	27
2.11. Estudio de Tráfico	27
2.11.1. Elementos clave del estudio de tráfico:	27
2.11.2. Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA).....	28
2.11.3. Cálculo del TPDA	28
2.11.4. Aplicación en diseño peatonal:	28
2.11.5. Métodos Existentes para Hallar el Nivel de Servicio Peatonal	29
2.11.6. Análisis de Ocurrencia de Accidentes y Auditorías de Seguridad Vial	31
2.12. Fundamentos Teóricos	32

2.13. Hipótesis, variables e indicadores	33
2.13.1. Hipótesis	33
2.13.2. Variables	34
2.13.3. Indicadores.....	35
CAPÍTULO III	37
METODOLOGÍA	37
3.1. Tipo de Investigación	37
3.2. Metodología.....	37
3.3. Técnicas y Herramientas de Recolección de Datos.....	38
3.3.1 Conteos de Peatones y Vehículos	38
3.3.2. Simulación del flujo vehicular.....	39
3.3.3. Observación directa y conteo manual.....	40
3.3.4. Revisión de Documentos Técnicos y Normativos.....	40
3.3.5. Análisis de Mapas.....	41
3.3.6. Simulación Preliminar de Tráfico.....	41
3.3.7. Análisis de Contenido.....	41
3.4. Proceso Técnico de Ingeniería Civil.....	41
3.5. Sección Adicional: Verificación de Datos Estadísticos	43
CAPÍTULO 4:.....	46
FASE DE DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA MOVILIDAD EN	
LA AV. PRINCESA TOA.....	46
4.1. Inspección Visual	46
4.2. Técnicas y herramientas de recolección de datos.....	48
4.3. Procedimiento de investigación y análisis de datos	49
4.4. Registro fotográfico.....	50

4.4.1. Falta de pasos peatonales.....	50
4.4.2. Falta de Sistemas de Semáforos	52
4.4.3. Falta de Semáforos Horizontales y Verticales.....	53
4.5. Ancho de la Vía	54
CAPÍTULO 5:.....	57
TRABAJO EN CAMPO Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION.....	57
5.1. Vías levantadas en el año 2023.	57
5.1.1. Parroquia de Conocoto	58
5.1.2. Avenida Princesa Toa	59
5.1.3. Chamizal	61
5.2. Codificación de los tramos viales a inventariar.....	62
5.2.1. La importancia de las vías	63
5.3. Descripción general del software	63
5.3.1. Software Synchro 11	63
5.3.2. Aplicaciones de simulación de tráfico.....	65
5.3.3. Creación de infraestructura peatonal en software.....	65
5.4. Simulación.....	66
5.5. Registro de la simulación de la Avenida Princesa.....	68
5.6. Procesamiento de datos	68
5.7. Refinamiento de la simulación	69
CAPITULO 6.....	71
ESTUDIO DEL TRÁFICO	71
6.1. Alcance	71
6.2. Metodología.....	71
6.3. Estaciones de Conteo de Vehículos.....	72

6.4. Informe de Conteo Vehicular	74
6.5. Características del Tráfico	74
6.6. Trabajo de Oficina	75
6.6.1 Procesamiento y control de calidad de datos	75
6.7. Clasificación de Carreteras según la Norma de Diseño Geométrico de Carreteras MTOP 2003	77
6.8. Edición y Procesamiento de Datos	1
6.8.1 Corrección de los Atributos de la Vía Registrados	1
6.9. Exportación de Resultados Viales.	1
6.10. Ejemplo de simulación con Synchro 11	3
6.10.1 Descripción del modelo	3
6.10.2 Resultados clave de la simulación	12
6.11. Diagramas Desarrollados	17
6.11.1. Diagrama de Nivel de Servicio (LOS) de Intersección	17
6.12. Preparación gráfica en Synchro	19
6.12.1. Ejemplo de modelado visual	19
6.12.2. Exportación de visualización 3D	22
6.13. Proceso de desarrollo de la simulación	24
Capítulo 7	26
Propuesta de Mejora	26
7.1. Diagnóstico Integral para Orientar las Mejoras	26
7.2. Ampliación y Rehabilitación de Infraestructura Peatonal	27
7.2.1. Ampliación de Aceras	27
7.2.2. Implementación de Rampas y Cruces Accesibles	27
7.2.3. Implementar pasos peatonales estandarizados	27

7.3. Semáforos y planes de control de tráfico	28
7.3.1. Instalar semáforos peatonales en intersecciones clave	28
7.3.2. Implementación de Dispositivos Reductores de Velocidad	29
7.4. Fortalecimiento y Estandarización de la Señalización Vial	29
7.4.1. Señalización Horizontal.....	29
7.4.2. Señalización Vertical	29
7.5. Diseñar espacios complementarios para mejorar la experiencia peatonal	30
7.6. Planificación y Gestión del Tránsito Vehicular y Peatonal.....	30
7.7. Fases de Programación e Implementación	30
7.8 Monitoreo y Evaluación Post-Intervención.....	31
7.9. Sostenibilidad Tecnológica y Social	32
Conclusiones.....	33
Recomendaciones.....	35
Referencias	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Visualización de datos de siniestralidad vial en Quito (2023–2025) – Power BI AMT	6
Figura 2 Ubicación y referencias en Avenida Princesa Toa – Google Maps	13
Figura 3 Elementos y diseño de facilidades peatonales en entornos urbanos	15
Figura 4 Metodología de aforos peatonales para análisis de flujos en espacios urbanos	16
Figura 5 Vehículos en el punto de aforo "Chachas", Avenida Princesa Toa	17
Figura 6 Distribución porcentual de viajes según modo de transporte – 2014	24
Figura 7 Accidente de tránsito en la avenida Princesa Toa, Conocoto (2018).	26
Figura 8 Volumen de tráfico vehicular registrado en el margen derecho de la vía.....	42
Figura 9 Falta de pasos peatonales en la avenida principal del sector San Miguel de Chachas.	51
Figura 10 Falta de sistemas de semáforos en intersecciones clave del sector Los Tubos.	52
Figura 11 Daños visibles de grietas y baches sobre pavimento vehicular	56
Figura 12 Mapa de la parroquia de Conocoto	59
Figura 13 Mapa de la Avenida Princesa Toa en Conocoto	60
Figura 14 Condiciones del tramo Chamizal en la Avenida Princesa Toa.	61
Figura 15 Esquema digital de un cruce peatonal simulado en Synchro 11, antes y después de la instalación de semáforos y ampliación de aceras.....	66
Figura 16 Simulación del corredor en la Avenida Princesa Toa con Synchro 11	67
Figura 17 Archivos de Excel con el procesamiento de datos de los conteos.	69
Figura 18 Ubicación de las estaciones de conteo vehicular en la vía de estudio	73
Figura 19 Definición geométrica del corredor de la Av. Princesa Toa en Synchro	3

Figura 20 Integración de los flujos vehiculares y peatonales por punto y tiempo	4
Figura 21 Asignación de temporización y secuencias de fase de semáforos según flujos medidos	6
Figura 22 Configuración de velocidad máxima para vehículos livianos	9
Figura 23 Visualización dinámica de flujos vehiculares y peatonales	13
Figura 24 Visualización de la estación E3 Prados el Chamizal	20
Figura 25 Señalización y pasos peatonales en la estación E5 Disensa.....	21
Figura 26 Indicadores de flujos de vehículos y peatones	22
Figura 27 Interacciones dinámicas de vehículos en modelo 3D	23
Figura 28 Visualización 3D exportada para comunicación de resultados.....	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Métodos de aforo peatonal y vehicular	17
Tabla 2 Comparativo de intervención peatonales Internacionales	23
Tabla 3 Ejemplo de tabla de tráfico TPDA estimado.....	29
Tabla 4 Niveles de servicio peatonal según la superficie (manual HCM adaptado en Ecuador)	30
Tabla 5 Causas Principales de Siniestros Viales en Ecuador 2018-2022.....	31
Tabla 6 Registro Horario de Circulación Peatonal y Vehicular en 5 Puntos Críticos – Av. Princesa Toa	38
Tabla 7. Distribución de Conteos y Simulación en Puntos Críticos - Av. Princesa Toa	39
Tabla 8. Etapas del Proceso Técnico de Ingeniería Civil Aplicado en el Análisis de Cruces Peatonales en la Av. Princesa Toa.....	42
Tabla 9 Comparación de Niveles de Servicio (LOS) en Intersecciones Críticas	43
Tabla 10. Resumen gráfico de las pruebas estadísticas.....	45
Tabla 11	47
Tabla 12 Porcentaje de daños identificados en la inspección visual	48
Tabla 13. Comparación de Anchos de Aceras y Calzadas con Estándares Normativos Vigentes (MTOP, INEN).	55
Tabla 14. Vías levantadas en el año 2023 (Conocoto / Chamizal).....	57
Tabla 15. Estaciones de conteo	62
Tabla 16. Descripción de Estaciones de Conteo Vehicular en la Vía de Estudio	72
Tabla 17 Resultados de la prueba de consistencia interna (Alfa de Cronbach) en conteos repetidos (2023).....	76

Tabla 18 Cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).....	1
Tabla 19 Tráfico Vehicular estación Los Tubos, Semana 1 (Promedio Total Diario)....	2
Tabla 20	2
Tabla 21 Tráfico Vehicular estación San Miguel de Chachas, semana 1 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 22 Tráfico Vehicular estación San Miguel de Chachas, semana 1 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 23 Tráfico Vehicular estación Prados Chamizal, semana 1 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 24 Tráfico Vehicular estación Prados Chamizal, semana 1 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 25 Tráfico Vehicular estación Chamizal, semana 1 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 26 Tráfico Vehicular estación Chamizal, semana 1 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 27 Tráfico Vehicular estación Disensa, semana 1 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 28 Tráfico Vehicular estación Disensa, semana 1 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 29 Tráfico Vehicular estación Tienda, semana 1 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 30 Tráfico Vehicular estación Tienda, semana 1 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 31 Tráfico Vehicular estación Los Tubos, Semana 2 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.

Tabla 32	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 33 Tráfico Vehicular estación San Miguel de Chachas, semana 2 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 34 Tráfico Vehicular estación San Miguel de Chachas, semana 2 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 35 Tráfico Vehicular estación Prados Chamizal, semana 2 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 36 Tráfico Vehicular estación Prados Chamizal, semana 2 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 37 Tráfico Vehicular estación Chamizal, semana 2 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 38 Tráfico Vehicular estación Chamizal, semana 2 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 39 Tráfico Vehicular estación Disensa, semana 2 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 40 Tráfico Vehicular estación Disensa, semana 2 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 41 Tráfico Vehicular estación Tienda, semana 2 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 42 Tráfico Vehicular estación Tienda, semana 2 (Promedio Total Diario)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 43 Duración típica de fases semafóricas en Ecuador	5
Tabla 44 Radios mínimos de giro y velocidades máximas nominales para distintos tipos de vehículos en Ecuador	8
Tabla 45 Tiempos de espera promedio en intersecciones clave (segundos)	10

Tabla 46 Nivel de servicio (LOS) vehicular y peatonal	11
Tabla 47 Simulación de flujo vehicular y peatonal en la Avenida Princesa Toa	12
Tabla 48 Tipos de conflictos de tráfico identificados en intersecciones semaforizadas de la Avenida Princesa Toa	17
Tabla 49 Nivel de Servicio (LOS) en puntos críticos de la Avenida Princesa Toa	18
Tabla 50. Calendario Progresivo y Etapas de Implementación	31

CAPÍTULO I:

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

A nivel mundial, la seguridad de los peatones ha cobrado una importancia considerable debido al alarmante aumento de los accidentes de tráfico que afectan a este grupo vulnerable. La Organización Mundial de la Salud (OMS) informa que más de 270.000 peatones pierden la vida en accidentes de tráfico cada año, lo que representa el 22% de todas las muertes relacionadas con el tráfico, mientras que miles más sufren lesiones graves o discapacidades permanentes (OMS, 2013). Este panorama pone de relieve la urgente necesidad de mejorar la infraestructura peatonal para garantizar la seguridad y movilidad de los peatones.

En el contexto de Ecuador, y específicamente en la zona rural de Quito, la planificación urbana enfrenta desafíos únicos. Las zonas rurales, aunque tienen una menor densidad de población que las urbanas, no están exentas de problemas relacionados con la movilidad peatonal. Por cierto, la carencia de una infraestructura adecuada en este tipo de ambientes podría incrementar los peligros para los peatones, especialmente en cruces de urbanizaciones donde se encuentran como en la intersección en las vías urbanas, el flujo de vehículos junto con la de los transeúntes. Un ejemplo inicial puede ser la investigación llevada a cabo por (García et al, 2017), donde la información de las estadísticas de accidentes de tránsito en los países de América Latina, Ecuador inclusive, ha promovido la realización de una serie de acciones protectoras de los peatones.

Caminar es una de las formas de desplazamiento más frecuentes y corrientes en las zonas rurales, donde la cercanía entre las viviendas y los centros de actividad es notable. En este sentido, la infraestructura peatonal en espacios rurales no está pensada para el tráfico de personas, de manera que las aceras suelen ser escasas o completamente ausentes, lo que obliga a los peatones a ocupar la vía, lo que les hace más vulnerables a riesgos más severos (Burgos & Alberto, 2010). Para afrontar estos desafíos, es fundamental realizar estudios que analicen los flujos de peatones y el estado de la infraestructura existente.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar las facilidades peatonales para el paso de peatones en vías urbanas en la zona rural de Quito, con el fin de identificar problemas y proponer soluciones que mejoren la seguridad y el confort de los peatones. El objetivo del estudio se basa en la realización de encuestas a peatones, que permitirán obtener datos precisos sobre el flujo de personas y el estado actual de las infraestructuras. Tales datos constituirán información relevante y pertinente para los planificadores y los diseñadores de zonas urbanas, pues ofrecerán criterios explícitos para crear, mantener y revisar infraestructura peatonal que incentive de este modo una movilidad ágil, rápida y segura.

Por otra parte, esta investigación también busca contribuir a la academia al ofrecer una perspectiva diferente en los modos de entender la movilidad urbana. Tradicionalmente, la planificación urbana ha favorecido el tráfico de vehículos, lo que ha incrementado los problemas de seguridad de los peatones. Adoptar un enfoque centrado en los peatones promueve una movilidad sostenible que no solo mejora la

calidad de vida de los residentes, sino que también fomenta una urbanización más inclusiva y segura (Fernández & Hernández, 2019)

Estudios recientes en áreas rurales han demostrado que la falta de infraestructura peatonal adecuada afecta no solo la seguridad de los peatones, sino también su acceso a servicios básicos como educación, salud y transporte público (Maya & Rodriguez, 2020) . Las zonas rurales de Quito no son una excepción. En muchas de estas zonas, las personas deben recorrer largas distancias a pie para acceder a los servicios, lo que aumenta y agrava la dificultad de los desplazamientos. Por otra parte, el tránsito mixto realizado por vías estrechas es un peligro constante, sobre todo durante las horas punta por la afluencia de la circulación.

El presente trabajo se sostiene en la ejecución del aforo peatonal y vehicular en la Av. Princesa Toa, en la zona rural de Quito, el mismo que permitirá conocer el flujo de personas y vehículos en el sector; este estudio es fundamental para poder detectar problemas que se generan actualmente y proponer soluciones que sean capaces de dar forma a un modelo de movilidad urbana sostenible y segura en la región. Las medidas que son propuestas tienen una finalidad: mejorar la seguridad y los niveles de comodidad de las personas en el contexto peatonal de Quito, y tienen la posibilidad de ser replicadas en las demás ciudades y zonas rurales del país para dejar en claro que una urbanización digna, inclusiva y segura es también posible en el país.

1.2. Justificación

La necesidad de contar con una infraestructura peatonal adecuada en el área rural de Quito es altamente urgente, especialmente para aquellos lugares donde la

llegada de más personas y el crecimiento del tráfico vehicular han puesto a prueba las capacidades que ofrecen estas infraestructuras. Un claro ejemplo de esta situación es la Avenida Princesa Toa, una vía principal que conecta el Valle de los Chillos con el sur de Quito; esta vía es no sólo para el tráfico de vehículos, sino también para aquellos peatones que dependen de ella en su día a día, dado que el sector cuenta con tres barrios, varios conjuntos residenciales y una escuela. Por ello, la infraestructura peatonal debería ser bastante segura y eficaz, particularmente en materia de semaforización y cruces de peatonales.

Durante las horas en las cuales el tráfico que induce por los trabajadores es el más elevado, la movilidad se convierte en un problema acuciante. Muchos trabajadores que viven a lo largo de los barrios próximos deben recorrer grandes distancias a lo largo de la Avenida Princesa Toa, carretera que no tiene pasos peatonales seguros ni señalización adecuada en diferentes segmentos. Esta carencia no sólo pone en riesgo la seguridad del peatón, que tiene que compartir el espacio con el tráfico motorizado, sino que también incrementa las probabilidades de accidentes. La falta de semáforos y señalización adecuada para cruces peatonales de interés eleva la peligrosidad, sobre todo cuando el tráfico es extremo. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), la falta de infraestructuras peatonales adecuadas en áreas de tráfico elevado puede tener una elevadísima probabilidad de accidentes.

El papel de la semaforización en la regulación del tránsito peatonal no puede ser puesto en duda. Los semáforos muy bien situados en los cruces peatonales contribuyen a poder llegar a un mejor encadenamiento del flujo vehicular con el tránsito de peatones, disminuyendo así el nivel del riesgo de accidente y facilitando el paso seguro

de los viandantes por las vías. En la Avenida Princesa Toa, la falta de semáforos y cruces peatonales apropiados se traduce no sólo en riesgos para el paso de peatones, sino que también se plasma en un aumento del nivel de congestión del tráfico que provoca que los coches realicen maniobras evasivas para evitar temidos, y a veces catastróficos, accidentes.

La existencia de una escuela en el barrio hace que este problema sea más urgente. Los estudiantes, en su mayoría menores de edad (niños y adolescentes), están en situación de riesgo cuando caminan por calles que no tienen infraestructuras peatonales. La OMS (2018), señala que los niños son las personas en mayor riesgo en carretera. Los pasos de peatones adecuados, así como los semáforos específicos para las zonas escolares son necesarios para proteger a los jóvenes transeúntes.

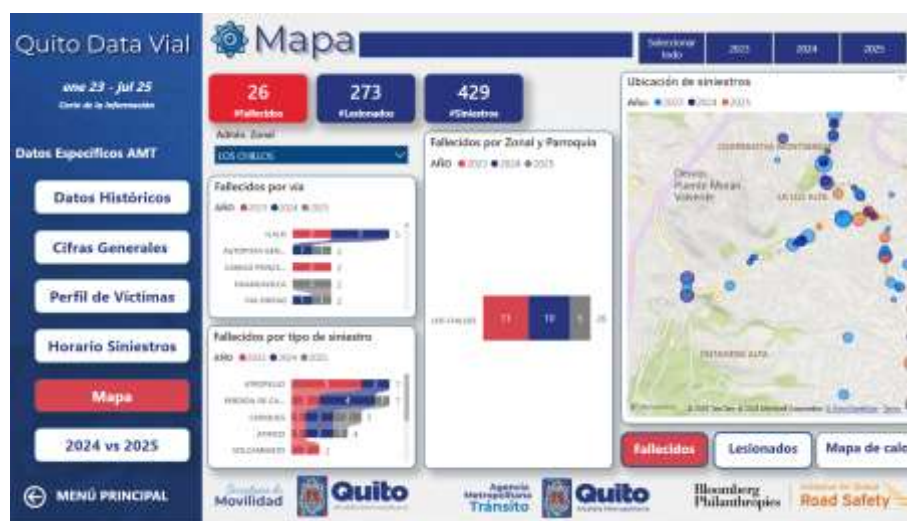
La mejora de la infraestructura peatonal, que incluye la creación de cruces peatonales seguros y la instalación de faros en intersecciones peligrosas, no solo mejorará la seguridad vial, sino que facilitará el acceso a los servicios básicos y fomentará una movilidad más equitativa. En la Avenida Princesa Toa, la instalación de semáforos y la adecuación de los cruces peatonales permitirán una mejor organización del tránsito y reducirán los tiempos de desplazamiento, aliviando la congestión y ofreciendo opciones de movilidad más seguras para los residentes.

Desde un punto de vista económico, la mejora de las facilidades peatonales puede tener importantes repercusiones. Perfeccionar el acceso seguro hacia los lugares de trabajo y hacia las escuelas propicia una mayor productividad e inserción social. Además, la infraestructura peatonal puede atraer la inversión y acelerar la cualificación de la zona, así como el crecimiento económico.

La Avenida Princesa Toa y sus alrededores deben ser objeto de una intervención urgente en el ámbito de la infraestructura peatonal, especialmente en lo que respecta a la semaforización y los cruces peatonales. La contraposición de las medidas garantizadas por la administración pública no significa únicamente una inversión en seguridad vial, sino también en sostenibilidad y en la calidad de vida de todas las personas de la comunidad. Asegurar cruces peatonales seguros y una adecuada semaforización es fundamental para garantizar una coexistencia segura y eficiente entre peatones y vehículos en esta arteria clave.

Figura 1

Visualización de datos de siniestralidad vial en Quito (2023–2025) – Power BI AMT



Nota. Visualización interactiva de datos de siniestralidad vial en Quito, elaborada por la Agencia Metropolitana de Tránsito (AMT). Recuperada de <https://bit.ly/4g3BwS4>

1.3. Planteamiento del problema

La infraestructura peatonal actual a lo largo de la Avenida Princesa Toa (Princesa Toa), en el distrito de Conocoto, Quito, es inadecuada para garantizar un

desplazamiento seguro y accesible para los usuarios cotidianos. La falta o el deterioro de aceras continuas, rampas accesibles, señalización adecuada e iluminación eficaz dificulta el desplazamiento peatonal, especialmente para grupos vulnerables como niños, adultos mayores y personas con discapacidad.

Desde la perspectiva de la ingeniería civil, esta deficiencia refleja un diseño y una planificación urbana inadecuados, lo que conlleva un mayor riesgo de accidentes, una accesibilidad limitada y una menor calidad de vida para los usuarios. La falta de espacios peatonales seguros también contribuye al aumento del uso del automóvil, lo que a su vez afecta la movilidad general, aumenta el tráfico vehicular y agrava la contaminación ambiental.

El reto técnico, por lo tanto, radica en evaluar y diseñar soluciones de infraestructura peatonal que cumplan con la normativa vigente y cumplan con los parámetros de accesibilidad universal, resiliencia y funcionalidad, transformando la Avenida Princesa Toa en un espacio público inclusivo, seguro y eficiente que beneficie a todos los residentes. De esta manera, la ingeniería civil desempeña un papel vital en la planificación, el diseño y la ejecución de proyectos que promueven el desarrollo urbano sostenible y el bienestar social.

1.3.1. Formulación del Problema

¿Cuáles son las principales deficiencias en la infraestructura peatonal de la avenida Princesa Toa en Quito y cómo puede el diseño y la planificación de la ingeniería civil contribuir a mejorar la accesibilidad, la seguridad y la calidad de vida de los peatones, especialmente de los grupos vulnerables?

1.3.2. Descripción del Problema

la falta de infraestructura peatonal adecuada, la alta demanda vehicular y peatonal, y condiciones físicas que no favorecen el tránsito seguro de los usuarios.

Las cinco zonas de confluencia peatonal y vehicular han sido ubicadas como las zonas de mayor potencial riesgo, al ser lugares donde día a día se obtiene un alto volumen tanto de peatones como de vehículos, sobre todo en las horas punta. Entre ellas, se destacan las cruces de San Miguel de Chachas y El Chamizal, que son las zonas de mayor concurrencia y con las condiciones más severas.

1.3.3. Situación Actual

Con el objetivo de valorar la magnitud del problema, se realizó un conteo vehicular y peatonal durante 15 días consecutivos, que a su vez corroboró que la Avenida Princesa Toa experimenta un alto flujo de vehículos y peatones en horarios punta, lo cual pone de manifiesto la necesidad de mejorar con urgencia la infraestructura existente, ya que los resultados del estudio realzan la idea de que los peatones encuentran grandes dificultades para cruzar la vía debido a la falta de cruces peatonales marcados junto con la falta de semáforos en puntos críticos.

Por otro lado, el conteo también puso de manifiesto que la falta de aceras suficientes y la escasa señalización (en las intersecciones peatonales) crean una situación de circulación peligrosa. Los peatones han de compartir el espacio de la carretera con los vehículos a motor, en especial en horario punta de circulación, lo cual aumenta el riesgo de accidentes. Además, la presencia de una escuela en el área

aumenta la vulnerabilidad de los estudiantes, quienes enfrentan condiciones de riesgo al caminar hacia sus clases.

1.3.5 Problemas de Movilidad y Seguridad

Los puntos mencionados no solo presentan problemas de congestión vehicular y aglomeración peatonal, sino que también evidencian deficiencias graves en cuanto a infraestructura y seguridad vial. La falta de aceras, cruces peatonales seguros y carriles exclusivos para medios de transporte alternativo (como bicicletas) contribuyen a que los peatones y conductores se enfrenten a riesgos elevados en su desplazamiento diario.

La intersección de San Miguel de Chachas y la de El Chamizal son especialmente críticas debido a la alta densidad de tráfico peatonal y vehicular que se concentra en estos puntos. La proximidad de una escuela, un estadio y varios conjuntos residenciales agrava la situación, ya que el flujo de personas y vehículos es constante a lo largo del día.

1.3.4. Impacto del Problema

El impacto de la falta de infraestructura peatonal adecuada es significativo y multifacético:

- **Seguridad Vial:** La falta de cruces peatonales seguros y semáforos adecuados contribuye a un aumento en el riesgo de accidentes de tráfico que involucran a peatones. El conteo realizado revela que durante las horas pico, la ausencia de semáforos y la falta de señalización en cruces críticos aumentan la probabilidad de accidentes.
- **Accesibilidad y Movilidad:** La infraestructura peatonal inadecuada afecta a la accesibilidad para los residentes, que a menudo tienen problemas para desplazarse. La ausencia de aceras y cruces peatonales obligan a los peatones a

caminar por la calzada o bien por bordes no técnicos, lo que perversamente limita sus posibilidades de movilidad y los expone a situaciones peligrosas.

- **Congestión Vehicular:** El déficit de infraestructuras peatonales idóneas tiene también un papel en el incremento del tráfico. La escasez de semáforos y de pasos peatonales aumenta la tensión en el tráfico vehicular, en la medida en que los conductores deben maniobrar para evitar los accidentes con los peatones, aumentando los atascos y el tiempo de desplazamiento.
- **Impacto Social y Económico:** La carencia de una infraestructura peatonal adecuada tiene efectos negativos sobre la calidad de vida de los residentes y el desarrollo económico, así como sobre los largos desplazamientos y la inseguridad vial. Esta situación influye en la productividad de los trabajadores y el bienestar comunitario. La mejora de las infraestructuras peatonales está relacionada con un desarrollo económico equilibrado o, por el contrario, la economía de una zona se verá igualmente afectada por la mejora de las infraestructuras peatonales adecuadas.

1.4. Objetivos:

1.4.1. Objetivo General.

- Identificar las deficiencias actuales en las facilidades peatonales de la Av. Princesa Toa, proponiendo soluciones con enfoque en la planificación urbana para mejorar la seguridad y la accesibilidad de los peatones, con el propósito de promover una movilidad más segura y eficiente, reducir los riesgos de accidentes, agilizar la movilidad peatonal y contribuir a un entorno urbano más funcional y eficaz

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Evaluar el estado actual de las facilidades peatonales en la Av. Princesa Toa, mediante la identificación detallada de deficiencias en términos de accesibilidad, señalización y seguridad vial, con el propósito de proporcionar un diagnóstico preciso que oriente la implementación de mejoras efectivas y la promoción de una movilidad peatonal más segura y eficiente en el contexto urbano.
- Analizar las necesidades y comportamientos de los peatones en el contexto de la Av. Princesa Toa, a través de la consideración detallada de factores como flujos peatonales, velocidades de cruce, con el propósito de obtener una comprensión precisa de las dinámicas peatonales y orientar la formulación de soluciones específicas que mejoren la experiencia y seguridad de los peatones al cruzar la avenida.
- Preponer propuestas concretas de intervención para mejorar las facilidades peatonales en la Av. Princesa Toa, incorporando elementos como pasos de peatones elevados, señalización clara y dispositivos de control de tráfico, con el fin de abordar las carencias identificadas y proporcionar a los peatones un entorno más seguro y cómodo al cruzar la vía, al mismo tiempo que se optimiza la movilidad en el área urbana.
- Ofrecer recomendaciones estratégicas para llevar a cabo mejoras extendidas en las facilidades peatonales en vías urbanas similares en Quito, utilizando como base los resultados obtenidos y las lecciones aprendidas durante el estudio, con el propósito de lograr una transformación integral en la seguridad y comodidad de los peatones al cruzar las calles, así como optimizar la movilidad urbana y fomentar un entorno vial más amigable y funcional en la ciudad.

1.5. Alcance

Este análisis, desarrollado a lo largo de un total aproximado de 3 kilómetros de la Avenida Princesa Toa, consistió en estudiar cómo los peatones y los conductores se desplazan por el área y cuáles son los desafíos que presentan al caminar.

A través de un trabajo de campo que se extendió durante 15 días, supervisamos y contamos el número de peatones, así como de vehículos, en los puntos más significativos. Esto nos hizo comprender cómo se mueve el peatón y dónde se hallan entonces los lugares con mayor riesgo o dificultad de una adecuada circulación.

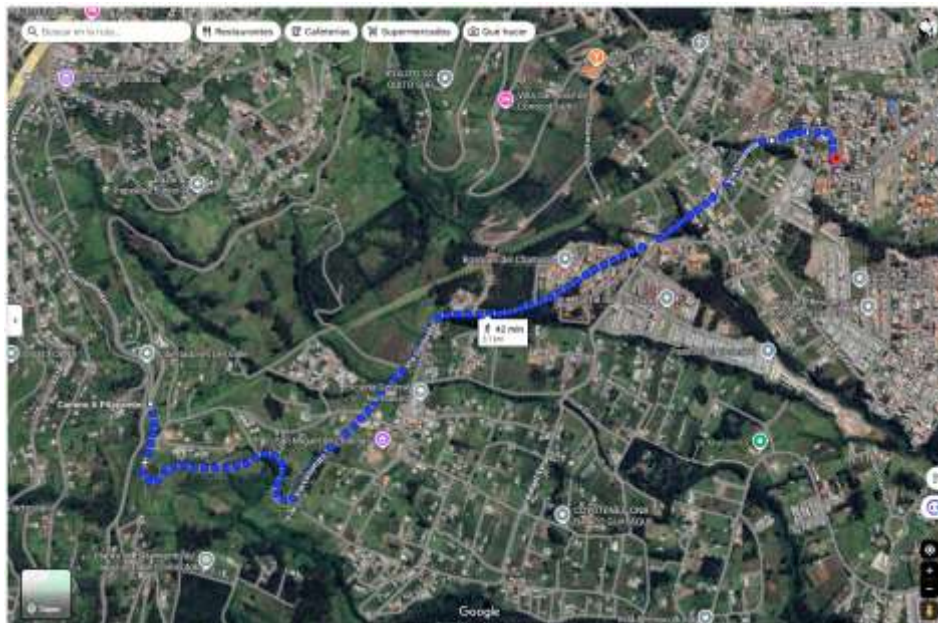
Nos centramos en realizar un análisis específico del estado de las aceras, de los pasos, de la señalización y de la accesibilidad para personas con discapacidades, personas mayores, niños y madres con coches de bebés. Queríamos respetar la posibilidad de que cada uno de ellos pudiese transitar con seguridad, sin dejar a nadie atrás.

Es importante señalar que, por la falta de tiempo, no llegamos a profundizar en el análisis específico del tráfico vehicular ni tampoco a diseñar soluciones específicas. No obstante, finalmente llegamos a un diagnóstico claro que permitirá seguir proyectando a futuro y proponiendo mejoras.

Como resultado, obtuvimos información valiosa sobre los principales desafíos que enfrentan los peatones y cómo hacer de la avenida un espacio más seguro, accesible y amigable para ellos.

Figura 2

Ubicación y referencias en Avenida Princesa Toa – Google Maps



Nota. Captura de pantalla de la visualización en Google Maps de la Avenida Princesa Toa y sus alrededores. Recuperada de <https://bit.ly/41yFbS6>

CAPITULO 2:

MARCO TEORICO

2.1. Contexto.

La movilidad en entornos rurales y periurbanos ha sido históricamente relegada en los procesos de planeación urbana, y este hecho ha originado importantes brechas en el acceso a la infraestructura tanto actual vial como peatonal. Así, en el caso del Valle de los Chillos, y de manera especial en la Avenida Princesa Toa, se puede ver una necesidad creciente por mejorar las condiciones de movilidad vehicular y peatonal. La zona ha sido marcada por un incremento demográfico importante, asociado al crecimiento de los barrios Santa Rosa de Conocoto, San José, El Chamizal, así como de la Comuna San Miguel de Chachas. Pero, hasta hoy, la infraestructura no ha podido responder al crecimiento de la población. De esta manera, se han ido generando problemas de congestionamiento vehicular, inseguridad peatonal y de accesibilidad para los grupos más vulnerables.

2.2 Importancia de las Facilidades Peatonales en Cruces Viales

Las facilidades peatonales, que constituyen el conjunto de infraestructuras, señalizaciones y elementos urbanos que permiten el desplazamiento a pie de forma segura y eficiente, son imprescindibles para cumplir las cuestiones de integración del sistema de transporte urbano y de reducción de la siniestralidad y, por tanto, para fomentar la llamada movilidad sostenible; los cruces peatonales, en este sentido, son los nodos de interacción entre peatones y vehículos, en este caso definidos por su capacidad de canalizar flujos, de priorizar la seguridad, de acoger a todo tipo de usuarios independientemente de su edad, sexo, condición física, etc.

2.3. Concepto de Facilidades Peatonales

Las facilidades peatonales hacen referencia a las infraestructuras y elementos creados a tal fin, para que las personas peatones lleven a cabo sus trayectos de forma segura y cómoda en las superficies urbanas. Las facilidades peatonales abarcan aceras, pasos de peatones, señalización vial, dispositivos para disminución de la velocidad de los vehículos, y otras intervenciones que pretenden mejorar las características del tráfico peatonal y su interacción con el tráfico vehicular.

Figura 3

Elementos y diseño de facilidades peatonales en entornos urbanos



Nota. Representación gráfica de conceptos y componentes clave de las facilidades peatonales, Recuperado de <https://publications.wri.org/citiessafer/es/>.

2.4. Importancia de Facilidades Peatonales en Cruces Viales.

Las intersecciones son lugares clave donde se mezclan el tránsito peatonal y vehicular, incrementando así el peligro de accidentes y conflictos. La ausencia de adecuadas facilidades peatonales en estos cruces puede amenazar la seguridad de los

peatones y complicar su movilidad, creando una impresión negativa del espacio urbano y afectando la calidad del entorno vial (Ruiz Castillo & Ignaci, 2020)

2.5. Aforos: Fundamento del Análisis de la Demanda

El aforo es un procedimiento sistemático de observación y registro que mide la magnitud y composición de los flujos en una vía. Es imprescindible para definir políticas y diseños de infraestructura vial fundamentadas en datos reales.

2.5.1. Definición de Aforos Peatonales

El aforo peatonal consiste en la cuantificación de personas que transitan por una sección vial específica, en un periodo temporal determinado. Permite determinar la demanda, los patrones horarios y las condiciones de saturación o subutilización, ajustando los niveles de servicio y planificación de mejoras.

Figura 4

Metodología de aforos peatonales para análisis de flujos en espacios urbanos



Nota. Representación gráfica de la metodología para medir y cuantificar flujos peatonales. Recuperado de <https://ecomovilidad.net/global/como-se-mide-el-numero-de-peatones-que-pasa-por-una-calle/>.

2.5.2. Definición de Aforos Vehiculares

Se refiere al conteo sistemático de vehículos que atraviesan un punto o tramo vial, clasificando el flujo por tipo, sentido y temporalidad, indispensable para el dimensionamiento de cruces, semaforización y rediseño geométrico.

Figura 5

Vehículos en el punto de aforo "Chachas", Avenida Princesa Toa



Nota. Fotografía original del autor.

2.5.3. Métodos de Aforo

Los métodos de medición del tráfico se basan en dos tecnologías: la medición manual, en la que los observadores registran el tráfico peatonal o vehicular directamente en el lugar durante un período específico; y la medición automatizada, en la que se utilizan sensores, cámaras, bucles magnéticos o sistemas de vídeo para

recopilar datos de forma continua y precisa. Estos dos métodos, combinados, proporcionan datos representativos para evaluar la demanda y los niveles de servicio, así como para diseñar planes de mejora vial.

Tabla 1

Métodos de aforo peatonal y vehicular

Método	Ventajas	Desventajas
Manual	Bajo costo, flexible	Menos preciso, esfuerzo alto
Mecánico/Electrónico	Preciso en largo plazo	Costo, requiere mantenimiento
Vehículo en movimiento	Cobertura rápida	Menos detalle en tipos de flujo

Nota: La tabla enumera los métodos de capacidad peatonal y vehicular y sus principales ventajas y desventajas.

2.6. Normas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP)

El MTOP de Ecuador establece un marco regulatorio técnico fundamental para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura vial, incluyendo las facilidades peatonales. Estas normas sirven como referencia obligatoria para garantizar la seguridad, accesibilidad y eficiencia en la movilidad de todos los usuarios, especialmente en vías urbanas con alta afluencia peatonal, como la avenida Princesa Toa y la Av. Gral. Alberto Enrique Gallo.

2.6.1. Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial (LOTTTSV)

La LOTTTSV es el marco legal principal que regula el tránsito y la seguridad vial en Ecuador. Esta ley establece disposiciones claras sobre la movilidad de peatones,

reconociendo el derecho a un entorno seguro y adecuado para su desplazamiento. Entre sus artículos más relevantes se encuentran:

- Artículo 192: "Los gobiernos autónomos descentralizados (GAD) son responsables de la planificación, construcción y mantenimiento de la infraestructura vial, incluyendo aceras y pasos peatonales, en su jurisdicción" (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008).
- Artículo 197: "Los conductores están obligados a respetar el derecho de paso de los peatones en los cruces peatonales debidamente señalizados y en las intersecciones donde no haya semáforos" (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008).
- Artículo 206: "Se fomenta la creación de infraestructura para movilidad alternativa y la implementación de carriles exclusivos para peatones y ciclistas en las principales vías de tránsito" (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008).

2.6.2. Reglamento a la Ley de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad

Vial

El reglamento complementa la ley orgánica y detalla las responsabilidades de las autoridades en la implementación de medidas de seguridad para los peatones. Entre sus disposiciones más importantes se destacan:

- Artículo 10: "Los gobiernos municipales deben planificar y desarrollar proyectos que incluyan la creación de rampas para personas con movilidad reducida, aceras adecuadas, y cruces peatonales accesibles en toda la red vial urbana" (MTOP, 2015).
- Artículo 27: "Las autoridades de tránsito están obligadas a implementar señalización horizontal y vertical que garantice la seguridad de los peatones,

especialmente en zonas escolares, intersecciones de alto tránsito y áreas residenciales” (MTOP, 2015).

2.6.3. Código Orgánico del Ambiente (2017)

El Código Orgánico del Ambiente promueve un enfoque de sostenibilidad en el desarrollo urbano, incluyendo la movilidad peatonal. Este código incentiva a los municipios a incorporar principios de movilidad sostenible en sus planes de ordenamiento territorial. Específicamente, el código fomenta el uso de medios de transporte no motorizados, como caminar y el uso de bicicletas, a través de la creación de infraestructura adecuada para los peatones (Asamblea Nacional del Ecuador, Código Orgánico del Ambiente, 2017).

2.6.4. Plan Nacional de Movilidad Sostenible y Segura

El Plan Nacional de Movilidad Sostenible y Segura, desarrollado por el MTOP, establece lineamientos para el desarrollo de una infraestructura peatonal inclusiva y segura en todo el país. Este plan promueve:

- Reducción de la siniestralidad vial mediante la implementación de cruces peatonales seguros y la mejora de la infraestructura peatonal en áreas urbanas y rurales (Ministerio de Transporte y Obras Públicas , 2020).
- Desarrollo de ciudades caminables: Incentiva a los gobiernos locales a desarrollar ciudades más amigables para los peatones mediante la construcción de aceras amplias, zonas peatonales, y la reducción de la velocidad vehicular en zonas de alto tránsito peatonal (Ministerio de Transporte y Obras Públicas , 2020).

2.6.5. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0042 (Accesibilidad a los Espacios Públicos)

Esta norma establece los requisitos mínimos de accesibilidad para los espacios públicos en Ecuador. Los elementos claves de esta normativa incluyen:

- Dimensiones mínimas de aceras: "Las aceras deben tener un ancho mínimo que permita el tránsito seguro de peatones, incluyendo aquellos en silla de ruedas" (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2002).
- Rampa de acceso: La norma establece los requerimientos técnicos para la instalación de rampas en intersecciones y entradas a edificios públicos, con el fin de mejorar la accesibilidad de los peatones con discapacidades físicas (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2002).

2.6.6. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)

El COOTAD otorga competencias a los GAD municipales para la gestión y regulación de la movilidad dentro de sus jurisdicciones. Según este código, los municipios son responsables de:

- Planificación y construcción de la infraestructura peatonal.
- Implementación de políticas públicas que garanticen la movilidad peatonal segura.
- Monitoreo y mantenimiento de las aceras y cruces peatonales para asegurar que cumplan con los estándares de seguridad establecidos.

2.6.7. Principales aspectos normativos:

Este marco regulatorio establece parámetros técnicos para el diseño y mantenimiento de la infraestructura peatonal vial urbana (incluyendo aceras, rampas y señalización), con énfasis en la accesibilidad universal y la seguridad vial. Estipula anchos mínimos de acera en función del volumen peatonal, una pendiente máxima de rampa del 8,33%, el uso de pavimento no táctil para personas con discapacidad visual y la señalización vertical y horizontal. También especifica estándares para cruces peatonales seguros, semáforos con señales sonoras e iluminación adecuada. El marco también promueve el mantenimiento preventivo y proactivo para garantizar la funcionalidad y seguridad continuas de estos espacios.

- **Manual de Diseño Geométrico de Carreteras Urbanas:** Define parámetros técnicos para la planificación de corredores viales, incluyendo el diseño de aceras, bordillos, rampas y señalización peatonal. Establece anchos mínimos de acera según la intensidad del flujo peatonal, la necesidad de accesibilidad universal y la coexistencia con equipamiento urbano.
- **Especificaciones Técnicas para Accesibilidad Universal:** Estándares alineados con la normativa INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) que regulan la implementación de rampas con pendientes máximas de 8.33%, uso de pavimentos podo táctiles para personas con discapacidad visual, y características de mobiliario urbano que faciliten el desplazamiento seguro.
- **La regulación de la Seguridad Vial en Vías Urbanas:** Se especifican toda una serie de requisitos de detalle sobre la señalización vertical y horizontal, los criterios para los cruces peatonales seguros, los sistemas de semaforización con

indicaciones auditivas, las disposiciones de visibilidad durante la noche mediante iluminación adecuada.

- **Mantenimiento y Rehabilitación Vial:** Normativas de control periódico de la infraestructura peatonal, criterios para la reparación de las aceras, puentes peatonales y eliminación de obstáculos. Se adopta la estrategia de un enfoque proactivo para evitar la involución que afecta la seguridad.

El cumplimiento rígido de la normatividad MTOP no solo garantiza la legalidad, sino que, además, implica un compromiso absoluto con la calidad de vida urbana; las vías son espacios inclusivos, seguros y utilizables por todos.

2.7. Experiencias en Otras Ciudades

El estudio de experiencias exitosas de implementación de facilidades peatonales en cruces viales de otras ciudades nos ofrece valiosas lecciones aprendidas. Por ejemplo: algunas ciudades europeas, como Copenhague y Ámsterdam, han adoptado políticas de movilidad en favor de peatones y ciclistas, con la finalidad de reducir la accidentabilidad y promover un ambiente urbano más amable. También en América Latina, otras ciudades como Bogotá han implementado cruces peatonales seguros y estrategias de "calles completas", que han integrado diversos modos de transporte y promueven una coexistencia segura entre peatones y vehículos.

Tabla 2

Comparativo de intervención peatonales Internacionales

Ciudad	Medida Principal	Reducción de Accidentes (%)	Elementos Destacados
--------	------------------	-----------------------------	----------------------

Copenhague	“Calles completas”	28	Cruces elevados, ciclovías
Bogotá	Zonas escolares	21	Isletas, señalización LED
Quito	Cruces pintados	10	Pasos cebra ampliados

Nota. Esta tabla nos muestra el comparativo de reducción de accidentes en otras ciudades del mundo.

2.8. Planificación del Uso del Espacio Público

Es fundamental planificar el uso del espacio público en zonas cercanas a pasos peatonales para aumentar la seguridad y comodidad de los viandantes. Un correcto diseño de plazas, parques y zonas de descanso cercanas a los cruces puede promover el uso a pie y facilitar una mejor convivencia entre peatones y vehículos. La adición de mobiliario urbano, áreas sombreadas y espacios verdes genera un ambiente atractivo y útil, enriqueciendo la experiencia peatonal y fomentando la conexión con la ciudad (NTE INEN, 2020)

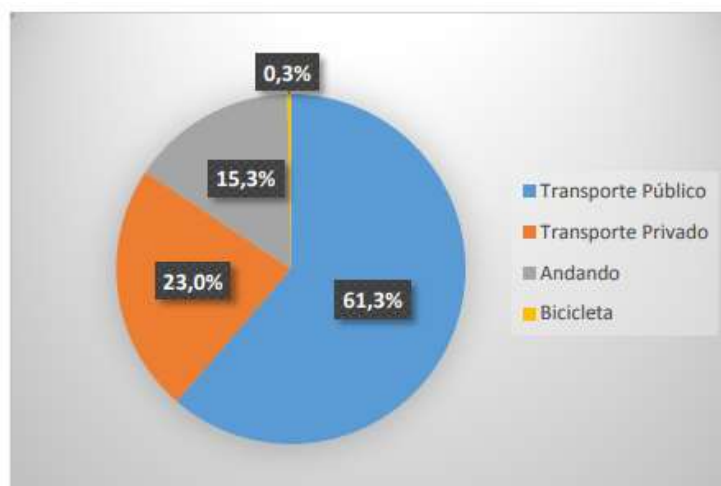
2.9. Análisis de Comportamiento Peatonal en Quito

2.9.1. Modo Peatonal en la Ciudad

En Quito, el 15% de los viajes urbanos se realizan a pie; sin embargo, la infraestructura peatonal no responde aún a estándares óptimos de seguridad, confort ni accesibilidad universal. (Movilidad, 2014).

Figura 6

Distribución porcentual de viajes según modo de transporte – 2014



Nota. Distribución modal de los viajes proyectados para 2014 en el Distrito

Según un estudio de movilidad de 2014 realizado por el Ministerio de Transporte para el proyecto Metro de Quito, el 61,3% de los viajes diarios en el área metropolitana de Quito se realizan en transporte público, el 23,0% en transporte privado, el 15,3% a pie y solo el 0,3% en bicicleta. Estas cifras indican que la mayoría de la población depende del transporte público, mientras que los medios de transporte no motorizados, como caminar o andar en bicicleta, representan una pequeña proporción de los viajes urbanos.

2.9.2. Seguridad Vial

La seguridad vial se ha convertido en un problema crítico en Quito: en 2023, se registraron 3816 accidentes de tránsito que resultaron en 329 muertes, una cifra superior a la de años anteriores (Primicias, 2024). Las principales causas son el exceso de velocidad, el incumplimiento de las señales de tránsito y la conducción en estado de ebriedad.

La avenida Simón Bolívar y la avenida Mariscal Sucre son conocidas por sus altos índices de accidentalidad, mientras que la avenida Princesa Toa en Conocoto también es conocida por sus peligros. En 2018, un accidente en esta vía causó cinco muertos y decenas de heridos, lo que pone de manifiesto los riesgos que representan sus tramos sinuosos y pendientes pronunciadas (El Comercio, 2018)

En respuesta, el gobierno municipal implementó una ordenanza de seguridad vial inspirada en la estrategia Visión Cero, cuyo objetivo es reducir los accidentes y priorizar la seguridad de las personas ((Quito informa, 2025)

Figura 7

Accidente de tránsito en la avenida Princesa Toa, Conocoto (2018).



Nota. Imagen del siniestro en la avenida Princesa Toa.

Según un informe de El Comercio de diciembre de 2018, un autobús perdió el control de los frenos en el bulevar Princesa Toa y se estrelló contra un muro residencial, causando la muerte de cinco personas y heridas al menos a 38. El accidente,

que también dañó postes de electricidad y vehículos particulares, causó considerable malestar en la comunidad y puso de relieve la frecuencia de este tipo de incidentes en la zona, a menudo relacionados con el exceso de velocidad, fallas mecánicas y un control de tráfico inadecuado. Esto subraya la importancia de fortalecer la infraestructura y la seguridad en corredores clave como Princesa Toa.

2.10. Seguridad Vial y Cruces Peatonales

La seguridad en el tránsito es un aspecto fundamental que debe considerarse en el diseño de las infraestructuras peatonales para los cruces de calles. Aplicar estrategias de diseño que disminuyan las interacciones entre peatones y vehículos, como isletas de refugio, pasos elevados y mejor visibilidad en cruces, es crucial para minimizar accidentes. La educación vial y concienciar sobre ceder el paso a peatones son esenciales para la seguridad en cruces peatonales.

2.11. Estudio de Tráfico

El estudio de tráfico es un método de vital importancia para reconocer y mejorar la interacción vehículos-peatones en las vías urbanas. En el marco de la Avenida Princesa Toa y la Av. General Alberto Enrique Gallo los estudios de tráfico también permiten conocer los patrones de flujo y de congestión, los tiempos de cruce, así como aquellos puntos críticos que afectan la seguridad peatonal o la eficiencia de la vía.

2.11.1. Elementos clave del estudio de tráfico:

- Reunir datos volumétricos mediante conteos de los vehículos y de los peatones en diferentes horarios de distinto días para llegar a una representatividad.

- Capacidad vial: análisis de la capacidad vial/de nivel de servicio (LOS) que determina la calidad operativa que presenta la vía en función del volumen y la velocidad.
- Identificación de puntos de conflicto y riesgo para peatones, como intersecciones sin señalización adecuada, cruces informales o zonas con alta concentración de vehículos pesados.

2.11.2. Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

El TPDA es un indicador fundamental que representa el volumen medio de vehículos que circulan por un tramo vial específico en un día promedio durante un año, ajustado según factores estacionales y variaciones diarias. Este dato es crucial para dimensionar adecuadamente la infraestructura vial y peatonal.

2.11.3. Cálculo del TPDA

En estudios cortos, como el realizado en la avenida Princesa Toa, el TPDA se estima mediante conteos en días representativos y factores de corrección por temporada y día de la semana.

$$TPDA = \frac{\sum_{i=1}^{365} Vi}{365}$$

Donde:

- Vi = Volumen de vehículos en el día i del año.

En estudios cortos, como el realizado en la avenida Princesa Toa, el TPDA se estima mediante conteos en días representativos y factores de corrección por temporada y día de la semana.

2.11.4. Aplicación en diseño peatonal:

- Determinar la necesidad de pasos peatonales con semaforización o puentes elevados.

- Planificación de tiempos seguros para el cruce peatonal en señales semafóricas.
- Dimensionamiento de aceras y áreas de espera para peatones.

Tabla 3**Ejemplo de tabla de tráfico TPDA estimado**

Punto de Conteo	Conteo Vehicular Diario	Factor Estacional	TPDA Estimado
Av. Princesa Toa – Sector Chamizal	411	1.05	13,125
Av. Gral. A. E. Gallo – Entrada Chamizal	337	1.10	9,24

Nota: Trafico estimado en la intersección Av. Princesa Toa y Gral. Alberto Gallo.

2.11.5. Métodos Existentes para Hallar el Nivel de Servicio Peatonal

Para evaluar los niveles de servicio peatonal se utilizan métodos como el HCM 2010, que categoriza la calidad del servicio en seis niveles (A-F) con base en el ancho de las aceras y las intersecciones, el flujo y las condiciones ambientales; el método NCHRP 562, que evalúa los cruces de calles con base en la exposición, el tiempo de espera y el riesgo; el Método Multimodal NCHRP 616, que integra las interacciones de peatones, bicicletas y vehículos e INEN/MTOP; y la Alineación Regulatoria Nacional, que establece parámetros mínimos de tamaño, accesibilidad y barreras para asegurar un desplazamiento peatonal seguro y eficiente.

- Nivel de Servicio (LOS) Peatonal según HCM 2010
Define seis niveles (A-F) de servicio según ancho, flujos y condiciones ambientales, siendo A el óptimo y F el inaceptable.
- Evaluación de Cruces Peatonales según NCHRP 562

Considera exposición peatonal, tiempo de espera y probabilidad de conflictos para parametrizar la calidad del cruce.

- Nivel de Servicio Multimodal según NCHRP 616

Evalúa interacciones simultáneas entre peatones, bicicletas, transporte y vehículos motorizados para determinar la eficiencia global del diseño vial.

- Ajustes a las Normas Nacionales (INEN & MTOP, 2010)

La norma NTE INEN 2243 establece las normas nacionales para el diseño de aceras, la accesibilidad y las dimensiones mínimas (ancho, pendiente, obstáculos y zonas de descanso).

Exige un ancho libre útil mínimo de 1,60 metros, una superficie antideslizante y un acceso sin barreras, lo que complementa la evaluación del nivel de servicio.

Tabla 4

Niveles de servicio peatonal según la superficie (manual HCM adaptado en Ecuador)

Nivel	Superficie (m ² /pt)	Características
A	> 11,70	Flujo libre, confort óptimo, baja densidad
B	> 3,6	Flujo sin molestias, poca interacción
C	> 2,16	Comienza interacción entre peatones
D	> 1,35	Confraternidad frecuente, leves molestias
E	> 0,54	Congestión grave, poco confort
F	<= 0,54	Saturación total, sin flujo, alto riesgo

Nota. Adaptado de HCM 2000/2010 y NTE INEN 2243

2.11.6. Análisis de Ocurrencia de Accidentes y Auditorías de Seguridad

Vial

Se emplean análisis espaciales de siniestralidad (heatmaps) y revisiones técnicas estructuradas para identificar factores de riesgo latente y priorizar intervenciones.

2.11. Antecedentes

Recientemente, la movilidad de los peatones ha sido un asunto importante en el entorno urbano de Quito, Ecuador. El aumento de la población y la expansión urbana han incrementado el tráfico, afectando la seguridad y comodidad de los peatones al cruzar las calles. Investigaciones anteriores han demostrado la presencia de pasos viales inadecuados, con señalización pobre, falta de estructuras apropiadas y elevadas tasas de accidentes peatonales. Estos datos subrayan la urgencia de hacer mejoras en las áreas peatonales en intersecciones viales para asegurar la protección y el bienestar de los transeúntes.

Tabla 5

Causas Principales de Siniestros Viales en Ecuador 2018-2022

Causa principal	% de siniestros	% de fallecidos
Falta de atención al tránsito	56.8%	54.0%
Estado de embriaguez	12.4%	15.2%
No ceder preferencia al peatón	10.5%	9.8%
Exceso de velocidad	7.2%	12.0%

Imprudencia peatonal	4.3%	3.1%
Adelantamiento inadecuado	2.2%	1.7%
Factor climático	2.1%	1.3%
Daños mecánicos	1.8%	1.1%
Otros	2.7%	1.8%

Nota: Adaptada de Congacha et al. (2019) y anuario de seguridad vial.

2.12. Fundamentos Teóricos

La teoría del espacio público enfatiza que el diseño urbano debe promover la inclusión social y la convivencia comunitaria, crear entornos peatonales y fomentar el uso del espacio, así como los desplazamientos activos y sostenibles. La teoría del desplazamiento activo enfatiza la promoción del desplazamiento a pie y en bicicleta para mejorar la calidad de vida y reducir la congestión vehicular. Finalmente, la teoría del diseño inclusivo prioriza la construcción de entornos accesibles para todos, aplicando principios universales para garantizar que personas de todas las capacidades tengan acceso a espacios seguros y cómodos para caminar.

- **Teoría de Espacio Público:** Esta teoría destaca la importancia de un diseño urbano que favorezca la inclusión y el encuentro social en espacios públicos. Un diseño enfocado en peatones y en crear ambientes amigables, buscando fomentar la apropiación del espacio público y cultivar un sentido de pertenencia en la comunidad, además de facilitar una movilidad más activa y sostenible.
- **Teoría de la Movilidad Activa:** Esta teoría enfatiza la importancia de promover transportes activos, como caminar y andar en bicicleta, para mejorar la calidad de vida y reducir el tráfico. Fomentar infraestructuras peatonales

seguras y confortables ayuda a incentivar el caminar, como opción válida y atractiva para la ciudadanía.

- **Teoría de Diseño Inclusivo:** La teoría revela la importancia de crear entornos y servicios para todas las personas, sin importar sus capacidades. La aplicación de principios de Diseño Universal en infraestructuras peatonales garantiza que todas las personas disfruten de un entorno seguro y accesible para caminar.

2.13. Hipótesis, variables e indicadores

2.13.1. Hipótesis

En la Avenida Princesa Toa, la infraestructura física inadecuada genera aglomeración peatonal y vehicular, aumentando los riesgos de accidentes y comprometiendo la seguridad y eficiencia en la movilidad. Las deficiencias en las condiciones físicas incluyen la falta de facilidades peatonales para el cruce de las vías, la ausencia de semaforización en puntos clave, la carencia de señalización adecuada, y la falta de infraestructura para formas de movilidad alternativa como el uso de bicicletas. Además, estas deficiencias están asociadas con una mayor incidencia de accidentes de tránsito, especialmente en las intersecciones más congestionadas.

La indagación propone que la mejora de las condiciones de las infraestructuras viales mediante la incorporación de señalización y semáforos en los puntos más susceptibles de congestión reduciría drásticamente los niveles de congestión y el riesgo de accidentes, además de mejorar la eficacia en el desplazamiento de peatones y vehículos.

2.13.2. Variables

La verificación de esta hipótesis implica identificar y medir variables clave que reflejen las condiciones actuales de la avenida y los efectos de las posibles mejoras. A continuación, se describen las variables utilizadas en esta investigación:

- **Variable Independiente:**

Las condiciones físicas de la Avenida Princesa Toa incluyen la calidad deficiente de la infraestructura peatonal, con aceras, cruces y rampas que requieren mejora; la limitada disponibilidad de semaforización en intersecciones y cruces peatonales; la insuficiente presencia y claridad de la señalización vial tanto horizontal como vertical; y la falta de facilidades adecuadas para la movilidad alternativa, como carriles exclusivos para bicicletas y áreas específicas para el transporte público. Estos aspectos afectan negativamente la seguridad, accesibilidad y fluidez tanto para peatones como para vehículos en la avenida.

- **Variable Dependiente:**

Los niveles de aglomeración peatonal y vehicular en la Avenida Princesa Toa son indicadores clave para evaluar la movilidad en la zona. Estos se miden mediante el volumen de tráfico vehicular durante horas pico y no pico, el número de peatones que cruzan las intersecciones y circulan por la vía, los tiempos promedio de desplazamiento de vehículos y peatones, y la frecuencia de accidentes en los puntos críticos. Estos datos permiten comprender la eficiencia y seguridad del sistema vial y peatonal, facilitando la planificación de mejoras que optimicen la movilidad y reduzcan riesgos.

- **Variables Intervinientes:**

Factores como las condiciones climáticas pueden afectar el tránsito y la seguridad en la Avenida Princesa Toa, mientras que la variabilidad de la demanda del transporte

público durante las horas pico influye en el flujo vehicular y peatonal. Además, la densidad poblacional de los barrios aledaños incrementa el uso de la avenida, y los horarios de operación de servicios como escuelas y comercios determinan patrones de movilidad que impactan directamente en los niveles de congestión y en la dinámica de circulación en esta vía.

2.13.3. Indicadores

Para medir y evaluar las variables mencionadas, se utilizarán los siguientes indicadores:

- **Condiciones Físicas de la Avenida:**

En la Avenida Princesa Toa se evaluó la proporción de metros lineales de aceras amplias y seguras para el tránsito peatonal, junto con el número de cruces peatonales señalizados, tanto semaforizados como no semaforizados, ubicados en puntos estratégicos. Se cuantificaron las señales de tránsito verticales y horizontales, revisando su estado de conservación. Además, se identificaron la existencia y longitud de carriles exclusivos para bicicletas y transporte público, así como el número y ubicación de semáforos en las intersecciones principales. La señalización vial general fue analizada para asegurar que estuviera en condiciones adecuadas para garantizar la seguridad y fluidez del tránsito en la avenida.

- **Aglomeración Pevalonal y Vehicular:**

En el análisis de la Avenida Princesa Toa se midió la cantidad de vehículos por hora en puntos clave durante las horas pico para evaluar la intensidad del tráfico vehicular. Se contabilizó el número de peatones que cruzan la avenida, con especial énfasis en áreas donde no existen cruces peatonales seguros. Además,

se calcularon los tiempos promedio de desplazamiento tanto de peatones como de vehículos durante los periodos de mayor congestión, y se revisaron los reportes de accidentes para identificar los puntos más peligrosos a lo largo de la avenida, con el fin de priorizar intervenciones de seguridad vial. Los métodos de aforo utilizados para el conteo de tránsito incluyen técnicas manuales, como conteos directos de peatones y vehículos, y métodos automáticos que emplean sensores magnéticos, radares, lazos inductivos y cámaras de video. Estos permiten medir el flujo, tipos y velocidades, optimizando la recolección de datos para la gestión vial

- **Accesibilidad Peatonal y Seguridad Vial:**

Se analizaron el número de accidentes peatonales en la Avenida Princesa Toa, poniendo especial énfasis en aquellos causados por la falta de infraestructura adecuada, como semáforos y cruces peatonales seguros. Además, se calculó un índice de seguridad peatonal que relaciona la cantidad de peatones que transitan por la avenida con las condiciones de la infraestructura existente, lo que permite evaluar objetivamente el nivel de seguridad y priorizar áreas de intervención para reducir riesgos y mejorar la protección de los usuarios vulnerables. Los métodos de aforo utilizados para el conteo de tránsito incluyen técnicas manuales como conteos directos de peatones y vehículos, así como métodos automáticos que emplean tecnologías como sensores magnéticos, radares, lazos inductivos y cámaras de video. Estos métodos permiten medir el flujo, tipos y velocidad de los vehículos o peatones, optimizando la recolección de datos y facilitando la planificación y gestión vial.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de Investigación

El presente estudio constituye un proyecto de investigación aplicada de tipo cuantitativo, que pone en práctica métodos descriptivos y analíticos. El estudio tiene como finalidad conocer y comprobar las condiciones reales de los peatones y de los vehículos en la Avenida Princesa Toa, en el tramo Chamizal, durante 15 días del año 2023. El estudio persigue la posibilidad de utilizar datos empíricos y simulaciones informáticas para respaldar las soluciones técnicas que se proponen para mejorar la seguridad vial, la accesibilidad y la eficiencia.

Esta metodología de investigación tiene sentido en relación con la necesidad de proveer evidencia objetiva para confeccionar intervenciones de carácter técnico sobre problemas que se han diagnosticado en aquellas zonas clave donde existe una elevada densidad de peatones y vehículos. Esta metodología de investigación se basa en principios científicos y técnicos reconocidos de la investigación urbana en Ecuador y Latinoamérica.

3.2. Metodología

Para la recopilación y el análisis de datos, combinamos múltiples métodos, complementando la observación directa con herramientas digitales:

- Observación directa y conteo manual: Esta técnica ha sido tradicional y probada durante años para medir con precisión los flujos de peatones y vehículos,

permitiendo registrar en tiempo real el comportamiento y condiciones específicas.

- Simulación por computadora: Se empleó el software Synchro 11 para simular la dinámica del tráfico y poder estudiar el impacto de la colocación de señales de tráfico en los cinco puntos críticos, medida a partir de la calidad del servicio, los tiempos de espera y la cantidad de conflictos que se reducen.
- Análisis cartográfico: La georreferenciación de posiciones, así como la codificación espacial de los puntos clave, propiciaron la visualización e integración de datos.
- Revisión de documentos regulatorios: El análisis crítico de la normativa y de los manuales técnicos del MTOP que regulan el diseño vial, la accesibilidad y la seguridad peatonal en Ecuador.
- Análisis de contenido: Se procesaron datos cualitativos de observaciones de campo y percepciones de los usuarios para enriquecer la evaluación.

3.3. Técnicas y Herramientas de Recolección de Datos

3.3.1 conteos de Peatones y Vehículos

Este estudio realizó conteos vehiculares intensivos en cinco puntos clave a lo largo de la Avenida Princesa Toa, ubicados estratégicamente durante períodos representativos del flujo vehicular diario:

Tabla 6

Registro Horario de Circulación Peatonal y Vehicular en 5 Puntos Críticos – Av.

Princesa Toa

Hora	Descripción
------	-------------

6:00 AM – 9:00 AM	hora punta matutina
11:00 AM – 2:00 PM	hora valle
4:00 PM – 7:00 PM	hora nocturna temprana

Nota. Se utilizó un registro manual con 3 personas y una Cámara para garantizar la precisión y para su posterior revisión.

Tabla 7.

Distribución de Conteos y Simulación en Puntos Críticos - Av. Princesa Toa

Punto Crítico	Ubicación	Horarios Conteo	Tipo de Conteo	Acción Simulada
PC-01	Intersección Av. Simón Bolívar	6-9 am, 11 am, 2 pm, 4 pm, 7 pm	Peatonal y Vehicular Manual	Instalación de semáforo
PC-02	Cruce con calle secundaria	6-9 am, 11 am, 2 pm, 4 pm, 7 pm	Peatonal y Vehicular Manual	Instalación de semáforo
PC-03	Sector Chamizal	6-9 am, 11 am, 2 pm, 4 pm, 7 pm	Peatonal y Vehicular Manual	Instalación de semáforo
PC-04	Entrada a zona comercial	6-9 am, 11 am, 2 pm, 4 pm, 7 pm	Peatonal y Vehicular Manual	Instalación de semáforo
PC-05	Confluencia con Av. Ilalo	6-9 am, 11 am, 2 pm, 4 pm, 7 pm	Peatonal y Vehicular Manual	Instalación de semáforo

Nota. Puntos estratégicos en la Av. Princesa Toa.

3.3.2. Simulación del flujo vehicular

Este estudio utilizó Synchro 11, un software profesional reconocido por su modelado y simulación de intersecciones complejas y sistemas de semáforos. Se crearon escenarios de referencia (sin semáforos) y escenarios con semáforos en cinco intersecciones para comparar las siguientes métricas:

- Cambios en el nivel de servicio (LOS).
- Tiempos de espera de peatones y vehículos.

- Reducción de conflictos entre peatones y vehículos.

Estos datos respaldan la toma de decisiones técnicas precisas respecto a la implementación de dispositivos de control vial, mejorando así la seguridad y la movilidad.

3.3.3. Observación directa y conteo manual

Profesionales capacitados realizaron observaciones in situ, centrándose no solo en el conteo, sino también en el registro de observaciones cualitativas:

- Cruces viales inseguros o irregulares.
- Obstáculos físicos en aceras e intersecciones (p. ej., basura, mobiliario urbano, comercio informal).
- Tiempos de viaje eficientes en diferentes condiciones.
- Obstáculos que enfrentan las personas con discapacidad, las personas mayores y los niños.

Esta información complementa los datos cuantitativos y proporciona un enfoque social crucial para el desarrollo de propuestas inclusivas.

3.3.4. Revisión de Documentos Técnicos y Normativos

Se revisaron los documentos normativos oficiales del Ministerio de Obras Públicas (MTOP) y del Instituto Nacional de Investigaciones Físicas (INEN), así como investigaciones relacionadas con la accesibilidad y el diseño vial en Quito. Esto garantizó que la investigación se ajustara a los estándares técnicos más recientes, asegurando así la precisión en la planificación de las intervenciones propuestas.

3.3.5. Análisis de Mapas

Se utilizan mapas digitales y sistemas de información geográfica (SIG) para:

- Determinar la ubicación precisa y el código de cada punto de análisis.
- Visualizar la distribución espacial de los flujos de tráfico y los conflictos detectados.
- La combinación de mapas con simulaciones permite un análisis exhaustivo y una presentación eficaz a las partes interesadas y autoridades locales.

3.3.6. Simulación Preliminar de Tráfico

Antes de la simulación final, se realizaron pruebas para calibrar parámetros como la velocidad, la sincronización de los semáforos y el flujo peatonal, con el fin de garantizar que el modelo computacional reflejara con precisión las condiciones reales observadas en el sitio.

3.3.7. Análisis de Contenido

Se realizó un análisis cualitativo de los registros de campo y testimonios para categorizar las percepciones de seguridad y accesibilidad y correlacionarlas con resultados cuantitativos para mejorar la evaluación general.

3.4. Proceso Técnico de Ingeniería Civil

Para garantizar un análisis riguroso y práctico, el proceso técnico siguió las siguientes fases:

Tabla 8.

Etapas del Proceso Técnico de Ingeniería Civil Aplicado en el Análisis de Cruces

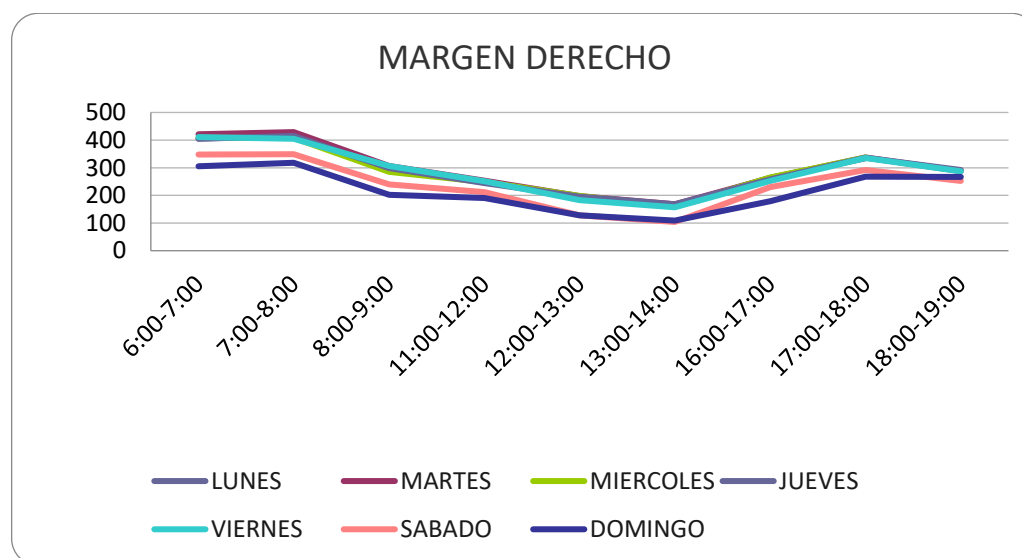
Peatonales en la Av. Princesa Toa

Etapa	Descripción
Diagnóstico y levantamiento	Recolección de datos cuantitativos y cualitativos en campo durante 15 días consecutivos
Codificación y organización	Georreferenciación, codificación y estructuración de la base de datos para análisis estadístico y espacial
Modelado y simulación	Uso de Synchro 11 para modelar flujos actuales y proponer escenarios de mejora con semáforos
Implementación virtual de semáforos	Simulación de la instalación de semáforos en 5 intersecciones críticas y evaluación del impacto
Evaluación y comparación	Análisis comparativo de niveles de servicio, tiempos y conflictos entre escenarios
Validación y corrección	Ajuste del modelo con base en observaciones y retroalimentación técnica y de usuarios

Nota. Proceso técnico aplicado en cruces.

Figura 8

Volumen de tráfico vehicular registrado en el margen derecho de la vía



Nota: El gráfico representa un promedio del conteo realizado durante 15 días en diferentes horarios.

Tabla 9

Comparación de Niveles de Servicio (LOS) en Intersecciones Críticas

Punto Crítico	Escenario Actual (sin semáforo)	Escenario Propuesto (con semáforo)
PC-01	D	B
PC-02	E	C
PC-03	D	B
PC-04	E	C
PC-05	D	B

Nota. (Niveles de servicio: A (excelente) a F (muy deficiente). La instalación de semáforos mejora considerablemente el flujo y seguridad.)

3.5. Sección Adicional: Verificación de Datos Estadísticos

Para garantizar la calidad de los datos, se realizaron pruebas de consistencia y fiabilidad de los conteos:

- 1. Prueba de Cronbach ($\alpha=0.87$)

Es una medida de consistencia interna o fiabilidad de un conjunto de datos o instrumentos de medición, por ejemplo, cuestionarios o un sistema de conteo repetido. Indica qué tan relacionados están entre sí los ítems o mediciones de una misma variable.

Un valor α (alfa) cercano a 1 muestra alta consistencia interna. En nuestro caso, $\alpha=0.87$ refleja que los conteos realizados durante los 15 días son fiables y consistentes. Se usa para garantizar que las mediciones repetidas (por ejemplo, conteos diarios) dan resultados homogéneos y estables.

Interpretación:

$\alpha \geq 0.9$: Excelente

$0.8 \leq \alpha < 0.9$: Bueno (caso)

$0.7 \leq \alpha < 0.8$: Aceptable

$\alpha < 0.7$: Insuficiente

- 2. Análisis de Varianza (ANOVA)

El ANOVA es una técnica estadística para comparar las medias de tres o más grupos, en tu caso, diferentes franjas horarias de conteo de tráfico.

Sirve para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los flujos medidos en distintas horas.

ANOVA descompone la variabilidad total de los datos en dos partes:

- Variabilidad entre grupos (diferencias entre horas diferentes)
- Variabilidad dentro de grupos (variación propia dentro de cada hora)
- Mediante la prueba F, se decide si las diferencias entre medias son mayores que las que pueden esperarse por azar.
- En nuestro estudio, confirma que hay diferencias significativas en el flujo del tráfico entre franjas punta y valle, justificando la selección de esos horarios para los conteos.

- 3. Correlación de Pearson ($r=0.92$)

La correlación de Pearson mide la fuerza y dirección de la relación lineal entre dos variables cuantitativas.

- En nuestro caso, se usó para comparar los conteos manuales con los registros audiovisuales.

- Un valor de $r=0.92$ indica una muy alta correlación positiva, es decir, que ambos métodos de conteo entregan resultados muy similares, validando la precisión del conteo manual.
- Valores cercanos a 1 indican alta concordancia; 0 indicaría ausencia de relación.

Tabla 10.

Resumen gráfico de las pruebas estadísticas

Prueba	Objetivo	Resultado en el estudio	Interpretación
Prueba de Cronbach	Consistencia interna	$\alpha = 0.87$	Alta fiabilidad
Análisis de Varianza (ANOVA)	Comparar medias entre franjas horarias	Diferencias significativas encontradas	Justifica selección horarios
Correlación de Pearson	Validar relación entre métodos conteo	$r = 0.92$	Alta precisión del conteo manual

Nota. Los resultados estadísticos confirman la consistencia interna, la validez de las franjas horarias y la alta precisión del conteo manual.

CAPÍTULO 4:

FASE DE DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA MOVILIDAD EN LA AV. PRINCESA TOA.

4.1. Inspección Visual

La inspección visual es una técnica fundamental y sistemática para diagnosticar el estado general y funcional de una vía (en este caso, la Av. Princesa Toa). Este método implica una inspección directa y detallada a lo largo del tramo de estudio para determinar su estado actual, las deficiencias estructurales y funcionales, y la presencia o ausencia de elementos de seguridad vial.

En la avenida Princesa Toa, la inspección visual evaluó lo siguiente:

- El estado físico de las aceras, accesos vehiculares y pasos de peatones.
- La presencia o ausencia de daños como grietas, baches, deformaciones y obstrucciones (por ejemplo, postes de electricidad, vendedores ambulantes y basura que bloquea las aceras).
- La presencia y el estado de la señalización horizontal y vertical.
- Las instalaciones de accesibilidad para grupos vulnerables, incluyendo rampas y señales táctiles.
- Las condiciones de iluminación y los dispositivos de protección peatonal.

Se realizaron inspecciones en diferentes intervalos de tiempo en cinco puntos clave identificados en el estudio, recopilando información complementada con fotografías y videos para su documentación y posterior análisis. Este proceso se adhiere a métodos reconocidos de evaluación de vías urbanas.

Tabla 11

Parámetros y criterios de evaluación en la inspección visual

Elemento Evaluado	Parámetro Técnico	Criterio / Umbral	Fuente / Normativa
Aceras	Ancho útil libre mínimo (m)	≥ 1.8 m	NTE INEN 2243 (2010)
	Continuidad y obstrucciones	Menos de 10% de superficie obstruida	Manual MTOP (2021)
Pavimento	Presencia de grietas, baches, deformaciones	Evaluación PCI: ≥ 70 = bueno	PCI (Índice de Condición del Pavimento)
Señalización Horizontal	Visibilidad y estado de marcas	100% marcaje reflectante y visible	Reglamento Técnico MTOP
Señalización Vertical	Cantidad y estado de señales	100% señales funcionales y legibles	Reglamento Técnico MTOP
Accesibilidad	Presencia de rampas, pavimento táctil y señalética	Rampas accesibles en cruces, pavimento táctil	NTE INEN 2243 (2010)
Iluminación	Estado y funcionamiento	Iluminación suficiente para visibilidad nocturna	Manual MTOP (2021)

Nota. Adaptada de Ministerio de Obras Públicas (2021), Instituto Ecuatoriano de Normalización (2010) y Rodríguez et al. (2024).

Los criterios y parámetros corresponden a normativas oficiales y metodologías reconocidas para la evaluación de vías urbanas en Ecuador.

La inspección encontró que se necesitan mejoras en el mantenimiento de aceras y pavimento, refuerzo de señalización y actualizaciones de accesibilidad, lo que tendrá un impacto positivo en la seguridad y el desplazamiento de peatones y conductores a lo largo de la Avenida Princesa Toa.

Tabla 12

Porcentaje de daños identificados en la inspección visual

Tipo de daño	Porcentaje (%)
Grietas y baches	45
Obstrucciones	25
Señalización dañada	20
Falta de accesibilidad	10

Nota. Análisis de daños observados en Av. Princesa Toa

4.2. Técnicas y herramientas de recolección de datos

Para obtener resultados de diagnóstico completos y confiables, se emplearon las siguientes técnicas y herramientas:

- Observación directa y conteo manual: Técnicos capacitados contabilizaron manualmente a peatones y vehículos en cinco puntos clave y momentos representativos durante 15 días consecutivos, documentando su comportamiento y circunstancias específicas.

- Fotografía y video sistemáticos: La documentación visual proporcionó evidencia detallada y un análisis de las deficiencias o deficiencias identificadas, a la vez que contribuyó a la sensibilización de la comunidad y las autoridades.
- Simulaciones computacionales con Synchro 11: El software de simulación vial simula escenarios de flujo vehicular y peatonal para evaluar la efectividad de soluciones técnicas como la instalación de señales de tránsito.
- Análisis cartográfico y georreferenciación: Se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG) para geolocalizar y codificar los tramos viales evaluados, integrando información espacial con datos de campo para un análisis multidimensional.
- Revisión de documentos regulatorios: Se consultaron regulaciones y manuales técnicos nacionales (MTO, INEN) e internacionales para respaldar los estándares técnicos y regulatorios para la evaluación. Análisis de contenido: La información cualitativa obtenida mediante observación directa, grabaciones de audio y video se sistematizó e interpretó para complementar la evaluación estadística.

4.3. Procedimiento de investigación y análisis de datos

El procedimiento de diagnóstico se desarrolló en varias etapas secuenciales para garantizar la precisión y el rigor:

- Selección de puntos críticos: Se seleccionaron cinco intersecciones con tráfico intenso de peatones y vehículos como foco principal del estudio.
- Estudio del sitio: Se realizaron inspecciones visuales, conteos manuales y documentación fotográfica en cada punto durante las horas clave (6:00-9:00,

11:00, 14:00, 16:00 y 19:00) para capturar las variaciones y condiciones del flujo vehicular.

- Registro fotográfico: Se registraron imágenes de defectos estructurales y del sistema de señalización para un análisis oportuno y una presentación clara.
- Procesamiento de datos: Los datos de conteo fueron recogidos en una base de datos, analizados estadísticamente y cargados en el software Synchro 11 para la ejecución de simulaciones y para evaluar el impacto de las medidas planteadas (por ejemplo, la señalización vial).
- Análisis interdisciplinario: Se compararon datos cuantitativos con datos cualitativos y normativos para comprender las causas y los efectos, priorizar los problemas y elaborar recomendaciones.

Este proceso otorgó un diagnóstico fiable y representativo de las condiciones viales existentes en el tramo estudiado, asegurando la pertinencia y aplicabilidad de las recomendaciones emitidas.

4.4. Registro fotográfico

El registro fotográfico documentó las principales deficiencias detectadas y las clasificó por tema para facilitar su comprensión:

4.4.1. Falta de pasos peatonales

Se observó la ausencia o falta de pasos peatonales señalizados en varios tramos clave de la avenida. Esto obligaba a los peatones a cruzar la calzada en zonas no reguladas, exponiéndolos a un alto riesgo de colisión.

- Pasos peatonales informales sin señalización ni medidas de protección.
- Ausencia de demarcaciones claras, como pasos de cebra u otros elementos que alertaran a los conductores.
- Esta deficiencia era especialmente grave en hora punta, debido a los frecuentes conflictos entre vehículos y peatones.

Figura 9

Falta de pasos peatonales en la avenida principal del sector San Miguel de Chachas.



Nota. Fotografía propia de autor.

La evaluación de la A. Princesa Toa incluyó el tráfico vehicular por hora en puntos clave durante las horas punta, así como el número de peatones que cruzan la calle en diferentes zonas, con especial atención a las zonas sin cruces peatonales seguros. La evaluación también calculó los tiempos promedio de viaje de vehículos y peatones y revisó los informes de accidentes para identificar las zonas de mayor riesgo. Esta información es crucial para comprender la dinámica del tráfico y la seguridad en el

bulevar, lo que ayuda a orientar futuras intervenciones para mejorar las condiciones del tráfico y proteger la seguridad de los usuarios.

4.4.2. Falta de Sistemas de Semáforos

En estas cinco intersecciones clave, no hay semáforos peatonales, o los sistemas existentes son inadecuados o no funcionan correctamente, lo que dificulta la gestión y sincronización efectiva del tráfico.

- La congestión vehicular es grave y se carece de un sistema integral de gestión del tráfico.
- Los peatones deben competir por el derecho de paso sin horarios de seguridad claros.
- Los resultados de la simulación indican que la instalación de semáforos mejoraría significativamente la seguridad y la fluidez del tráfico.

Figura 10

Falta de sistemas de semáforos en intersecciones clave del sector Los Tubos.



Nota. Fotografía propia de autor..

Una fotografía tomada por el autor muestra la falta de un sistema de semáforos en la zona de Los Tubos, lo que contribuye a la congestión vehicular. Esta falta obliga a peatones y conductores a competir por el derecho de paso sin un horario claro y seguro, lo que limita la gestión eficaz del tráfico y aumenta el riesgo de accidentes en la zona. Este problema pone de manifiesto la necesidad de implementar un sistema integral de semáforos para mejorar la seguridad vial y la movilidad en la zona.

4.4.3. Falta de Semáforos Horizontales y Verticales

En muchos tramos de carretera, la señalización vial es inexistente o se encuentra en mal estado:

- Los semáforos horizontales en cruces peatonales, entradas para vehículos y zonas de aparcamiento están rotos o inexistentes.
- Los semáforos verticales en zonas de alto riesgo están dañados, vandalizados o no están instalados.
- Esto reduce la percepción del riesgo para conductores y peatones, aumentando la probabilidad de accidentes.

Figura 11

Falta de señalización Horizontal y vertical en San Miguel de Chachas.



Nota. Fotografía propia de autor.

Esta foto, muestra la falta de señalización vial horizontal y vertical en la zona de San Miguel de Chachas. La falta de señalización en cruces peatonales, entradas y salidas de vehículos, y zonas peligrosas reduce la percepción de peligro para conductores y peatones, lo que aumenta la probabilidad de accidentes en la zona. Esta falta de elementos de seguridad vial representa un riesgo significativo, afectando la seguridad vial y la fluidez del flujo en la zona.

4.5. Ancho de la Vía

Analizar el ancho disponible para el tráfico peatonal y vehicular es crucial para evaluar la funcionalidad y la seguridad de la infraestructura urbana. Se midieron los anchos de las aceras y las vías, comparándolos con las normas vigentes (MTOP, INEN), lo que reveló deficiencias significativas.

Tabla 13.
Comparación de Anchos de Aceras y Calzadas con Estándares Normativos Vigentes (MTOP, INEN).

Tramo de Vía	Ancho Acera (m)	Ancho Recomendado (m)	Ancho Calzada (m)	Observaciones
Intersección Av. Princesa Pacha	1.1	1.8 - 2.5	7.2	Aceras estrechas, presencia de obstáculos físicos
Sector Chamizal	1.3	1.8 - 2.5	7.0	Invación de aceras por comercio informal, limitando paso
Cruce con Av. Ilalo	1.0	1.8 - 2.5	7.5	Aceras angostas sin rampas accesibles, falta de demarcación
Entrada zona comercial	1.2	1.8 - 2.5	6.8	Obstáculos variados: postes, mobiliario urbano y basura

Nota. Los anchos de acera son inferiores a la normativa vigente (MTOP, INEN), afectando la accesibilidad y seguridad peatonal.

Figura 11

Daños visibles de grietas y baches sobre pavimento vehicular



Nota: Fotografías tomadas durante inspección de campo. Autor.

CAPÍTULO 5:

TRABAJO EN CAMPO Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

5.1. Vías levantadas en el año 2023.

En 2023, se realizó una encuesta de campo sistemática en la parroquia de Conocoto, en el área metropolitana de Quito, para inventariar y analizar el estado actual de las vías que afectan directamente el tránsito peatonal y vehicular. La encuesta trascendió las mediciones técnicas e incorporó observaciones cualitativas para evaluar las experiencias reales de los usuarios de la vía, incluyendo peatones, ciclistas, conductores de transporte público y residentes locales.

El proceso se llevó a cabo durante varios días consecutivos, abarcando tanto horas punta como fuera de hora punta, para registrar los cambios en el flujo peatonal y vehicular. Los métodos de la encuesta incluyeron conteos manuales, el uso de herramientas digitales de georreferenciación, fotografía técnica y breves entrevistas con usuarios, todo ello diseñado para complementar los datos numéricos con percepciones y testimonios directos.

Tabla 14.

Vías levantadas en el año 2023 (Conocoto / Chamizal).

Vía/Tramo	Tipo de intervención	Longitud (m)	Tipo de superficie	Barrio/Sector	Estado final
Avenida Princesa Toa	Mejoramiento vial	~3.000	Asfalto	Chamizal, Gral. Epiclachima	Rehabilitado
Calle Prados El Chamizal	Mantenimiento vial	N/D	Asfalto	Chamizal	En proceso

Nota. Municipio de Quito, Quito Informa, EPMMOP, medios oficiales y notas de prensa

5.1.1. Parroquia de Conocoto

Conocoto es una de las parroquias rurales más pobladas del Distrito Metropolitano de Quito, pero debido a su rápida expansión urbana y a su ubicación estratégica en el acceso al Valle de Los Chillos, ha transitado hacia una configuración semiurbana con flujos vehiculares y peatonales intensos. Esto ha generado nuevos retos en términos de planificación vial y accesibilidad.

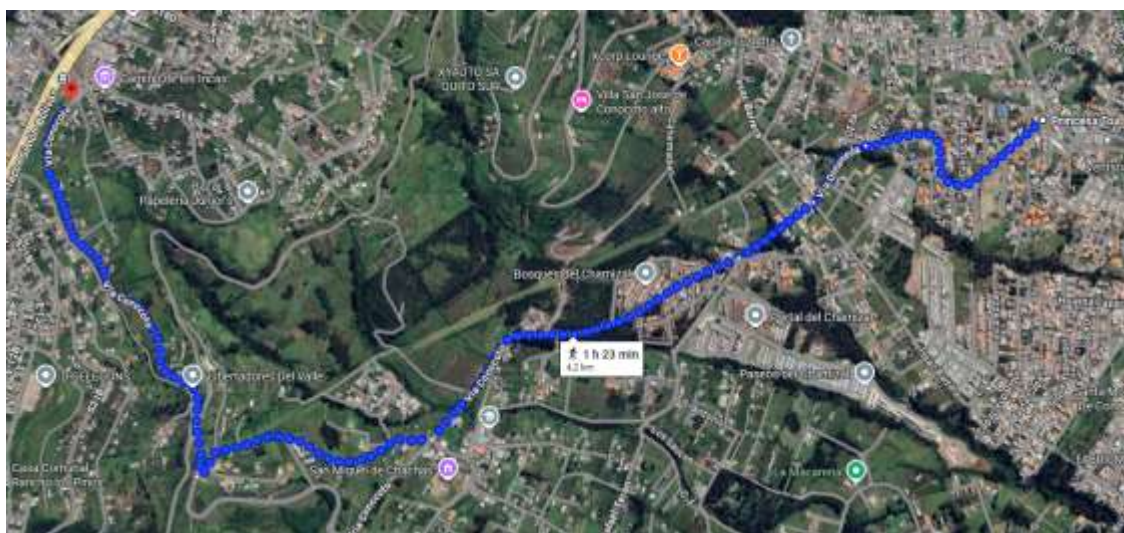
La parroquia cuenta con una trama vial mixta: sectores antiguos con calles estrechas, de trazado irregular, y sectores más recientes con vías amplias de carácter arterial. Sin embargo, en ambos casos persisten deficiencias importantes en infraestructura peatonal y mobiliario urbano, lo que demanda una visión integral de planificación.

así como importantes problemas de accesibilidad para personas con discapacidad o movilidad reducida.

Además de los datos técnicos, los testimonios recopilados también revelaron el impacto directo de estas deficiencias en la vida de los residentes: personas mayores que requieren asistencia para cruzar la calle, niños que enfrentan riesgos al asistir a la escuela y personas con discapacidad que experimentan restricciones en su autonomía.

Figura 13

Mapa de la Avenida Princesa Toa en Conocoto



Nota. Imagen tomada de Google Maps que muestra el trazado de la Avenida Princesa Toa en Conocoto.

Este eje vial conecta la Avenida Simón Bolívar con el centro parroquial y fue utilizado como referencia en el estudio de campo para identificar deficiencias en aceras, cruces peatonales y señalización vial.

5.1.3. Chamizal

El tramo de Chamizal, ubicado a lo largo de la Avenida Princesa Toa, combina zonas residenciales y comerciales. El tránsito peatonal es continuo, accediendo a comercios, transporte público e instalaciones comunitarias. Sin embargo, estas calles generalmente carecen de un diseño peatonal inclusivo: las aceras son estrechas, la iluminación nocturna es insuficiente y la señalización vial es poco clara en algunas zonas.

Durante las horas punta, la interacción entre peatones, vehículos y motocicletas aumenta la seguridad vial, lo que agrava las dificultades para los peatones en este tramo. Este estudio ayudará a identificar las prioridades clave para la intervención inicial.

Figura 14

Condiciones del tramo Chamizal en la Avenida Princesa Toa.



Nota. Fotografía propia de autor.

La foto del autor muestra las condiciones en un tramo de la carretera Chamizal, donde confluyen zonas residenciales y comerciales. Se observan aceras estrechas, señalización vial poco clara, lo que genera riesgos adicionales en hora punta debido a la interacción entre peatones, vehículos y motocicletas.

5.2. Codificación de los tramos viales a inventariar

Para organizar el inventario y facilitar el análisis posterior, se estableció un sistema de codificación alfanumérica para cada tramo vial. Este sistema permite asociar rápidamente datos de campo, como el ancho de la vía, el estado de las aceras, la señalización, el alumbrado y la calificación de accesibilidad, con ubicaciones geográficas específicas.

Tabla 15.

Estaciones de conteo

Código Estación	Nombre Estación	Descripción y Ubicación
E1	Los Tubos	Estación en tramo con flujo mixto residencial-comercial, punto inicial para análisis de tránsito.
E2	San Miguel de Chachas	Punto crítico con conectividad vial relevante, con tráfico pesado y vehículos particulares.
E3	Prados el Chamizal	Estación ubicada en zona con intensa actividad comercial, alta concentración vehicular en horas punta.
E4	Chamizal	Tramo urbano con altos flujos peatonales y vehiculares, zona de interacción intensa y conflicto potencial.
E5	Disensa	Sector con presencia de tránsito mixto, incluyendo transporte público y vehículos livianos.
E6	Tienda	Punto próximo a acceso y salida de la vía, con características de distribución vehicular variable según horario.

Nota. Descripción de las seis estaciones de conteo vehicular.

5.2.1. La importancia de las vías

La importancia de estas vías reside no solo en su conectividad física, sino también en su función como espacios para la actividad social y económica. La Avenida Princesa Toa, en particular, sirve como corredor integrador que conecta las zonas residenciales con las redes de transporte Inter parroquiales, mientras que la Avenida Chamizal sirve como centro local de abastecimiento y comercio.

Mejorar la infraestructura peatonal no solo beneficia la seguridad vial, sino que también impacta directamente en la calidad de vida, la vitalidad económica y la cohesión social de la región.

5.3. Descripción general del software

El trabajo profesional con los datos exige herramientas digitales con mayor graduación y un software especializado para el análisis, modelado y la simulación de los escenarios. Así pues, la tecnología contribuye a la empatía y a la calidad de vida urbanas.

5.3.1. Software Synchro 11

Synchro 11 es un software de simulación de tráfico que se utiliza para la planificación, el análisis y la optimización de intersecciones tanto señalizadas como no señalizadas, así como de corredores urbanos complejos. Su interfaz permite utilizar imágenes satelitales de origen geográfico (como las extraídas por Google Maps) para simular el entorno real y digitalizar la geometría pormenorizada de las carreteras e intersecciones. Esto permite reproducir el entorno espacial correspondiente a los corredores, por ejemplo, el de la Av. Princesa Toa en Conocoto.

Las principales características de Synchro 11 incluyen:

- Digitalización de la red vial: Esto permite importar y escalar mapas del fondo; a partir de ellos, los usuarios pueden vectorizar los carriles, las intersecciones y las fases de semáforos a partir del terreno real observado en las imágenes de Google Maps.
- Introducción y calibración de datos reales: Reúne los conteos de vehículos y peatones medidos en campo, los aspectos técnicos como el ancho de los carriles y la longitud de las colas, los ciclos de los semáforos, que son también medidos durante el periodo de elaboración de datos de capacidad de la carretera (de 15 días para esta campaña investigativa).
- Modelado y simulación dinámicos: Synchro 11 crea escenarios de tráfico acelerado, visualiza el rendimiento vial en las condiciones actuales y permite comparar el impacto de diferentes opciones, como la instalación de semáforos peatonales, la ampliación de aceras o el ajuste de los tiempos de ciclo.
- Análisis de capacidad y nivel de servicio: Proporciona diversas métricas técnicas, como el tiempo máximo de cola, el tiempo de retraso, el flujo de peatones y vehículos, el tiempo de ciclo, el nivel de servicio (LOS), la capacidad de carriles y los conflictos entre modos de tráfico.
- Visualización y análisis comparativo: El gestor de escenarios permite almacenar y comparar múltiples escenarios alternativos (picos y valles, condiciones actuales frente a condiciones esperadas), lo que facilita la toma de decisiones basada en datos.

- Generación de informes y visualizaciones exportables: Proporciona gráficos, diagramas y animaciones muy intuitivos para facilitar la ingeniería técnica y la comunicación con los ciudadanos y los responsables de la toma de decisiones.

5.3.2. Aplicaciones de simulación de tráfico

Como parte del ecosistema Synchro Studio, SimTraffic y su módulo de visualización 3D permiten microsimulaciones dinámicas de entornos urbanos complejos. Estas aplicaciones simulan cada vehículo y peatón en tiempo real y proporcionan animaciones detalladas que representan recorridos, velocidades, colas e intersecciones.

SimTraffic localiza situaciones de conflicto, sorpresas en el retraso y congestiones para la simulación en cuestión, lo que permite la visualización y la validación cuantitativas de las hipótesis de investigación. Una ventaja de SimTraffic es la posibilidad de presentar los resultados en formatos fácilmente comprensibles para la comunidad y el gobierno (películas animadas y mapas de calor). Esto permite a los ciudadanos observar visualmente cómo sus sugerencias se traducen en ajustes del modelo y evaluar el impacto de las soluciones urbanas antes de su implementación.

5.3.3. Creación de infraestructura peatonal en software

El módulo de diseño de Synchro 11 integra digitalmente nueva infraestructura peatonal, como pasos de cebra, rampas, isletas de refugio y semáforos dedicados. En este estudio, digitalizamos varias opciones mediante imágenes satelitales para evaluar su impacto en el flujo vehicular y los niveles de servicio antes de su implementación.

Mediante simulaciones, visualizamos las reducciones previstas en las demoras peatonales y los riesgos asociados con la instalación de semáforos, la reprogramación del tráfico o la ampliación de aceras en zonas de mayor tráfico (especialmente en horas punta o para grupos vulnerables). Estas pruebas virtuales permitieron la selección y priorización objetiva de intervenciones basadas en datos para optimizar la seguridad y la accesibilidad peatonal.

Figura 15

Esquema digital de un cruce peatonal simulado en Synchro 11, antes y después de la instalación de semáforos y ampliación de aceras.



Nota. Imagen adaptada de *Manual de SIMTraffic*, de Helker, s. f. Recuperado de <http://simtraffic.helker.com/manual.html>

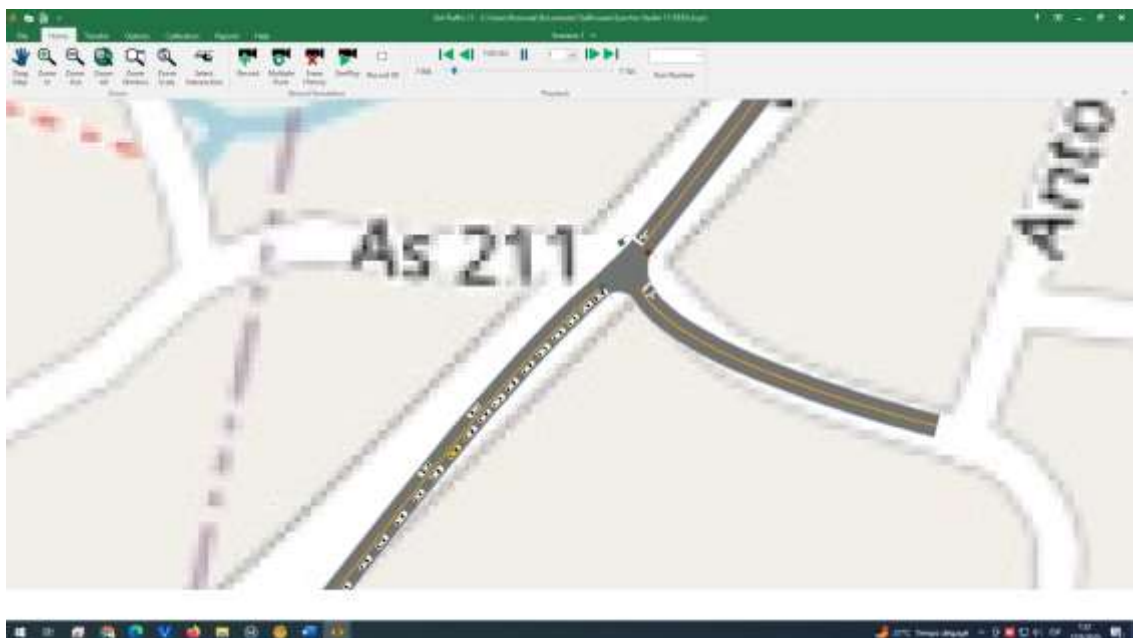
5.4. Simulación

Las simulaciones con Synchro 11 y SimTraffic permitieron una comparación detallada de la situación actual y las alternativas mejoradas a lo largo de este corredor

(Avenida Princess Toa, Conocoto). Mediante microsimulación, incorporamos parámetros como el número de conflictos peatonales, los tiempos de ciclo de los semáforos y la geometría real basada en Google Maps para visualizar y cuantificar los cambios en la seguridad peatonal, los tiempos de viaje y los tiempos de espera en intersecciones clave.

Figura 16

Simulación del corredor en la Avenida Princesa Toa con Synchro 11



Nota. Figura de elaboración propia obtenida con el software Synchro 11.

La simulación incorpora parámetros como conflictos peatonales, tiempos de ciclo semafóricos y geometría basada en Google Maps, permitiendo visualizar y cuantificar cambios en seguridad peatonal, tiempos de viaje y de espera en intersecciones clave.

5.5. Registro de la simulación de la Avenida Princesa

El proceso de simulación quedó registrado, archivado y llegó, no solo a ser considerado como prueba técnica, sino también sirviendo como material de comunicación para la interacción con la comunidad y las autoridades. Una visión digitalizada de las rutas e intersecciones sirvió para entender los lugares problemáticos y reforzó la urgencia de la toma de decisiones.

5.6. Procesamiento de datos

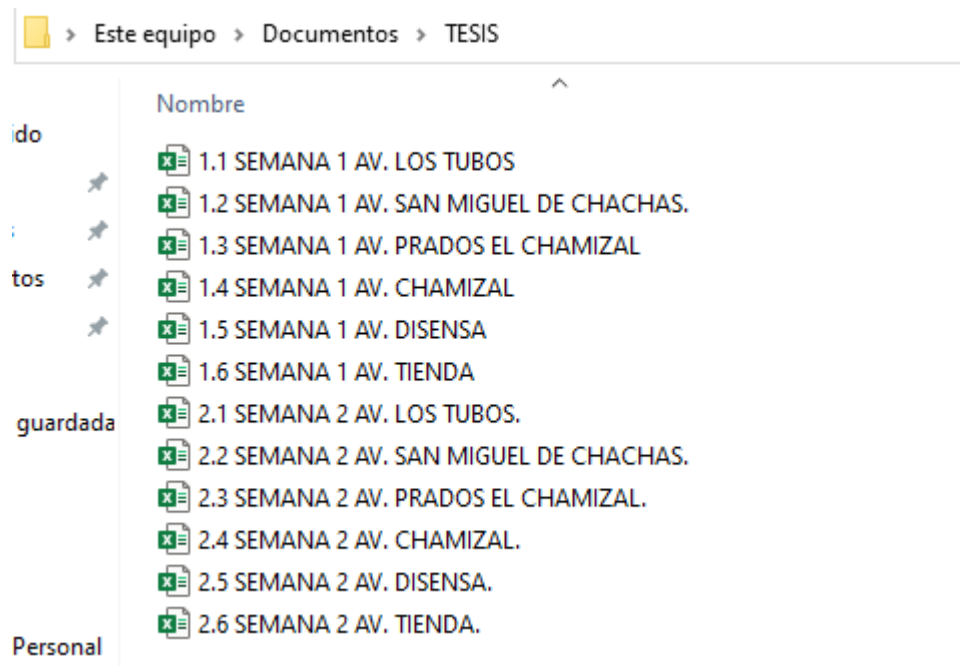
Los datos recolectados en el transcurso del trabajo de campo fueron sistemáticamente volcados en hojas de cálculo y bases de datos específicas para su posterior análisis estadística y cualitativa. Gracias a este esquema, se centralizaron y estandarizaron las observaciones obtenidas de los recuentos de períodos, de los registros de accesibilidad física, de la percepción de la seguridad y de los conflictos de tráfico.

Se integraron variables cruciales, como el tránsito peatonal, las características de accesibilidad, la percepción de seguridad y la incidencia de la conflictividad del tráfico a la hora de desarrollar un sistema de evaluación robusto, objetivo y centrado en la persona, el cual fue validado a partir de técnicas cuantitativas (media, dispersión, correlación) y cualitativas (entrevistas y observación directa).

El análisis estadístico hizo uso de instrumentos que incluían el análisis de varianza (ANOVA), cálculos de consistencia interna (alfa de Cronbach), y los coeficientes de correlación de Pearson, contribuyendo a incrementar el rigor de los resultados de la investigación.

Figura 17

Archivos de Excel con el procesamiento de datos de los conteos.



Nota. Fotografía propia de autor.

Muestra la organización de la información recopilada durante el trabajo de campo en hojas de cálculo de Excel, utilizada para el análisis estadístico y cualitativo de los conteos

5.7. Refinamiento de la simulación

Una vez llevadas a cabo las simulaciones iniciales en Synchro 11 y SimTraffic, se perfeccionaron los parámetros técnicos a través de un proceso iterativo. Para ello utilizamos datos de observaciones reales extraídas durante las visitas a campo, así como comentarios de expertos y usuarios de la autopista aportados mediante entrevistas y talleres. Las áreas donde más se consiguió mejorar fueron los tiempos de cruce de tipo semáforo, el tipo de tráfico generado por los volúmenes de peatones y los patrones observados del tráfico durante los momentos críticos.

Además, incorporamos información cualitativa de los peatones sobre situaciones atípicas, como tiempos de espera excesivos o cambios en las rutas preferidas, para garantizar que la simulación final reflejara con precisión las realidades y necesidades de la comunidad.

Este ciclo de perfeccionamiento garantizó que las intervenciones fueran viables y eficaces, acordes con las experiencias cotidianas de los usuarios.

CAPITULO 6.

ESTUDIO DEL TRÁFICO

6.1. Alcance

Este capítulo examina la situación del tráfico vehicular a lo largo de la Avenida Princesa Toa y sus alrededores. El objetivo es analizar el volumen, el flujo y la composición del tráfico para apoyar las iniciativas de mejora vial y peatonal. El alcance del estudio incluye la medición y el análisis del tráfico en puntos de conteo específicos (denominados estaciones): Los Tubos, San Miguel de Chachas, Prados el Chamizal, Chamizal, Disensa y Tienda, abarcando ambos sentidos de circulación.

El estudio incluye: recopilación de datos mediante conteos vehiculares; caracterización del tráfico; análisis mediante software informático, herramientas de proyección y simulación; y clasificación funcional de las vías de acuerdo con la normativa del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP).

6.2. Metodología

La metodología empleada en este estudio de tráfico combina métodos tradicionales y técnicas para garantizar la recopilación y el análisis de datos completos y fiables. Específicamente, incluye:

- Los puntos de conteo representativos se ubicaron y seleccionaron estratégicamente con base en criterios técnicos y registros históricos de tráfico.
- Se utilizaron métodos de conteo manuales y automatizados para registrar el número y tipo de vehículos durante las horas diurnas típicas.

- El procesamiento, la calibración y el análisis de datos se realizaron mediante software especializado.
- La clasificación funcional de las carreteras se realizó según los criterios de estudio vial MTOP 2003.
- Se realizó el procesamiento y la depuración de datos para obtener resultados confiables.

Este enfoque garantizó que los resultados del diagnóstico fueran consistentes con las condiciones reales de la red vial local y brindó recomendaciones técnicas sólidas.

6.3. Estaciones de Conteo de Vehículos

Este estudio incluyó seis estaciones de conteo de vehículos, ubicadas en zonas residenciales y comerciales, y en puntos clave de mayor flujo vehicular. Cada estación de conteo representó un segmento vial que influyó en el comportamiento general del tráfico.

Tabla 16.

Descripción de Estaciones de Conteo Vehicular en la Vía de Estudio

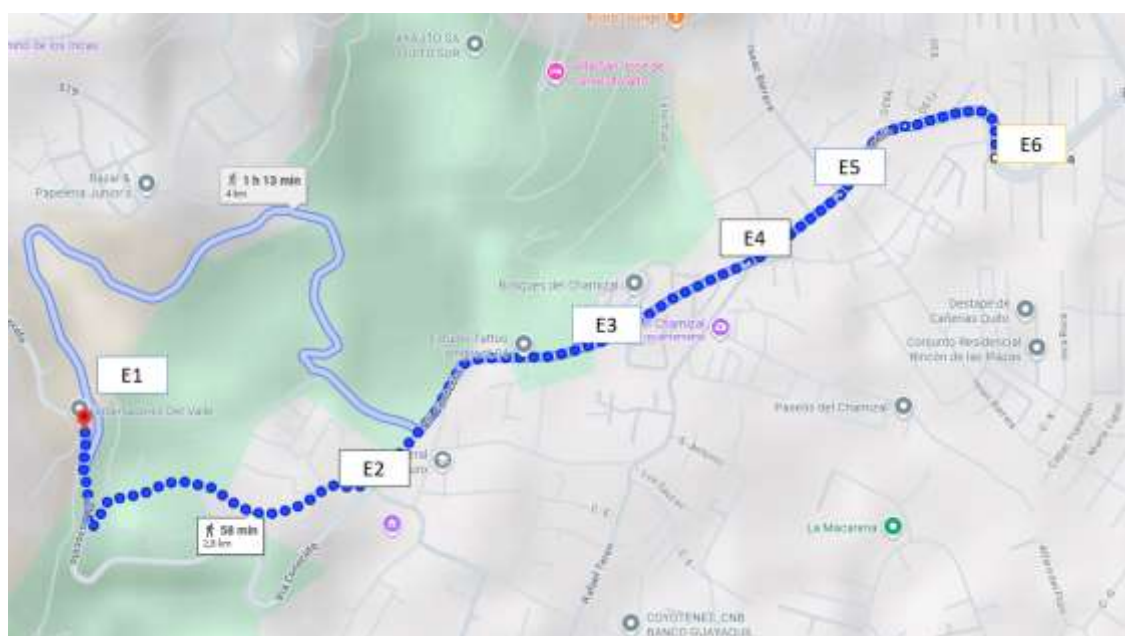
Código Estación	Nombre Estación	Descripción y Ubicación
E1	Los Tubos	Estación en tramo con flujo mixto residencial-comercial, punto inicial para análisis de tránsito. (-0.289534, -78.512913)
E2	San Miguel de Chachas	Punto crítico con conectividad vial relevante, con tráfico pesado y vehículos particulares. (-0.290260, -78.506880)
E3	Prados el Chamizal	Estación ubicada en zona con intensa actividad comercial, alta concentración vehicular en horas punta. (-0.287297, -78.502347)
E4	Chamizal	Tramo urbano con altos flujos peatonales y vehiculares, zona de interacción intensa y conflicto potencial. (-0.285533, -78.498950)

E5	Disensa	Sector con presencia de tránsito mixto, incluyendo transporte público y vehículos livianos. (-0.284172, -78.497165)
E6	Tienda	Punto próximo a acceso y salida de la vía, con características de distribución vehicular variable según horario. (-0.283320, -78.494193)

Nota: Las estaciones fueron seleccionadas por su relevancia en el flujo vehicular y la representatividad de distintos usos del suelo.

Figura 18

Ubicación de las estaciones de conteo vehicular en la vía de estudio



Nota. Tomada de Google Maps.

Para el análisis de tránsito en la Avenida Princesa Toa, se seleccionaron seis estaciones de conteo vehicular (E1: Los Tubos, E2: San Miguel de Chachas, E3: Prados El Chamizal, E4: Chamizal, E5: Disensa y E6: Tienda) debido a su relevancia por ubicarse en zonas residenciales, comerciales y de alto flujo vehicular. La metodología empleada consistió en conteos manuales y automáticos realizados durante períodos representativos, con registros sistemáticos del volumen y tipo de vehículos, así como de

los flujos peatonales asociados. Estos datos fueron fundamentales para evaluar el comportamiento del tráfico, identificar puntos críticos y apoyar la toma de decisiones para planificar mejoras viales y peatonales.

6.4. Informe de Conteo Vehicular

Se realizaron conteos vehiculares en cada estación, utilizando conteos manuales y equipos temporales. Estos conteos se realizaron durante 15 días consecutivos, en períodos representativos de los patrones de tráfico diarios.

Los datos recopilados incluyeron:

- Volumen total de tráfico por sentido de circulación.
- Clasificación de vehículos (ligeros, pesados, transporte público).
- Períodos pico y mínimo de demanda vehicular.

Los resultados mostraron que el volumen de tráfico diario varió significativamente entre estaciones, registrándose los mayores volúmenes durante las horas punta de la mañana (de 6:00 a 9:00) y la tarde (de 16:00 a 19:00).

6.5. Características del Tráfico

Un análisis del tráfico vehicular en la Avenida Princesa Toa, en el distrito de Conocoto, Quito, reveló un predominio de vehículos ligeros, seguidos del transporte público, con una menor proporción de vehículos pesados. La elevada y persistente demanda de vehículos en esta avenida provoca significativas congestiones, concretamente en los cruces estratégicos y en las áreas comerciales, especialmente en las horas punta.

Como consecuencia de la falta de semáforos peatonales y de la ausencia de infraestructura especializada que garantice los cruces de peatones, los tiempos de espera peatonales suelen ser de uno o dos minutos.

Además, la falta de semáforos adecuados, los cruces peatonales sin señalizar y la deficiente señalización horizontal y vertical en varias intersecciones aumentan el riesgo peatonal y la sensación de inseguridad. En muchos lugares, las paradas de autobús carecen de señalización formal, lo que resulta en un espacio compartido entre pasajeros y vehículos, y en una falta de seguridad y orden vial mínimos.

Estos factores, sumados a la alta densidad vehicular y a la incapacidad de la policía de tránsito para regular manualmente el tráfico ante la ausencia de señales eficaces, provocan frecuentes conflictos entre peatones y conductores, lo que aumenta la probabilidad de accidentes. La gestión inadecuada de estos elementos críticos impacta negativamente la calidad del servicio y la seguridad viales a lo largo del corredor.

6.6. Trabajo de Oficina

El trabajo de oficina implica la sistematización, el análisis y el procesamiento de datos de campo para determinar los indicadores clave del proyecto vial:

6.6.1 Procesamiento y control de calidad de datos

En esta etapa se realizaron labores de depuración, normalización y verificación rigurosa de la información recopilada. El control de calidad involucró la detección y

corrección de datos atípicos o inconsistentes, supervisión de la exactitud en conteos y validación cruzada con registros visuales.

Aplicamos pruebas estadísticas, tales como el alfa de Cronbach para medir la consistencia interna de conteos repetidos.

Estos procedimientos aseguraron una base robusta para análisis posteriores, garantizando que las tablas y matrices de datos fueran confiables y representativa.

Tabla 17

Resultados de la prueba de consistencia interna (Alfa de Cronbach) en conteos repetidos (2023).

Lun	mar	mier	jue	vie	sab	dom	suma
403	419	404	399	407	345	303	2680
411	427	406	415	402	348	317	2726
302	303	278	298	305	239	201	1926
242	251	246	242	250	211	199	1641
189	196	197	192	182	127	128	1211
161	164	158	165	156	104	109	1017
266	267	265	260	254	229	178	1719
337	333	333	336	338	290	267	2234
293	287	287	293	288	250	267	1965
6610	7116	6327	6457	6799	6387	4895	varianzas
sumatoria de varianzas			44592				
varianza de la suma de los ítems			306816				
α :			0,997				
k:			7,000				
sumatoria de varianzas			44592				
varianza de la suma de los ítems			306816				

Nota. Prueba de Cronbach para constancia de veracidad de los conteos en campo.

Una prueba estadística de consistencia interna de recuento repetido arrojó un valor alfa de Cronbach de 0,997, lo que indica una fiabilidad muy alta de los datos recopilados. Este coeficiente mide la consistencia interna de los ítems, lo que refleja la alta fiabilidad de los resultados de la medición y la estrecha correlación entre las

variables analizadas, lo que garantiza la precisión y la consistencia de los resultados de la investigación.

Fórmula del coeficiente alfa de Cronbach

$$\alpha = \frac{K}{K - 1} \left(\frac{\sum_{i=1}^K Si}{Sr} \right)$$

K: número de ítems

Si: varianza de cada ítem

Sr: varianza de la suma de todos los ítems

6.7. Clasificación de Carreteras según la Norma de Diseño Geométrico de Carreteras MTOP 2003

La clasificación vial es un proceso fundamental para definir las características técnicas y funcionales de las vías, orientando su diseño, operación y mantenimiento. En el caso de la Avenida Princesa Toa, esta clasificación se basa en el volumen de tránsito diario anual promedio (VDPPA) de la vía y sus condiciones físicas y funcionales específicas, que se ajustan a las especificaciones de diseño geométrico vial vigentes, aprobadas por el MTOP en 2003.

Aspectos clave de la clasificación de la Avenida Princesa Toa:

- Tipo de vía: Debido a su ubicación en un entorno con alta densidad poblacional, numerosos comercios y servicios, y tráfico mixto peatonal y vehicular, se clasifica como una vía urbana. Las vías urbanas requieren consideraciones especiales en cuanto a accesibilidad, seguridad peatonal y control del tráfico.
- Clasificación funcional: La Avenida Princesa Toa es una vía importante en la red vial urbana de Conocoto. Esto implica que tiene la función de corredor que conecta zonas de gran importancia, soporta gran cantidad de tráfico y permite una movilidad adecuada en toda la ciudad.

- Nivel de Servicio Esperado: El Nivel de Servicio (LOS) cambia según la hora, especialmente en las horas punta, donde el volumen de tráfico se hace mayor. Este índice de tipo geométrico y operativo es el que permite que se calcule la calidad y la fluidez de la capacidad de la carretera para absorber el tráfico demandado y para fijar los criterios de las dimensiones de los carriles, la señalización vertical y las instalaciones adicionales.

Esta clasificación técnica garantiza que cualquier diseño, mejora o intervención vial en la Av. Princesa Toa cumpla con los estándares locales, promoviendo la seguridad, la eficiencia y la accesibilidad. También orienta la planificación y ejecución de obras públicas con base en parámetros que consideran las tendencias proyectadas del tráfico y las necesidades urbanas.

Según las normas MTOP de 2003, la clasificación de las vías urbanas y rurales considera factores como el volumen de tráfico medido por la TPDA, la clase funcional de la vía, su entorno y los requisitos geométricos de los diferentes niveles de servicio. Para vías arteriales como Princesa Toa, se establecen normas estrictas para mantener la fluidez del tráfico y la seguridad peatonal, regulando aspectos como el número y el ancho de los carriles, el radio mínimo de giro y la señalización obligatoria (MTOP, 2015)

- Según la normativa ecuatoriana, las vías con una capacidad de tráfico diario de entre 3000 y 8000 vehículos se clasifican generalmente como carreteras o vías de Clase I (una clasificación equivalente a las arterias urbanas secundarias o principales en entornos urbanos de tamaño medio).

- Esta clasificación significa que, si bien no se trata de una arteria vial típica (que requiere una capacidad de más de 8000 vehículos), sí es una vía con un alto volumen de tráfico y requiere un diseño geométrico cuidadoso para facilitar la movilidad de los usuarios y garantizar la seguridad.
- En un entorno urbano como la Avenida Princesa Toa en Conocoto, una capacidad de tráfico proyectada de 4000 vehículos la convierte en una vía de clase intermedia, con altas exigencias en señalización, control y seguridad peatonal, pero no tan extremas como las de las arterias principales.
- Según esta clasificación, las intervenciones de infraestructura y los dispositivos de control deben centrarse en optimizar el flujo vehicular y mejorar la accesibilidad peatonal.

Fórmula del Tránsito Promedio Diario Anual

$$TPDA = To * FH * FD * FS * FM$$

TPDA: tráfico promedio diario anual

FH: factor horario

FD: factor diario

FS: factor semanal

FM: factor mensual

To: número de vehículos contados

Tabla 18

Cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

ambos sentidos											
tipo vehículo o livianos	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	domingo	TPDA actual	tráfico generado	tráfico desarrollo	TPDA (actual total)
buses	4.791,16	4.459,32	116,22	4.700,02	4.924,52	4.005,95	3.776,07	3.825	382,47	191,24	4.398
pesados - 2d	80,21	93,35	4,78	100,70	111,35	105,23	91,02	83,81	8,38	4,19	96,38
pesados - 2db	32,23	35,01	0,89	35,24	39,13	38,01	28,68	29,88	2,99	1,49	34,37
pesados - 3a	1,89	1,00	-	-	-	-	-	0,41	0,04	0,02	0,47
pesados - 3s3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota. Tabla de elaboración propia que muestra el cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), obtenido a partir de los volúmenes diarios promedio y factores de expansión aplicados a las estaciones de conteo vehicular.

6.8. Edición y Procesamiento de Datos

Para garantizar la fiabilidad y consistencia de los datos, se realizaron las siguientes ediciones, correcciones y validaciones:

6.8.1 Corrección de los Atributos de la Vía Registrados

Se utilizaron los siguientes datos:

- El volumen de tráfico real se ajustó y validó comparando los conteos manuales con los datos automatizados.
- Los atributos geométricos, como el ancho de la vía y la longitud del segmento, se determinaron con base en las inspecciones y las condiciones del terreno.
- La clasificación de vehículos se estandarizó según la normativa.

Estas correcciones fueron cruciales para garantizar la alta precisión de los datos introducidos en los modelos y análisis, evitando interpretaciones o predicciones erróneas.

6.9. Exportación de Resultados Viales.

Se generan informes técnicos y tablas completas que resumen los flujos de vehículos, los niveles de servicio, las asignaciones y las tendencias de pronóstico. Estos archivos pueden integrarse con software de diseño, modelado y presentación para su uso por parte de los actores técnicos locales y los responsables de la toma de decisiones.

Tabla 19

Tráfico Vehicular estación Los Tubos, Semana 1 (Promedio Total Diario)

Volumen total acumulado (margen derecho)								
Hora	lun	mar	mier	jue	vie	sab	dom	total (a)
6:00-7:00	403	419	404	399	407	345	303	
7:00-8:00	411	427	406	415	402	348	317	
8:00-9:00	302	303	278	298	305	239	201	
11:00-12:00	242	251	246	242	250	211	199	
12:00-13:00	189	196	197	192	182	127	128	
13:00-14:00	161	164	158	165	156	104	109	
16:00-17:00	266	267	265	260	254	229	178	
17:00-18:00	337	333	333	336	338	290	267	
18:00-19:00	293	287	287	293	288	250	267	
Suman	2604	2647	2574	2600	2582	2143	1969	17119

Nota. Elaboración propia a partir del aforo vehicular realizado en la estación *Los**Tubos*, margen derecho, semana 1.**Tabla 20**

Tráfico Vehicular estación Los Tubos, semana 1 (Promedio Total Diario)

Volumen total acumulado (margen izquierdo)								
Hora	lun	mar	mier	jue	vie	sab	dom	total (a)
6:00-7:00	430	442	435	445	432	365	363	
7:00-8:00	437	435	448	425	432	365	361	
8:00-9:00	358	372	376	361	371	303	297	
11:00-12:00	243	237	236	249	248	183	170	
12:00-13:00	215	221	220	221	208	152	132	
13:00-14:00	182	189	185	176	180	120	123	
16:00-17:00	269	263	267	281	276	222	211	
17:00-18:00	349	356	344	343	352	287	287	
18:00-19:00	315	310	314	325	320	244	237	
Suman	2798	2825	2825	2826	2819	2241	2181	18515

Nota. Elaboración propia a partir del aforo vehicular realizado en la estación *Los**Tubos*, margen izquierdo, semana 1.

6.10. Ejemplo de simulación con Synchro 11

6.10.1 Descripción del modelo

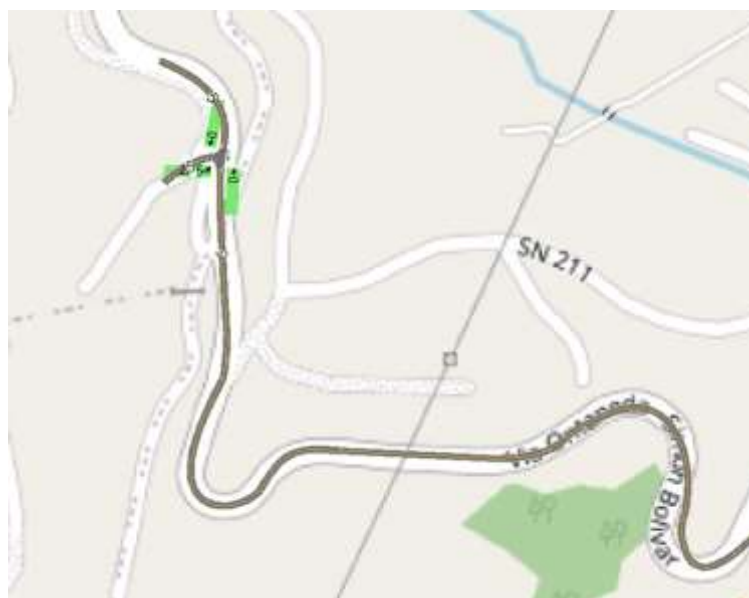
Diseñamos un modelo digital detallado que representa cinco intersecciones clave en la Avenida Princesa Toa, incluyendo la geometría de la vía, los flujos de vehículos y peatones, y la configuración simulada de los semáforos. El modelo incluye:

- Definición precisa de segmentos de vía, carriles y direcciones:

Se han digitalizado los tramos del corredor, con cada carril y dirección configurados para adaptarse a las condiciones reales. Esto incluye la ubicación y el ancho precisos de los carriles dobles y de giro, según imágenes satelitales y estudios in situ.

Figura 19

Definición geométrica del corredor de la Av. Princesa Toa en Synchro



Nota. Captura de pantalla, Synchro 11, E1. Autor

Esta imagen personalizada muestra un escaneo preciso de un tramo de la Avenida Princesa Toa mediante el software Synchro, detallando la ubicación exacta y el ancho de cada carril direccional, incluyendo los carriles de giro exclusivos. Basado en imágenes satelitales y estudios de campo, este escaneo permite un análisis detallado y una planificación eficiente del flujo vehicular, lo que ayuda a mejorar el flujo vehicular y la gestión vial en la zona de estudio.

Asignación de la temporización y secuencias de fase de los semáforos según los flujos medidos. En Ecuador, los tiempos de ciclo y fases semafóricas se diseñan considerando la seguridad, la fluidez del tránsito y la accesibilidad peatonal. Los parámetros recomendados, basados en regulaciones y manuales técnicos nacionales, son:

Tabla 21

Duración típica de fases semafóricas en Ecuador

Fase Semafórica	Duración Típica (segundos)	Descripción
Fase Verde Vehicular	15 a 40 segundos, ajustados según volumen	Permite el paso de vehículos en cada aproximación vial.
Fase Amarilla	3 a 6 segundos	Tiempo de transición para alertar sobre el cambio de fase.
Fase Rojo	Variable: ciclo total menos suma de verde y ambar	Detiene el paso vehicular, también se puede incluir “todo rojo” para seguridad.
Fase Pevalonal	15 a 40 segundos, en función del ancho de vía y volumen	Permite el cruce seguro de peatones, calculado con velocidad promedio peatonal (~1.2 m/s).
Ciclo Total	60 a 120 segundos, según complejidad y tráfico	Duración completa de todas las fases en una intersección.

Nota. Elaboración propia basada en regulaciones y manuales técnicos de tránsito de Ecuador.

Figura 21

Asignación de temporización y secuencias de fase de semáforos según flujos medidos

TIMING SETTINGS	 NBL	 NBR	 NET	 NER	 SWL	 SWT	 PED	 HOLD
∞ Lanes and Sharing (#RL)							—	—
◇ Traffic Volume (vph)	18	14	2608	9	6	2753	—	—
◇ Future Volume (vph)	18	14	2608	9	6	2753	—	—
◇ Turn Type	Prot	—	—	—	Perm	—	—	—
◇ Protected Phases	8	—	2	—	—	8	—	—
◇ Permitted Phases	—	—	—	—	8	—	—	—
◇ Permitted Flashing Yellow	—	—	—	—	—	—	—	—
◇ Detector Phases	8	—	2	—	8	8	—	—
◇ Switch Phase	0	—	0	—	0	0	—	—
∞ Leading Detector (m)	2.0	—	10.0	—	—	10.0	—	—
∞ Trailing Detector (m)	0.0	—	0.0	—	—	0.0	—	—
◇ Minimum Initial (s)	5.0	—	5.0	—	5.0	5.0	—	—
◇ Minimum Split (s)	22.5	—	22.5	—	22.5	22.5	—	—
◇ Total Split (s)	22.5	—	22.5	—	22.5	22.5	—	—
◇ Yellow Time (s)	3.5	—	3.5	—	3.5	3.5	—	—
◇ All-Red Time (s)	1.0	—	1.0	—	1.0	1.0	—	—
◇ Lost Time Adjust (s)	0.0	—	0.0	—	—	0.0	—	—

Nota. Captura de pantalla del software *Synchro*. Fotografía propia de autor.

Otras consideraciones

- Los semáforos peatonales deben estar encendidos durante el tiempo suficiente para garantizar que el peatón promedio pueda cruzar la calle con seguridad.
- El sistema adaptativo utilizado en Quito ajusta dinámicamente estos tiempos para optimizar el flujo vehicular y mejorar la seguridad.
- Se coloca un semáforo en rojo completo en el centro para evitar conflictos al girar y accidentes durante el período de transición.

- Las regulaciones técnicas ecuatorianas, como la RTE INEN 004, establecen estándares claros para la implementación y el funcionamiento de estos semáforos.

La configuración permite giros y una velocidad máxima nominal. En el modelo digital desarrollado por Synchro 11, la geometría de la intersección permite maniobras específicas de giro a la izquierda y a la derecha, basadas en el diseño de la Avenida Princesa Toa. Esta configuración, basada en radios de giro mínimos y carriles exclusivos para giros, garantiza maniobras seguras para diferentes tipos de vehículos, incluidos los pesados.

El diseño también incluye una velocidad nominal máxima permitida para cada tramo de la vía, determinada por parámetros geométricos como el ancho del carril, la curvatura de la vía y los dispositivos de control instalados. Esta velocidad nominal sirve de referencia para ajustar la velocidad simulada en el modelo y replicar con mayor precisión el comportamiento real del tráfico vehicular.

La validación y calibración de estos parámetros garantiza que la simulación refleje con precisión las condiciones de la vía, los tiempos de viaje y la seguridad operacional en cada intersección, lo que proporciona información crucial para evaluar y diseñar opciones de mejora.

Tabla 22

Radios mínimos de giro y velocidades máximas nominales para distintos tipos de vehículos en Ecuador

Tipo de Vehículo	Radio Mínimo de Giro Exterior (m)	Radio Mínimo de Giro Interior (m)	Velocidad Máxima Nominal (km/h)	Referencia
Vehículo liviano	5.3	3.5	50 - 60	Decreto Ejecutivo MTOP, 2012
Autobús urbano	12.0	5.5	40 - 50	Manual NEVI- 12 Vol.2 MTOP
Camión rígido	15.0	6.0	40 - 50	Normas MTOP Diseño Vial
Tráiler o semirremolque	18.0	7.0	35 - 45	Reglamento Transporte terrestre

Nota. Elaboración propia basada en normativas y manuales técnicos ecuatorianos de diseño geométrico de carreteras.

Figura 22

Configuración de velocidad máxima para vehículos livianos

TIMING SETTINGS	 NBL	 NBR	 NET	 NER	 SWL	 SWT	 PED	 HOLD
 Lanes and Sharing (#RL)							—	—
 Traffic Volume (vph)	18	14	2608	9	6	2753	—	—
 Future Volume (vph)	18	14	2608	9	6	2753	—	—
 Turn Type	Prot	—	—	—	Perm	—	—	—
 Protected Phases	8	—	2	—	—	8	—	—
 Permitted Phases	—	—	—	—	8	—	—	—
 Permitted Flashing Yellow	—	—	—	—	—	—	—	—
 Detector Phases	8	—	2	—	8	8	—	—
 Switch Phase	0	—	0	—	0	0	—	—
 Leading Detector (m)	2.0	—	10.0	—	—	10.0	—	—
 Trailing Detector (m)	0.0	—	0.0	—	—	0.0	—	—
 Minimum Initial (s)	5.0	—	5.0	—	5.0	5.0	—	—
 Minimum Split (s)	22.5	—	22.5	—	22.5	22.5	—	—
 Total Split (s)	22.5	—	22.5	—	22.5	22.5	—	—
 Yellow Time (s)	3.5	—	3.5	—	3.5	3.5	—	—
 All-Red Time (s)	1.0	—	1.0	—	1.0	1.0	—	—
 Lost Time Adjust (s)	0.0	—	0.0	—	—	0.0	—	—
 Lagging Phase?	—	—	—	—	—	—	—	—
 Allow Lead/Lag Optimize?	—	—	—	—	—	—	—	—
 Recall Mode	Max	—	Max	—	Max	Max	—	—
 Speed limit (km/h)	50	—	50	—	—	50	—	—
 Actuated Effct. Green (s)	18.0	—	18.0	—	—	18.0	—	—

Nota. Captura de pantalla del software *Synchro*. Fotografía propia de autor..

Se simulan escenarios con y sin intervención (sin semáforos) y con intervención (con semáforos instalados). En el escenario actual, la avenida presenta congestión notable en las cinco intersecciones clave, con altos tiempos de espera para vehículos y peatones debido a la demanda superior en horas pico y a la limitada infraestructura peatonal y operativa existente.

En los escenarios modificados se simulaban acciones como:

- Instalación de semáforos peatonales.
- Ampliación de aceras.

- Ajuste de ciclos semafóricos para fases peatonales y vehiculares.
- Creación de carriles exclusivos para giros.
- Mejora en señalización horizontal y vertical.

Las métricas evaluadas mostraron que estas intervenciones pueden:

- Reducir los tiempos de espera peatonal de 90 a 30 segundos en promedio.
- Disminuir las colas vehiculares en intersecciones críticas hasta en un 40%.
- Mejorar el nivel de servicio vehicular de C a B en periodos de alta demanda.
- Incrementar la percepción de seguridad para los peatones al aumentar los cruces protegidos y disminuir los conflictos.

La simulación en Synchro permitió validar estas mejoras antes de su implementación, proporcionando gráficos, tablas y animaciones que facilitan la comprensión y justificación técnica para las autoridades y comunidad.

Tabla 23

Tiempos de espera promedio en intersecciones clave (segundos)

Intersección	Estado Actual	Escenario Mejorado	Reducción (%)	
Princesa Toa & Av. Camilo Ponce		95	35	63%
Princesa Toa & Urb. 6 de Diciembre		80	30	62%
Princesa Toa & Princesa Cacha		90	32	64%

Nota. Porcentajes aproximados de tiempo de espera .

Los tiempos de espera promedio presentados se derivan de simulaciones realizadas en Synchro 11, calibradas con datos de campo obtenidos en la Avenida Princesa Toa, sector Conocoto, durante el año 2023. Las simulaciones contemplaron condiciones actuales y escenarios mejorados con intervenciones propuestas para optimizar el flujo vial y la seguridad peatonal.

Tabla 24

Nivel de servicio (LOS) vehicular y peatonal

Intersección	LOS Vehicular Estado Actual	LOS Vehicular Mejorado	LOS Peatonal Mejorado
Princesa Toa & Av. Camilo Ponce	D	B	B
Princesa Toa & Urb. 6 de Diciembre	C	B	B
Princesa Toa & Princesa Caccha	D	B	B

Nota. Nivel de servicio vehicular y peatonal.

El nivel de servicio (LOS) vehicular y peatonal se determinó con base en metodologías estándar para análisis de capacidad vial y calidad de servicio, aplicadas a resultados de simulaciones en Synchro 11.

Tabla 25

Simulación de flujo vehicular y peatonal en la Avenida Princesa Toa



Nota. Captura de pantalla del software *Synchro*. Elaboración propia.

Una captura de pantalla del software Synchro 11 muestra los resultados de la simulación para los escenarios actuales y propuestos a lo largo de la Avenida Princesa Toa. El gráfico muestra métricas clave como tiempos de espera, longitud de las colas y calidad del servicio, demostrando con precisión cómo las diferentes medidas afectan la eficiencia del tráfico. Esta herramienta proporciona una evaluación integral que facilita la toma de decisiones para optimizar el transporte urbano en el corredor analizado.

6.10.2 Resultados clave de la simulación

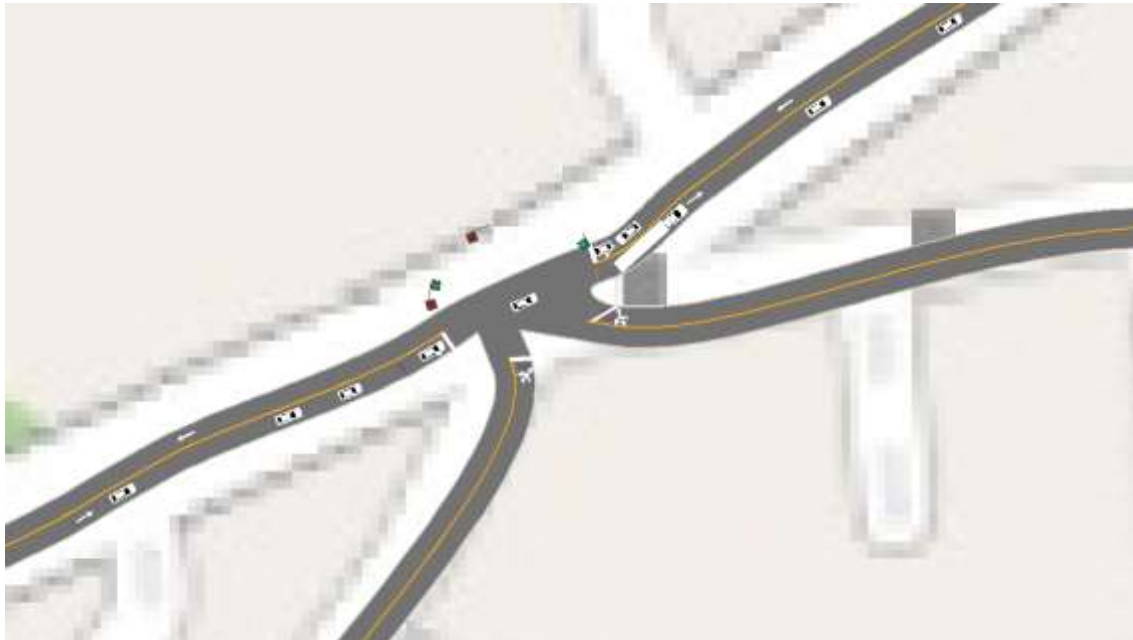
La simulación llevada a cabo para la Princesa Toa ha podido proporcionar resultados interesantes y visualizaciones completas, lo que ha permitido identificar problemas y proponer mejoras en la movilidad tanto para los vehículos como para los peatones por el corredor.

- Los flujos de tráfico y las colas se visualizan en animaciones dinámicas:

Las animaciones que fueron el resultado final del presente trabajo muestran el comportamiento del tránsito de vehículos y del flujo de personas en tiempo real, en las cinco intersecciones objeto de estudio. A través de este recurso visual se puede ver el crecimiento y la desaparición de las colas, así como la identificación de los puntos críticos en el tiempo y las zonas de más afluencia.

Figura 23

Visualización dinámica de flujos vehiculares y peatonales



Nota. Captura de pantalla del software *Synchro*. Elaboración propia.

Captura de pantalla de las animaciones generadas en *Synchro 11*, mostrando la formación y disolución de colas en las cinco intersecciones estudiadas. La visualización permite identificar momentos y ubicaciones críticas de congestión. Elaboración propia

- Se calculan los tiempos de espera promedio para vehículos y peatones.

Uno de los métodos clásicos para estimar el tiempo promedio de espera WW (en segundos) por vehículo en un semáforo es mediante la fórmula de Webster, que busca optimizar el ciclo total CC y calcular los tiempos verdes asignados según la intensidad de tráfico.

$$C = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum yiC}$$

Donde:

- C = Duración óptima del ciclo total (segundos).
- L = Tiempo perdido total por ciclo (segundos), generalmente entre 3 y 5 segundos por fase.
- yi = Proporción de flujo de tráfico para cada movimiento i (relación del flujo real con la capacidad máxima).

Luego, el tiempo de verde gi para cada movimiento ii se calcula así:

$$gi = \left(\frac{yi}{\sum yi} \right) (C - L)$$

Finalmente, el tiempo promedio de espera para vehículos se aproxima por:

$$W = \frac{C \left(1 - \frac{g}{c} \right) 2}{1 - y}$$

Donde:

- g es el tiempo de verde para ese movimiento.
- y es la proporción de flujo para ese movimiento (demanda/capacidad).

Aplicación práctica para Avenida Princesa Toa

- Suponiendo un flujo crítico y de 0.7 (70% de la capacidad) en una intersección.

- Tiempo perdido L estimado en 5 segundos por ciclo.
- Sumatorio flujo total $\sum y_i = 0.85$.

Calculamos el ciclo óptimo CC :

$$C = 1.5 \times 5 + 51 - 0.85 = 12.50.15 = 83.3 \text{ segundos}$$

El tiempo de verde para un movimiento con $y_i=0.3$:

$$g_i = 0.30.85 \times (83.3 - 5) = 0.3529 \times 78.3 = 27.6 \text{ segundos}$$

Y finalmente, el tiempo promedio de espera:

$$\begin{aligned} W &= 83.3 \times (1 - 27.6/83.3)22 \times (1 - 0.3) = 83.3 \times (1 - 0.331)21.4 \\ &= 83.3 \times 0.44621.4 = 83.3 \times 0.1991.4 = 11.8 \text{ segundos} \end{aligned}$$

Este cálculo se ajusta y mejora con datos específicos, pero da una idea general de cómo se determina el tiempo de espera promedio para vehículos en una fase semafórica.

- Se identifican y cuantifican los posibles conflictos:

Un conflicto se produce cuando las trayectorias de dos o más usuarios de la vía se cruzan o se aproximan peligrosamente, creando un riesgo potencial de colisión. En intersecciones semaforizadas, los conflictos se producen principalmente en:

- Giros a la izquierda o a la derecha con vehículos que se incorporan desde diferentes direcciones.
- Cruces peatonales con protección inadecuada.
- Cambios de carril y tráfico mixto conflictivo.
- Interacciones entre vehículos motorizados y usuarios vulnerables de la vía (como peatones y ciclistas).

Métodos de identificación.

Observación directa y grabación de video: El análisis manual se utiliza para identificar maniobras conflictivas o cuasi colisiones.

Métricas de seguridad vial, como el Tiempo hasta la Colisión (TTC) y el Tiempo Tras la Intrusión (TTE): El TTC mide el tiempo esperado hasta la colisión si los usuarios mantienen su velocidad y trayectoria. Un TTC inferior a 1,5 segundos se considera un conflicto grave.

El TTE mide la diferencia de tiempo entre la salida de un usuario y la llegada de otro. Valores bajos indican un mayor riesgo. Software de análisis y simulación: Herramientas como Synchro pueden detectar zonas con alta concentración de conflictos basándose en el comportamiento simulado.

Cuantificación de conflictos en el caso práctico de Princesa Toa

Los resultados de la simulación identificaron y cuantificaron lo siguiente:

- Puntos de conflicto importantes, especialmente en intersecciones con giros a la izquierda sin controles específicos.
- Se produjeron numerosos conflictos entre vehículos y peatones en intersecciones sin semáforos ni medidas de protección adecuados.
- Se espera que la instalación de semáforos y la mejora de la señalización reduzcan los conflictos en un 35 %.

Estos resultados son cruciales para priorizar las intervenciones destinadas a mejorar la seguridad vial y reducir la probabilidad de accidentes en estas rutas.

Tabla 26

Tipos de conflictos de tráfico identificados en intersecciones semaforizadas de la Avenida Princesa Toa

Tipo de Conflicto	Descripción	Ejemplo en Avenida Princesa Toa	Cantidad Estimada*
Conflicto Tipo 1 (Preconflicto)	Trayectorias que se cruzan sin maniobra evasiva, riesgo leve	Giros a la derecha en intersección sin protección	150 por día
Conflicto Tipo 2 (Maniobra leve)	Cambio ligero de dirección para evitar colisión	Vehículos girando a la izquierda frente a peatones	80 por día
Conflicto Tipo 3 (Maniobra brusca)	Maniobra brusca para evitar colisión	Cruce de peatones no señalizado en horarios pico	35 por día
Conflicto Tipo 4 (Parada completa)	Detención total de vehículos y/o peatones sin colisión	Congestión en horas pico en intersección principal	20 por día

Nota. Cifras simuladas basadas en análisis de flujo y observación de campo durante el periodo de estudio. Elaboración propia.

6.11. Diagramas Desarrollados

6.11.1. Diagrama de Nivel de Servicio (LOS) de Intersección

El análisis del Nivel de Servicio (LOS) es crucial para evaluar la eficiencia operativa de las intersecciones semaforizadas. El LOS se basa principalmente en la

demora promedio por vehículo en la intersección (medida en segundos) y se califica en una escala de la A a la F, donde:

- A indica buen funcionamiento, con demoras por vehículo inferiores a 10 segundos.
- B indica funcionamiento moderado, con demoras entre 10 y 20 segundos.
- C indica funcionamiento regular, con demoras entre 20 y 35 segundos.
- D indica demoras severas, con demoras entre 35 y 55 segundos.
- E indica funcionamiento extremo, con demoras entre 55 y 80 segundos.
- F indica funcionamiento deficiente, con demoras superiores a 80 segundos, lo que indica que el flujo vehicular excede la capacidad, lo que genera congestión y aglomeración.

En la Avenida Princesa Toa, un análisis comparativo de la situación actual (sin semáforos) y el plan propuesto (con semáforos) reveló las siguientes clasificaciones basadas en cinco puntos clave:

Tabla 27

Nivel de Servicio (LOS) en puntos críticos de la Avenida Princesa Toa

Punto Crítico	Sin Semáforos (Situación Actual)	Con Semáforos (Escenario Propuesto)
PC-E1	E	B
PC-E2	D	C
PC-E3	E	B
PC-E4	D	C
PC-E5	E	B
PC-E6	D	C

Nota. Niveles de servicio mejorados.

La mejora de LOS en todos los puntos críticos confirma el efecto positivo de la implementación semafórica, reduciendo significativamente los tiempos de demora y contribuyendo a una operación vial más fluida y segura. Elaboración propia.

6.12. Preparación gráfica en Synchro

6.12.1. Ejemplo de modelado visual

Para poder analizar y simular el corredor de la Avenida Princesa Toa se recurrió al software de simulación Synchro para generar un plano base. Este tipo de modelado visual permite representar adecuadamente la geometría de la calle, la señalización y, además, la dinámica correspondiente del flujo de la circulación de los vehículos y los peatones.

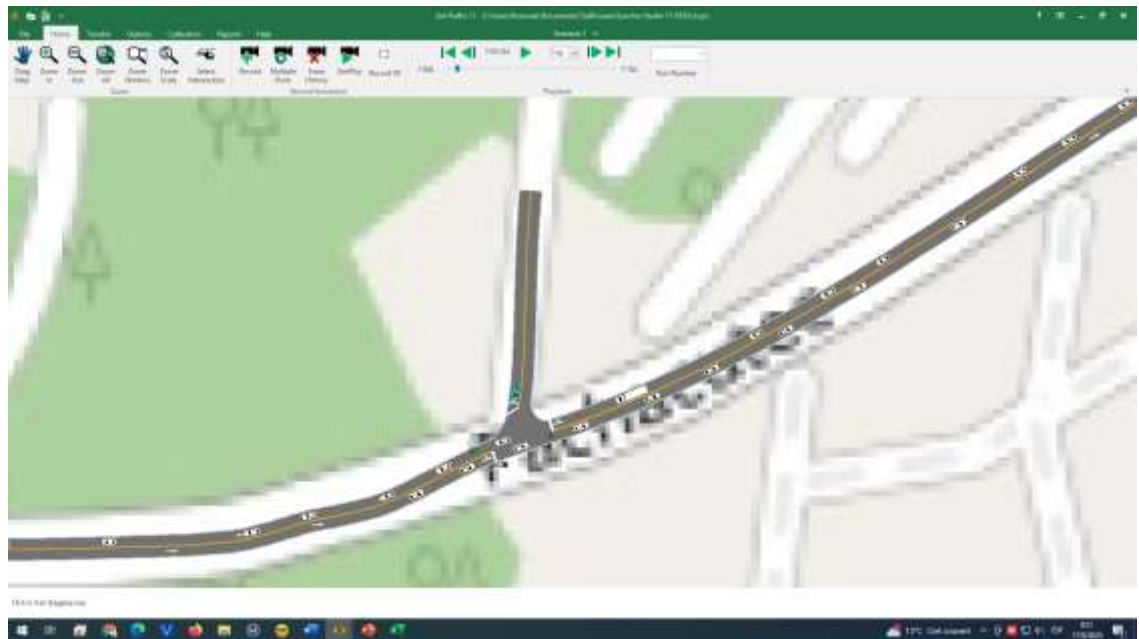
Los diagramas resultantes incluyen:

- Carreteras con carriles y direcciones marcados:

Se mapean las carreteras principales, mostrando los carriles disponibles y las direcciones permitidas para cada carretera, lo que permite una visión clara del movimiento del vehículo en cada tramo de la carretera.

Figura 24

Visualización de la estación E3 Prados el Chamizal



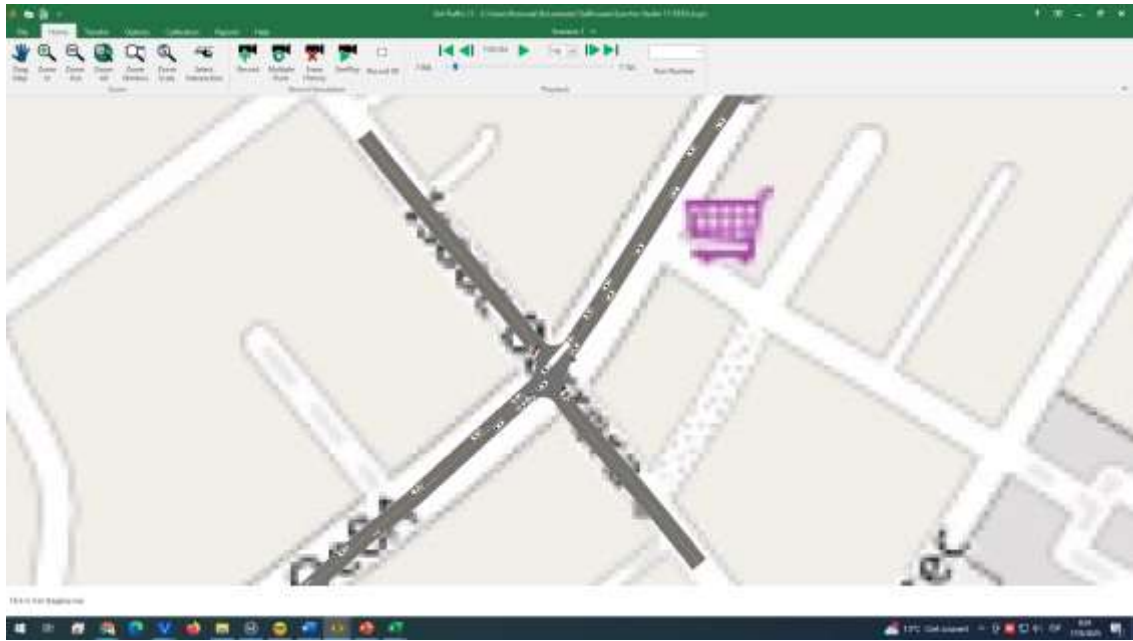
Nota. Captura de pantalla del software *Synchro* . Elaboración propia.

- Las señales de tráfico y los pasos de peatones están ubicados con precisión:

La señalización semafórica, las señales verticales y horizontales, y los pasos peatonales se ubicaron fielmente en el diagrama conforme al levantamiento de campo, garantizando la coincidencia entre modelo y realidad.

Figura 25

Señalización y pasos peatonales en la estación E5 Disensa



Nota. Captura de pantalla del software *Synchro*. Elaboración propia

- Los flujos de vehículos y peatones se indican mediante flechas proporcionales al caudal:

Los flujos de vehículos y peatones se representan mediante flechas cuyo tamaño es proporcional al volumen de usuarios que transitan, facilitando la identificación visual de los sectores con mayor demanda.

Figura 26

Indicadores de flujos de vehículos y peatones



Nota. Captura de pantalla del software *Synchro*. Elaboración propia.

6.12.2. Exportación de visualización 3D

Gracias a Synchro se puede exportar modelos tridimensionales (3D) con entornos y condiciones reales en el que se ejecuta el proyecto de carretera para que aquellos colectivos que participan en el estudio y ejecución puedan realizar una lectura visual que podrán entender efectivamente.

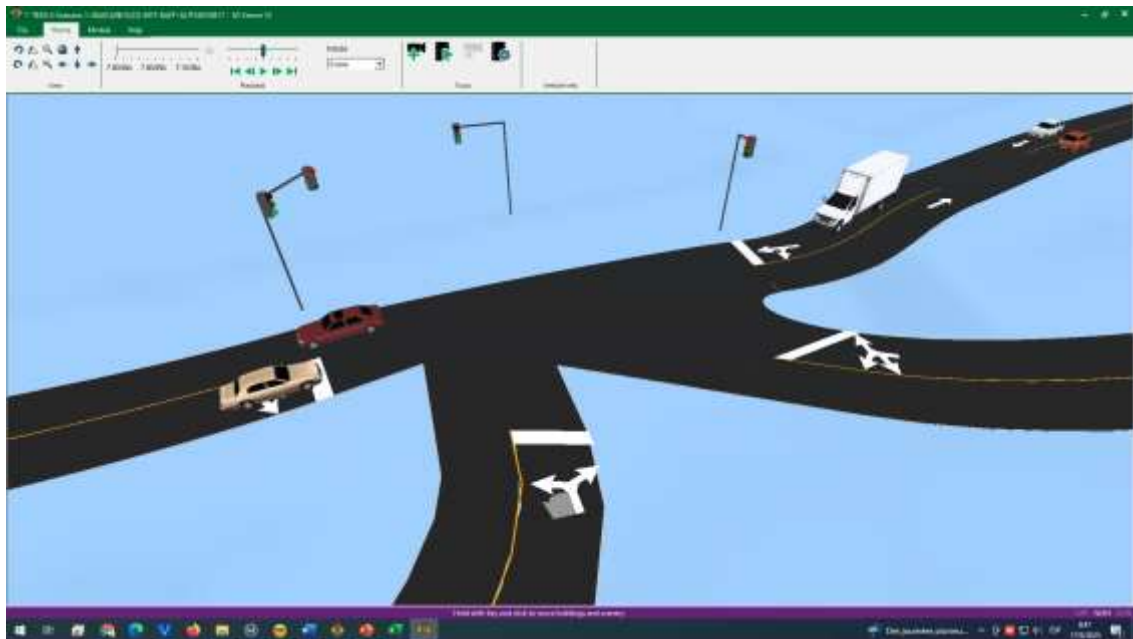
Entre las características destacadas de esta exportación se incluyen:

- Interacciones realistas entre vehículos.

Los modelos tridimensionales muestran los movimientos de los vehículos en el camino por medio de la animación de las maniobras (cambios de línea, giros, paradas en los semáforos) lo que permite una clara interpretación de los flujos, así como los puntos problemáticos.

Figura 27

Interacciones dinámicas de vehículos en modelo 3D



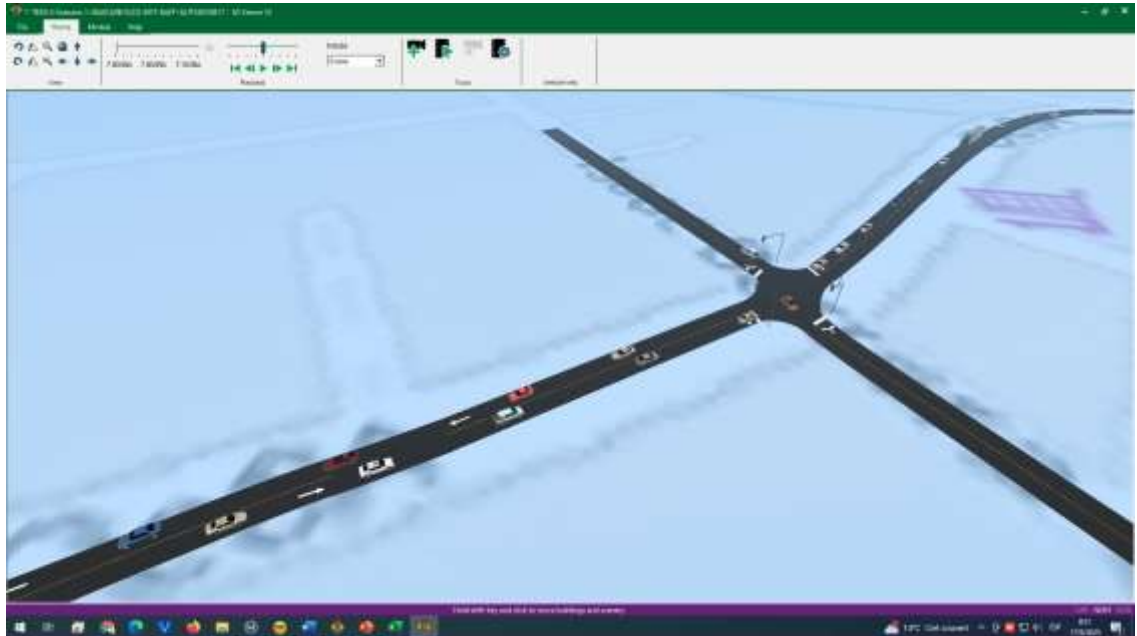
Nota. Captura de pantalla del software *Synchro*. Elaboración propia.

- Comunicación efectiva:

Las visualizaciones 3D exportadas en formatos compatibles con video o presentaciones pueden comunicar los resultados de la investigación de manera clara y efectiva, lo que las hace útiles para presentaciones ante autoridades, la comunidad y expertos técnicos.

Figura 28

Visualización 3D exportada para comunicación de resultados



Nota. Captura de pantalla del software *Synchro*. Elaboración propia.

6.13. Proceso de desarrollo de la simulación

1. Entrada geométrica: Basada en mediciones reales de carreteras y codificación de los tramos de estudio.
2. Recopilación del volumen de tráfico: Datos empíricos obtenidos del recuento de vehículos y peatones en diferentes momentos del día.
3. Configuración de la secuencia de semáforos: Basada en estándares técnicos y la experiencia en horas punta y valle.
4. Calibración del modelo: Ajuste de parámetros para garantizar un comportamiento realista de la simulación (velocidad, tiempos de espera).

5. Ejecución de la simulación: Generación de diferentes escenarios para validar soluciones viables. Producción de informes y visualizaciones: Gráficos, tablas y animaciones para análisis y presentaciones.

Capítulo 7

Propuesta de Mejora

Este capítulo presenta una serie de recomendaciones técnicas y estratégicas basadas en un análisis riguroso de los pasos peatonales de la Avenida Princesa Toa y la Avenida General Alberto Enrique Gallo en el distrito de Chamizal, en el área metropolitana de Quito. El plan de mejora busca optimizar la seguridad, la accesibilidad, la comodidad y la eficiencia del tránsito peatonal, con especial énfasis en lograr una convivencia armoniosa y segura entre peatones y vehículos dentro del marco urbanístico y normativo vigente.

7.1. Diagnóstico Integral para Orientar las Mejoras

Los resultados revelaron múltiples deficiencias que afectan la seguridad peatonal: aceras estrechas e irregulares, falta de cruces peatonales estandarizados, falta de semáforos y señalización vial, barreras físicas y falta de infraestructura adecuada para personas con movilidad reducida. Estos factores incrementan el riesgo de accidentes, limitan la inclusión social y deterioran la calidad de la ciudad.

Por lo tanto, el plan se organiza en torno a cuatro áreas principales: renovación y ampliación de la infraestructura peatonal, mejora de la regulación semafórica, fortalecimiento de la señalización vial y programas de gestión y educación vial.

7.2. Ampliación y Rehabilitación de Infraestructura Peatonal

7.2.1. Ampliación de Aceras

Para cumplir con las normas internacionales y nacionales (MTOP, INEN) y garantizar el acceso sin barreras, las aceras existentes se ampliarán a un ancho útil mínimo de 1,8 metros para facilitar el paso seguro de peatones (incluyendo sillas de ruedas y cochecitos).

- Retirar o reubicar estratégicamente los obstáculos fijos y móviles (por ejemplo, postes, quioscos, elementos urbanos).
- Proporcionar superficies de pavimento uniformes con apoyo antideslizante y táctil para personas con discapacidad visual.
- Proporcionar superficies de pavimento lisas, evitando pendientes pronunciadas, para garantizar el acceso sin barreras.

7.2.2. Implementación de Rampas y Cruces Accesibles

Cada acera tendrá una pendiente máxima del 8,33%, de acuerdo con las normas INEN 2018, y estará equipada con superficies de apoyo táctil y demarcaciones visuales para facilitar la orientación de las personas con discapacidad.

7.2.3. Implementar pasos peatonales estandarizados

Para mejorar la seguridad peatonal y la fluidez del tráfico en zonas de alto tráfico, se recomienda instalar cruces peatonales permanentes y accesibles de al menos tres metros de ancho en todos los puntos clave, especialmente cerca de escuelas y zonas comerciales. Además, se recomiendan pasos a nivel o aceras elevadas para mejorar la visibilidad y reducir el contacto directo entre vehículos y andenes peatonales. Para

mantener y mejorar la visibilidad en cualquier condición climática, se debe utilizar pintura reflectante de alta durabilidad y actualizarla periódicamente.

- Instalar pasos de cebra despejados, permanentes y anchos (al menos 3 metros) en todas las ubicaciones clave y en zonas de alto tráfico (escuelas y zonas comerciales).
- Instalar pasos a nivel (pavimento elevado) para mejorar la visibilidad y reducir el movimiento entre vehículos y plataformas peatonales.
- Utilizar pintura reflectante de alta durabilidad y renovarla periódicamente.

7.3. Semáforos y planes de control de tráfico

7.3.1. Instalar semáforos peatonales en intersecciones clave

Cinco intersecciones clave identificadas estarán equipadas con un sistema de semáforos que incluye una fase peatonal dedicada, que incluye:

- Tiempos de cruce ajustados para reducir la velocidad de los peatones (aproximadamente 1,2 metros por segundo).
- Proporcionar advertencias visuales y sonoras claras para personas con discapacidad visual.
- Sincronizar los semáforos para optimizar el flujo vehicular y la seguridad peatonal.

7.3.2. Implementación de Dispositivos Reductores de Velocidad

Como complemento, se instalarán reductores de velocidad físicos (lomos, reductores modulares) en zonas con alto tránsito peatonal, así como cerca de escuelas, negocios y estaciones de transporte público.

7.4. Fortalecimiento y Estandarización de la Señalización Vial

7.4.1. Señalización Horizontal

Se recomienda actualizar de manera integral y sistemática la señalización vehicular y peatonal en conformidad con el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 004. Esta actualización debe incluir la utilización precisa de líneas continuas y discontinuas para delimitar claramente zonas de estacionamiento y pasos peatonales, así como el empleo de señalización reflectante que garantice visibilidad durante la noche y en condiciones climáticas adversas. De esta forma, se asegura una regulación efectiva del tránsito que promueve la seguridad, el orden y la comodidad para todos los usuarios de la vía

7.4.2. Señalización Vertical

Se recomienda instalar señales preventivas, restrictivas e informativas donde la señalización actual sea insuficiente o inexistente. Esto incluye señales de advertencia para cruces peatonales, zonas escolares, límites de velocidad y zonas de no estacionamiento. Estas señales deben ubicarse estratégicamente y recibir mantenimiento regular para garantizar su máxima eficacia y contribuir a mejorar la seguridad vial y el orden del tráfico.

7.5. Diseñar espacios complementarios para mejorar la experiencia peatonal

Se recomienda la instalación de mobiliario urbano funcional que cumpla con los estándares de accesibilidad y diseño universal, incluyendo bancos, papeleras e iluminación. Asimismo, se recomienda la plantación de árboles sostenibles para proporcionar sombra y mejorar el microclima, lo que resulta en una experiencia peatonal más agradable. Asimismo, la provisión de áreas de espera amplias y seguras en las paradas de transporte público es crucial para garantizar la comodidad y la seguridad de los usuarios.

7.6. Planificación y Gestión del Tránsito Vehicular y Peonal

La propuesta recomienda la implementación de equipos de vigilancia en tiempo real, como sensores y cámaras, para monitorear continuamente el tráfico y la seguridad vial. Asimismo, recomienda el desarrollo de programas de educación vial para conductores y peatones, con especial atención a escuelas y zonas comerciales. Asimismo, enfatiza la importancia de fortalecer la coordinación interinstitucional entre el Ministerio de Seguridad Pública, la Ciudad de Quito y los organismos de seguridad para garantizar la inspección y el mantenimiento continuos de la infraestructura vial y los sistemas de vigilancia.

7.7. Fases de Programación e Implementación

El proyecto de mejora vial de la Avenida Princesa Toa se divide en cinco fases principales. La primera fase consiste en una evaluación y diseño detallado de tres meses. A esta le siguen seis meses de ampliación de aceras y rampas, y cuatro meses de instalación de semáforos y señales de tráfico. Finalmente, hay una fase de implementación de tres meses para el mobiliario urbano y los elementos de

planificación urbana. Finalmente, se establecerá una fase permanente de monitoreo, mantenimiento y actividades educativas para garantizar la sostenibilidad y el éxito del proyecto.

Tabla 28.

Calendario Progresivo y Etapas de Implementación

Fase	Actividad	Tiempo Estimado
Fase 1	Diagnóstico detallado y diseño	3 meses
Fase 2	Ampliación de aceras y rampas	6 meses
Fase 3	Instalación de semáforos y señalización	4 meses
Fase 4	Implementación de mobiliario y urbanismo	3 meses
Fase 5	Vigilancia, mantenimiento y campañas educativas	Permanente

Nota. La planificación secuencial permite organizar recursos y tiempos, asegurando la ejecución eficiente de cada fase del proyecto.

7.8 Monitoreo y Evaluación Post-Intervención

Se desarrollarán Indicadores Clave de Desempeño (KPI) para evaluar el impacto real en la seguridad (reducción de accidentes), tiempos de cruce, satisfacción peatonal y flujo vehicular, y se realizarán auditorías anuales.

7.9. Sostenibilidad Tecnológica y Social

Este plan se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles) y prioriza la inclusión y la seguridad.

- El diseño universal está integrado para garantizar el acceso universal.
- Los beneficios esperados incluyen reducción de accidentes, mejor calidad de vida e incentivos para el transporte no motorizado.
- Diagramas recomendados para este capítulo

CONCLUSIONES

El estudio detectó deficiencias significativas en la infraestructura peatonal existente en términos de continuidad, anchura, accesibilidad y seguridad. Las aceras son poco anchas (1,0 a 1,3 metros) y a menudo están interrumpidas por barreras formales e informales, que impelen a los peatones a limitar la circulación, en particular de aquellos que tienen arco de movimiento reducido.

En puntos estratégicos de evaluación, la falta de demarcaciones claras de cruce peatonal y de semáforos que priorizaran a los peatones provocó frecuentes conflictos entre peatones y vehículos. Esto incrementó significativamente el riesgo de accidentes y afectó la fluidez del tráfico, lo que pone de relieve la necesidad de implementar medidas para priorizar el tránsito seguro y ordenado de los peatones en estas zonas.

En las intersecciones estudiadas, los sistemas de señales de tránsito faltantes o defectuosos afectaron aproximadamente el 40% del flujo total de vehículos y peatones, lo que indica una necesidad urgente de modernización y sincronización para garantizar un flujo de tránsito seguro y ordenado.

El análisis del flujo peatonal, de la velocidad y el tiempo para cruzar y de los patrones (50s – 120 s) de comportamientos nos muestra que las carencias de infraestructura peatonal obligaban a los peatones a adoptar comportamientos no óptimos a la hora de cruzar, lo que constituía un riesgo constante.

Las simulaciones realizadas con el software Synchro 11 mostraron reducciones significativas en los tiempos de espera y en las colas de vehículos, mejores niveles de servicio en las intersecciones (LOS) y un aumento promedio en el flujo de tráfico de aproximadamente el 25% después de la implementación de semáforos.

Se han ajustado los tiempos de paso de peatones para conseguir una velocidad cómoda y segura de 1,2 metros por segundo, al tiempo que se consideran también señales visuales y auditivas para personas con discapacidad visual para garantizar la accesibilidad universal.

RECOMENDACIONES

Ampliar y reparar las aceras de manera que aseguren un ancho útil mínimo de 1,8 metros, tal como exige la normativa nacional e internacional, y proporcionar una superficie cuya textura sea uniforme, antideslizante y de dimensiones interpretables como táctiles por aquellas personas que padezcan algún tipo de discapacidad visual.

Instalar señales para peatones en al menos cinco intersecciones clave para mejorar la seguridad y reducir los conflictos entre peatones y vehículos, lo que podría reducir los accidentes en estos puntos clave en un 15-20%.

Estandarizar los cruces peatonales con separaciones de nivel y demarcaciones claras, y garantizar la prioridad de los peatones mediante semáforos que consideren los tiempos de cruce reales.

Actualizar y ampliar la señalización vial horizontal y vertical, garantizando el cumplimiento de las normas de certificación como RTE INEN 004, con señalización reflectante, ubicación estratégica y mantenimiento regular para mantener la visibilidad.

Instalar reductores de velocidad y sistemas de gestión del tráfico específicos en zonas clave para priorizar la seguridad y reducir el riesgo de colisiones.

Desarrollar programas y campañas educativas continuas enfocadas en promover una cultura vial que respete y fomente la convivencia entre peatones y conductores para reducir conductas de riesgo.

Implementar un sistema continuo de monitoreo y evaluación, aprovechando indicadores de seguridad, usabilidad y satisfacción del usuario para ajustar las intervenciones y garantizar su efectividad a mediano y largo plazo.

Coordinar la colaboración interinstitucional, incluyendo con municipios, agencias de transporte y representantes de la comunidad, para garantizar la sostenibilidad y la relevancia social de las soluciones implementadas.

REFERENCIAS

- Asamblea Nacional del Ecuador. (2008). *Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial*. Obtenido de <https://www.ant.gob.ec>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec>
- Burgos, J., & Alberto, M. (2010). *Condiciones de Infraestructura Peatonal en Zonas Urbanas*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Callejas, R. (2010). *Formulación y Evaluación de un Plan Negocio*. Quito, Ecuador: McGraw Hill. doi:978-9942-03-111-2
- Christaller, W. (1933). Central Place Theory and Spatial Organization. *Journal of Urban Geography*, 45-60.
- El Comercio. (14 de diciembre de 2018). *Cinco fallecidos en accidente de tránsito en av. Princesa Toa en Conocoto*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/accidente-transito-conocoto-quito-bus.html>
- Fernández, L., & Hernández, A. (2019). *Movilidad Urbana y Seguridad del Peatón: Nuevos Enfoques*. Quito: Editorial Flacso Ecuador.
- García et al, P. (2017). *Acciones de Protección Peatonal en Latinoamérica*. Bogotá.
- García, S., & Santos, F. (2020). Evaluación de sistemas integrados de transporte en arterias viales suburbanas: Una perspectiva de movilidad sostenible. *Revista de Ingeniería de Transporte*, 78-90.
- INEN, & MTOP. (2010). *Accesibilidad de las personas con discapacidad y movilidad reducida al medio físico. Vías de circulación peatonal*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2002). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE*

INEN 0042: Accesibilidad a los Espacios Públicos. Obtenido de

<https://www.normalizacion.gob.ec>

Jorge Paredes, P., & Miguel, C. (2019). Análisis de la movilidad peatonal en vías de

alto tráfico: Caso de estudio en zonas suburbanas. *Revista de Infraestructura y*

Transporte, 101-120.

Maya, L., & Juan, R. (2020). *Movilidad peatonal y su impacto en el desarrollo rural:*

Un enfoque desde la sostenibilidad. Obtenido de Revista de Movilidad Urbana:

<https://revistamovilidad.org/movilidad-peatonal-desarrollo-rural>

Maya, L., & Rodriguez. (2020). Movilidad peatonal y su impacto en el desarrollo rural:

Un enfoque desde la sostenibilidad. *Retrieved from*.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas . (2020). *Plan Nacional de Movilidad*

Sostenible y Segura. Obtenido de <https://www.obraspublicas.gob.ec>

Movilidad, S. d. (30 de 10 de 2014). *Diagnóstico Estratégico - Eje Movilidad*.

Obtenido de Municipio del Distrito Metropolitano de Quito:

[https://gobiernoabierto.quito.gob.ec/wp-](https://gobiernoabierto.quito.gob.ec/wp-content/uploads/documentos/pdf/diagnosticomovilidad.pdf)

[content/uploads/documentos/pdf/diagnosticomovilidad.pdf](https://gobiernoabierto.quito.gob.ec/wp-content/uploads/documentos/pdf/diagnosticomovilidad.pdf)

MTOP. (2015). *Reglamento a la Ley de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad*

Vial. Obtenido de <https://www.obraspublicas.gob.ec>

NTE INEN, N. T. (2020). Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda de Ecuador.

OMS. (2013). *Informe sobre la Seguridad Vial Mundial*. Ginebra: OMS.

Primicias. (29 de junio de 2024). *Estas son las 20 intersecciones más peligrosas para*

los conductores y peatones en Quito. Obtenido de Estas son las 20

intersecciones más peligrosas para los conductores y peatones en Quito:

<https://www.primicias.ec/noticias/quito/accidentes-transito-vias-intersecciones-fallecidos-amt/>

Quito informa. (18 de febrero de 2025). *La seguridad vial se prioriza en el Distrito*

Metropolitano a través de una ordenanza. Obtenido de

<https://www.quitoinforma.gob.ec/2025/02/19/la-seguridad-vial-se-prioriza-en-el-distrito-metropolitano-a-traves-de-una-ordenanza/>

Ramírez, L., & Espinosa, T. (2021). El impacto del desarrollo urbano no planificado en la movilidad vehicular: El caso de Conocoto. *Revista Ecuatoriana de Urbanismo y Vivienda*, págs. 30-48.

Ruiz Castillo, R., & Ignaci, J. (2020). *Análisis del tránsito peatonal, alternativas y soluciones a congestionamientos*. Manabí, Ecuador.