

**Estudio del impacto en el tránsito sobre la avenida universitaria generado por la nueva
demanda vehicular y peatonal de la universidad Santo Tomás Tunja**

William Rafael Reyes Caro

Juan Felipe Forero Sierra



Vo Bo Angel Daza
Julio 10 de 2023

Universidad Santo Tomas Tunja

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Civil

Tunja-Boyacá

2023

**Estudio del impacto en el tránsito sobre la avenida universitaria generado por la nueva
demanda vehicular y peatonal de la universidad Santo Tomás Tunja**

William Rafael Reyes Caro

Juan Felipe Forero Sierra

Proyecto para optar el título de Ingeniero Civil

Director

Ángel Francisco Daza Pinzón

Especialista en Patología del Concreto

Mg.. Gerencia de Proyectos de Construcción

Universidad Santo Tomas Tunja

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Civil

Tunja-Boyacá

2023

Agradecimientos

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi mamá Claudia Esperanza Reyes Caro, por ser mi apoyo constante en cada etapa de mi vida y en especial en este proceso de trabajo de grado. Su amor incondicional, sabios consejos y valiosos ánimos me han dado la fuerza y la determinación necesarias para superar cualquier obstáculo y seguir adelante. Sin su amor y apoyo, no hubiera sido posible llegar hasta aquí.

También quiero agradecer a mis profesores por su dedicación, paciencia y experiencia en la enseñanza. Sus conocimientos y habilidades han sido fundamentales para la formación de mi persona y el desarrollo de mis habilidades académicas y profesionales. Me han enseñado a ver el mundo con una perspectiva más amplia, a pensar críticamente y a trabajar arduamente para alcanzar mis objetivos.

Asimismo, deseo agradecer a mi trabajo por brindarme la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos en la universidad en un entorno laboral real. Gracias a esta experiencia, he aprendido a trabajar en equipo, a ser más eficiente en la resolución de problemas y a ser más consciente de mis fortalezas y debilidades.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a mis hermanos por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento y su amor sincero. Siempre han estado ahí para mí, incluso en los momentos más difíciles, y han sido mi mayor inspiración para seguir adelante y nunca rendirme. En resumen, agradezco a mi mamá, profesores, trabajo y hermanos por ser una parte fundamental de mi vida y ayudarme en este proceso de trabajo de grado. Sin ellos, no hubiera sido posible llegar hasta aquí.

Nota de aceptación:

Jurado:

Ing. Néstor Rojas

Jurado:

Ing. Juan Ricardo Pérez C

Director del proyecto:



Ing. Ángel Francisco Daza Pinzón

Tunja, 10 de Julio de 2023

Contenido

	Pag.
1	Resumen 13
2	Abstract..... 14
3	Introducción..... 15
4	Problema de investigación..... 17
4.1	Descripción de la problemática 17
4.1.1	Preguntas de investigación 21
4.2	Justificación 22
4.3	Objetivos..... 23
4.3.1	Objetivo general 23
4.3.2	Objetivos Específicos 23
5	Revisión Bibliográfica..... 24
5.1	Estado del arte 24
5.2	Antecedentes..... 28
5.3	Marco Conceptual..... 33
5.3.1	Estudios de transito..... 33
5.3.2	Elementos ambientales 34
5.3.3	Espacio público 36
5.3.4	Accesibilidad 37
5.3.5	Andén 38
5.3.6	Desplazamiento 39
5.3.7	Movilidad 39
5.3.8	Movilidad urbana..... 40
5.3.9	Movilidad sostenible 41
5.3.10	Seguridad..... 42
5.4	Marco teórico..... 42
5.4.1	La importancia de la ingeniería y de los estudios de tránsito..... 42
5.4.2	La movilidad urbana en entornos universitarios..... 45
5.4.3	Accidentalidad y su relación con los entornos universitarios 46
5.4.4	Infraestructura vial no inclusiva 47

6	Materiales y Métodos	49
6.1	Contexto geográfico	49
6.2	Marco demográfico.....	50
6.3	Tipo de investigación	51
6.4	Alcance y actividades de la investigación	52
6.4.1	Análisis integral de tasas de crecimiento.....	55
6.4.2	Capacidad y nivel de servicio peatonal	55
6.4.3	Análisis de brechas	58
6.4.4	Evaluación PV2	59
6.4.5	Metodología para la validación de cruces semafóricos	60
6.4.6	Viabilidad de la implementación de intersecciones semaforizadas.....	64
6.4.7	Modelos de micro simulación.....	64
7	Análisis y discusión.....	69
7.1	Análisis de las condiciones operacionales de tránsito actual en la Av. Universitaria ..	69
7.1.1	Procesamiento de la información	69
7.1.2	Análisis de conflictos entre modos motorizados y no motorizados	88
7.1.3	Evaluación de la operación, capacidad y nivel de servicio de la malla vial.....	89
7.2	Propuestas de mejoramiento de la malla vial y accesibilidad de los usuarios.....	106
7.2.1	Determinación de dispositivos para cruces peatonales.....	107
7.2.2	Validación de la implementación de Semáforo	108
7.2.3	Mejoras en la infraestructura y señalización vial	109
7.3	Evaluación integral de la operación del tránsito en los escenarios de proyección de crecimiento a 5 y 10 años	110
7.3.1	Escenario base	112
7.3.2	Escenario año 5.....	114
7.3.3	Escenario año 10.....	121
7.3.4	Análisis integral de los escenarios de evaluación.....	124
8	Conclusiones y recomendaciones.....	129
9	Glosario	134
10	Referencias bibliográficas	139
11	Anexos.....	149

Índice de tablas

	Pag.
Tabla 2. Promedio de Tasas de Crecimiento poblacional y de transporte en la zona de estudio	55
Tabla 3. Ecuaciones para flujo peatonal promedio y ancho efectivo de la vía.....	56
Tabla 4. Volumen de peatones/m-minuto según áreas libres y velocidad de peatones.....	57
Tabla 5. Características de los niveles de servicio	58
Tabla 6 Ecuaciones a emplear para el análisis de brechas.	59
Tabla 7. Determinación de dispositivo peatonal según relación PV2.	60
Tabla 8. Volumen vehicular según la clase de calle condición A	61
Tabla 9. Volumen vehicular según la clase de calle condición B	62
Tabla 10. Evaluación PV ² en la intersección 2.....	64
Tabla 11. Criterios de validación del modelo por volúmenes y por velocidades.....	67
Tabla 12. Puntos de Aforo.....	70
Tabla 13. Resumen de volúmenes vehiculares por movimiento en la hora de máxima demanda	80
Tabla 14. Puntos de aforo para el registro de volúmenes no motorizados	81
Tabla 15. Resumen de flujos peatonales en la hora de máxima demanda de la estación SCP_1	86
Tabla 16. Resumen de flujos peatonales en la hora de máxima demanda de la estación SCP_2	86
Tabla 17 Resumen de flujos peatonales en la hora de máxima demanda de la estación SCP_3	87
Tabla 18. Velocidades de operación de la Avenida Universitaria entre Calle 41 y 49	87
Tabla 20. Nivel de servicio en la infraestructura peatonal para la situación actual	90
Tabla 21. Demanda modelada	94
Tabla 22. Matrices origen-destino	95
Tabla 23. Resultados de calibración en puntos de control	97
Tabla 24 Resultados de calibración por velocidades.....	99
Tabla 25. Resultados generales en la red actual	100

Tabla 26. Nivel de servicio por intersección (Demoras). Situación actual.	101
Tabla 27. Longitud de colas.	102
Tabla 28. Análisis de colas para el acceso al campus de la Universidad Santo Tomás de Tunja	106
Tabla 29. Determinación del dispositivo para el paso peatonal	108
Tabla 30. Validación de la implementación de cruce semaforizado en la Av. Universitaria por Calle 49.....	108
Tabla 31. Niveles de servicio infraestructura peatonal para el año 5 y año 10	110
Tabla 32. Crecimiento porcentual de estudiantes matriculados en educación superior para el año 2021 frente al año 2020.	111
Tabla 33. Longitud de colas para el acceso al campus de la Universidad Santo Tomás, años 5 y 10.	111
Tabla 34. Ciclo semafórico para la Av. Universitaria por Calle 49.	112
Tabla 35. Resultados de desempeño de la red escenario base.....	113
Tabla 36. Resultados de desempeño de la red escenario año 5	114
Tabla 37. Resultados de desempeño de la red escenario año 5 – alternativa 1	117
Tabla 38. Resultados de desempeño de la red escenario año 5 – alternativa 2	119
Tabla 39. Resultados de desempeño de la red escenario año 10	121

Índice de Figuras

	Pag.
Figura 1. Proyección del crecimiento de la Población de la Ciudad de Tunja.....	18
Figura 2. Pasajeros movilizados por medio terrestre entre 2012 y 2021 en Colombia.	19
Figura 3. Movimiento de carga nacional por modo de transporte.....	20
Figura 3. Parque automotor de vehículos – Total Nacional.	21
Figura 4. Zona de estudio. Avenida universitaria entre calle 42 y calle 47.....	50
Figura 6. Franjas no utilizadas en vía peatonal.	57
Figura 7 Localización de las estaciones para el registro de volúmenes	70
Figura 8 Nomenclatura de movimientos norma RILSA.....	71
Figura 9. Estaciones y movimientos aforados.....	72
Figura 10. Distribución horaria y composición vehicular en la Av. Universitaria por Calle 49	74
Figura 11. Distribución horaria y composición vehicular en Av. Universitaria por Calle 47..	75
Figura 12. Distribución horaria y composición vehicular en Av. Universitaria por Calle 45..	76
Figura 13. Distribución horaria y composición vehicular en Av. Universitaria por Calle 41..	77
Figura 14. Distribución horaria y composición vehicular en Av. Universitaria por Calle 40..	78
Figura 15. Variación horaria de la red vial modelada en máxima demanda 17:00 a 18:15	79
Figura 16. Localización de puntos de aforo de modos no motorizados	81
Figura 17. Nomenclatura de movimientos para modos no motorizados	82
Figura 19 Distribución horaria y composición de volúmenes de modos no motorizados en la estación SCP_1	83
Figura 20 Distribución horaria y composición de volúmenes de modos no motorizados en la estación SCP_2.....	84
Figura 21 Distribución horaria y composición de volúmenes de modos no motorizados en la estación SCP_3.....	85
Figura 22. Malla vial analizada	93
Figura 23. Convergencia GAP.....	97
Figura 24 Nivel de servicio (Densidad). Situación actual.....	101

Figura 25. Simulación de la operación del tránsito en la Av. Universitaria por Calle 41 – tiempo simulado: 30 minutos	103
Figura 26. Simulación de la operación del tránsito en la Av. Universitaria por Calle 47 – tiempo simulado: 30 minutos	103
Figura 27. Simulación de la operación del tránsito en la Av. Universitaria por Calle 49 – tiempo simulado: 30 minutos	104
Figura 28. Simulación de la operación del tránsito en la Av. Universitaria por Calle 45– tiempo simulado: 30 minutos	104
Figura 29. Planeamiento semafórico de la Av. Universitaria por Calle 49	113
Figura 30. Desempeño de la red vial – Escenario año 5.....	115
Figura 31. Planeamiento semafórico de la Av. Universitaria por Calle 41 – Escenario año 5 – alternativa 1	116
Figura 32. Planeamiento semafórico de la Av. Universitaria por Calle 40 – Escenario año 5 – alternativa 1	116
Figura 33. Desempeño de la red vial – Escenario año 5 – Alternativa 1.....	118
Figura 34. Planeamiento semafórico de la Av. Universitaria por Calle 41 – Escenario año 5 – alternativa 2	119
Figura 35. Planeamiento semafórico de la Av. Universitaria por Calle 40 – Escenario año 5 – alternativa 2	119
Figura 36. Desempeño de la red vial – Escenario año 5 – Alternativa 2.....	120
Figura 37. Desempeño de la red vial – Escenario año 10.....	122
Figura 38. Desempeño de la red vial semáforo peatonal propuesto para el cruce en el acceso al campus Universitario – Escenario año 10	123
Figura 39. Desempeño de la Av. Universitaria por Calle 49 – Escenario año 10	124
Tabla 40. Comparación del desempeño de la red vial.....	125
Figura 40. Variación de la velocidad de operación en la red vial	126
Figura 42. Variación de las demoras en la red vial	126
Figura 43. Variación de los viajes completados en la red vial	127

Figura 1. Proyección del crecimiento de la Población de la Ciudad de Tunja.....	18
---	----

Figura 2. Pasajeros movilizados por medio terrestre entre 2012 y 2021 en Colombia.	19
---	----

Figura 3. Movimiento de carga nacional por modo de transporte.....	20
Figura 3. Parque automotor de vehículos – Total Nacional.	21
Figura 4. Zona de estudio. Avenida universitaria entre calle 42 y calle 47.....	50
Figura 6. Franjas no utilizadas en vía peatonal.	57
Figura 7 Localización de las estaciones para el registro de volúmenes	70
Figura 8 Nomenclatura de movimientos norma RILSA.....	71
Figura 9. Estaciones y movimientos aforados.....	72
Figura 10. Distribución horaria y composición vehicular en la Av. Universitaria por Calle 49	74
Figura 11. Distribución horaria y composición vehicular en Av. Universitaria por Calle 47..	75
Figura 12. Distribución horaria y composición vehicular en Av. Universitaria por Calle 45..	76
Figura 13. Distribución horaria y composición vehicular en Av. Universitaria por Calle 41..	77
Figura 14. Distribución horaria y composición vehicular en Av. Universitaria por Calle 40..	78
Figura 15. Variación horaria de la red vial modelada en máxima demanda 17:00 a 18:15	79
Figura 16. Localización de puntos de aforo de modos no motorizados	81
Figura 17. Nomenclatura de movimientos para modos no motorizados	82
Figura 19 Distribución horaria y composición de volúmenes de modos no motorizados en la estación SCP_1	83
Figura 20 Distribución horaria y composición de volúmenes de modos no motorizados en la estación SCP_2.....	84
Figura 21 Distribución horaria y composición de volúmenes de modos no motorizados en la estación SCP_3.....	85
Figura 22. Malla vial analizada	93
Figura 23. Convergencia GAP.....	97
Figura 24 Nivel de servicio (Densidad). Situación actual.....	101
Figura 25. Simulación de la operación del tránsito en la Av. Universitaria por Calle 41 – tiempo simulado: 30 minutos	103
Figura 26. Simulación de la operación del tránsito en la Av. Universitaria por Calle 47 – tiempo simulado: 30 minutos	103
Figura 27. Simulación de la operación del tránsito en la Av. Universitaria por Calle 49 – tiempo simulado: 30 minutos	104

Figura 28. Simulación de la operación del tránsito en la Av. Universitaria por Calle 45– tiempo simulado: 30 minutos	104
Figura 29. Planeamiento semafórico de la Av. Universitaria por Calle 49	113
Figura 30. Desempeño de la red vial – Escenario año 5.....	115
Figura 31. Planeamiento semafórico de la Av. Universitaria por Calle 41 – Escenario año 5 – alternativa 1	116
Figura 32. Planeamiento semafórico de la Av. Universitaria por Calle 40 – Escenario año 5 – alternativa 1	116
Figura 33. Desempeño de la red vial – Escenario año 5 – Alternativa 1.....	118
Figura 34. Planeamiento semafórico de la Av. Universitaria por Calle 41 – Escenario año 5 – alternativa 2	119
Figura 35. Planeamiento semafórico de la Av. Universitaria por Calle 40 – Escenario año 5 – alternativa 2	119
Figura 36. Desempeño de la red vial – Escenario año 5 – Alternativa 2.....	120
Figura 37. Desempeño de la red vial – Escenario año 10.....	122
Figura 38. Desempeño de la red vial semáforo peatonal propuesto para el cruce en el acceso al campus Universitario – Escenario año 10	123
Figura 39. Desempeño de la Av. Universitaria por Calle 49 – Escenario año 10	124
Tabla 40. Comparación del desempeño de la red vial.....	125
Figura 40. Variación de la velocidad de operación en la red vial	126
Figura 42. Variación de las demoras en la red vial	126
Figura 43. Variación de los viajes completados en la red vial	127

1 Resumen

Los últimos años el crecimiento de los estudiantes de pregrado ha llevado a las universidades a las renovación o disposición de nueva infraestructura con el fin de atender de manera satisfactoria toda la comunidad que reciben. De esta manera, la directiva de la Universidad Santo Tomás, en ánimo de seguir esta línea de crecimiento empezó en el año 2012 la construcción de un nuevo bloque de aulas de clase y laboratorios académicos en el llamado edificio Santo Domingo de Guzmán. Este aumento en la oferta generó que la demanda de tránsito aumentara en el área, particularmente en la Avenida Universitaria de la ciudad de Tunja. La mayor demanda de viajes generó que la vía de acceso se convirtiera en foco de mayor congestión, demoras e inseguridad para los peatones que deben enfrentarse a conflictos con los vehículos en las maniobras a riesgo que realizan para el acceso a la institución educativa.

Teniendo en cuenta lo anterior, este proyecto pretende investigar desde la perspectiva de tránsito sostenible y seguridad vial, cuáles son las propuestas que garanticen la seguridad de los actores más vulnerables del tránsito al realizar las constantes maniobras de ingreso y salida de la institución, de igual manera, se buscará identificar los factores que inciden en la disminución de los indicadores de vehicular en la malla vial adyacente a la Universidad y generar propuestas de mejoramiento de la operación del sector sin que estas afecten en gran medida el componente social de la ciudad..

2 Abstract

The rapid growth of undergraduate student enrollment in recent years has compelled universities to renovate or establish new infrastructure in order to adequately serve their expanding communities. Following this trend, the administration of Santo Tomás University embarked on a construction project in 2012 to build a new block of classrooms and academic laboratories within the Santo Domingo de Guzmán building. This increase in educational facilities led to a surge in transit demand, particularly along Avenida Universitaria in the city of Tunja. The heightened travel demand subsequently transformed the access road into a hub of congestion, delays, and insecurity for pedestrians contending with vehicular conflicts during risky maneuvers to reach the educational institution.

Against this backdrop, this research project aims to investigate, from the perspective of sustainable traffic and road safety, the proposals that guarantee the safety of the most vulnerable traffic participants when performing constant ingress and egress maneuvers at the university. Additionally, it seeks to identify the factors influencing the reduction of traffic indicators within the road network adjacent to the university and generate improvement proposals to enhance the sector's operational efficiency while minimizing adverse social impacts on the city.

3 Introducción

A medida que la economía Colombiana y en particular la de Tunja crece se ha observado un aumento -significativo en el parque automotor cada año. Este aumento se evidencia en las vías, donde se registran altos volúmenes de vehículos durante las horas pico, lo que se convierte en un problema y afecta los patrones de movilidad en la zona. Además, se está produciendo un rápido crecimiento de la construcción de nuevos proyectos como la ampliación Universidad Santo Tomas, lo que influye en el aumento del flujos motorizados y no motorizados.

El aumento en el tránsito motorizado y no motorizado genera situaciones de riesgo en los entornos de los complejos universitarios, esto aunado al comportamiento imprudente de los estudiantes, puede generar condiciones de inseguridad vial que se deben abordar desde los aspectos de la ingeniería de tránsito.

Considerando este contexto, en el esfuerzo por transformar el sector universitario de la ciudad se hace necesario el estudio de los factores contribuyentes a las problemáticas de congestión, diseño y seguridad vial. De esta manera, se analizaron las condiciones operativas actuales de la Avenida Universitaria desde la Calle 41 hasta la Calle 49, con el fin de determinar parámetros de movilidad tales como como; demoras, tiempos de viaje, niveles de servicio de modos motorizados y no motorizados, y de esta manera plantear propuestas que ayuden a mejorar los indicadores de seguridad vial para los peatones, vehículos, bicicletas y la operación del tránsito.

Se hace uso de metodologías propuestas por entidades de orden nacional y territorial como la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM) y el Ministerio de Transporte, y manuales internacionales como el Highway Capacity Manual HCM para el cálculo de capacidad y niveles

de servicio de modos motorizados y no motorizados. De esta manera se plantean las propuestas de mejoramiento para los escenarios futuros, los cuales, a través de los procesos de modelación, permitan validar o corregir los planteamientos.

Finalmente, se seleccionará una alternativa que reúna los diseños de señalización correspondientes que regulen, organicen, y controlen el tránsito en el sector en conjunto con las propuestas de infraestructura y cambios en la operación vial.

4 Problema de investigación

4.1 Descripción de la problemática

El entorno universitario de la ciudad de Tunja se enfrenta a una problemática creciente en relación con el tránsito y la movilidad. El constante aumento de la población estudiantil y del personal académico en las universidades ha generado un incremento significativo en la demanda de transporte, lo que ha llevado a un crecimiento considerable del tráfico en la zona.

Este crecimiento del tránsito ha dado lugar a una serie de problemas y desafíos que afectan tanto a los usuarios de la vía como a la comunidad universitaria en general. Uno de los principales problemas es la congestión vehicular, especialmente en las horas pico, que provoca retrasos en los desplazamientos y aumenta los tiempos de viaje de estudiantes, profesores y personal administrativo.

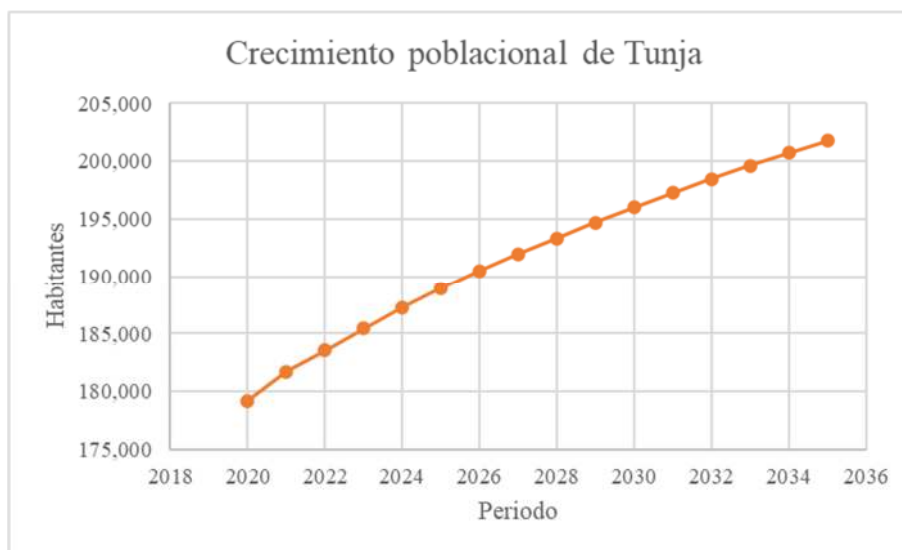
Además, la seguridad vial se ha convertido en una preocupación significativa en los entornos universitarios de Tunja. El aumento del tráfico ha generado un mayor riesgo de accidentes y conflictos entre peatones, ciclistas y vehículos, debido a la falta de infraestructura adecuada para garantizar la seguridad de todos los actores viales. La presencia de cruces peligrosos, aceras insuficientes y falta de señalización adecuada agrava esta problemática, poniendo en peligro la integridad física de los usuarios.

La mala infraestructura vial también contribuye a la complejidad del problema. Las vías existentes no han sido diseñadas para afrontar el incremento en el volumen de tráfico, lo que resulta en cuellos de botella, intersecciones congestionadas y una falta de fluidez en el movimiento de los vehículos. La falta de planificación y desarrollo de una infraestructura vial

adecuada ha generado una brecha entre la demanda de transporte y las capacidades de la red vial existente.

El Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), estima que para el 2032 la población de la ciudad de Tunja crezca un 10,7%, pasando de los 179.205 habitantes en el año 2022 a 198.472 habitantes para el año 2032.

Figura 1. Proyección del crecimiento de la Población de la Ciudad de Tunja



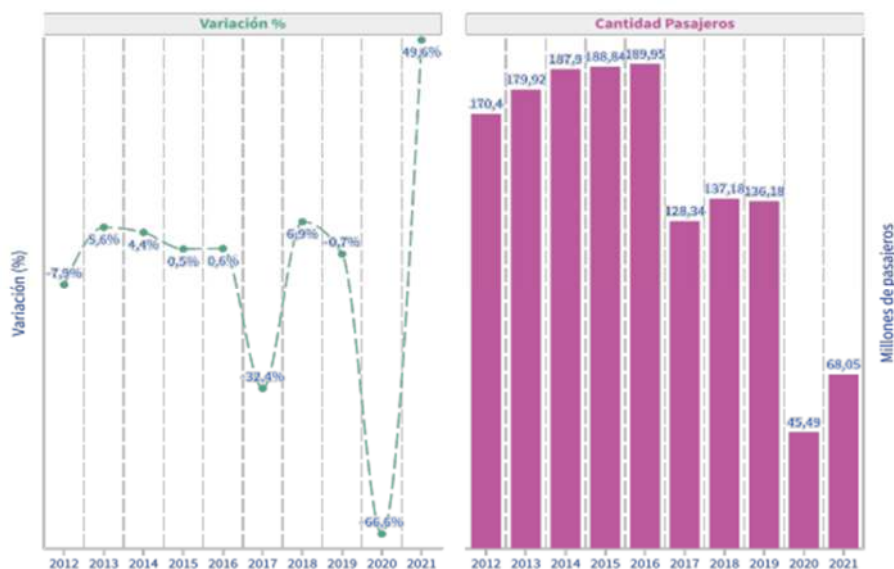
Fuente: Estadísticas de del DANE publicadas en la página WEB

Otra variable a considerar en la problemática es el índice de motorización, el cual estimó la Universidad de los Andes para los siguientes 20 Años y fue publicado por Acevedo, Bocarejo y Lleras (2009), quienes para el cálculo del índice de motorización se basan esencialmente en la variación de Producto Interno Bruto Per Cápita, la caída de los precios relativos del valor del automóvil, la distribución del ingreso y la variación de la distribución en la edad (incremento de la población mayor de 16 años). Con base en esta información se obtuvo que la tasa de crecimiento para los autos es del 5.26% mientras que la de motocicletas es del 7.08%.

Otro factor que se debe considerar en esta problemática es el crecimiento de transporte de pasajeros por vía terrestre, siendo en la actualidad un servicio público prestado por particulares, derivando al Estado funciones de control y vigilancia, el cual se encarga de establecer parámetros para su regulación y construcción de un proceso normativo que le permita alcanzar las necesidades de desplazamiento del País.

En este sentido el Ministerio de Transporte, mediante la oficina de Planeación, efectuó un informe de Diagnóstico del Transporte, donde se evaluó el número de pasajeros movilizados entre los años de 2012 y 2021. Según (Ministerio de Transporte, 2021) para el año 2020 se presentó una disminución del 67 % de los pasajeros movilizados, lo que representó aproximadamente 90.7 millones de pasajeros menos que lo reportado en el 2019. Para el año 2021, se presentó una recuperación en el número de pasajeros movilizados, con una variación del 50 % respecto al año 2020. En este sentido, la tasa de pasajeros movilizados para los años 2012 a 2021 es del 1,3% anual.

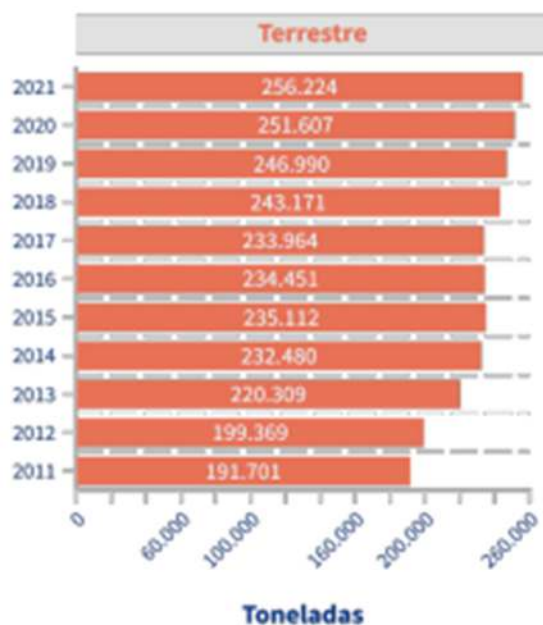
Figura 2. Pasajeros movilizados por medio terrestre entre 2012 y 2021 en Colombia.



Fuente: (Ministerio de Transporte, 2021).

Es importante tener en cuenta el transporte de carga por carretera como un indicador clave para evaluar el desempeño del sector transporte, ya que su impacto en el crecimiento y desarrollo de la economía nacional es significativo y determina en gran medida los niveles de crecimiento y aceptación en los mercados internacionales; puesto que de acuerdo con las estadísticas del sector transporte Colombiano, la carga que se moviliza por vía terrestre en el País es aproximadamente el 85% del total, situación relevante si se considera que para su movilización se cuenta con una red vial insuficiente, limitaciones logísticas y circunstancias de orden público adversas.

Figura 3. Movimiento de carga nacional por modo de transporte.

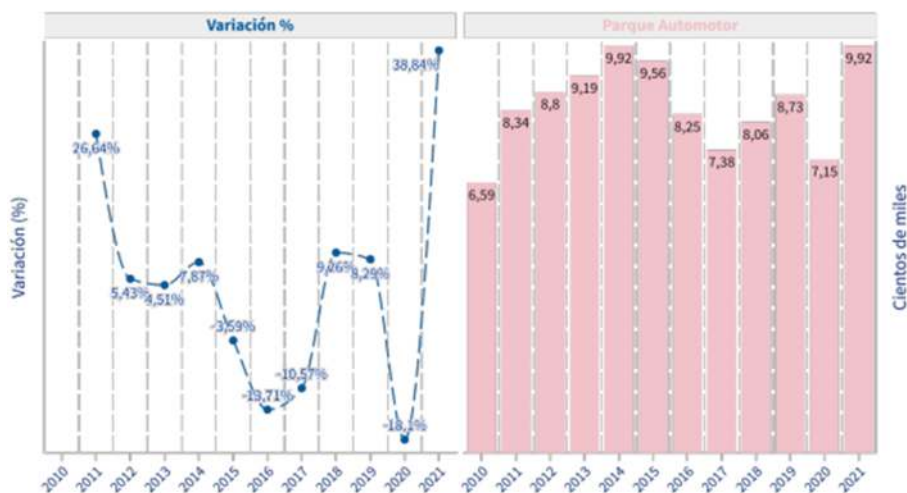


Fuente: (Ministerio de Transporte, 2021).

Según el (Ministerio de Transporte, 2021) En Colombia se movilizaron un total de 299,840 toneladas en el año 2021, lo que implicó un aumento del 3 % con respecto al 2020, en donde se había movilizadado 297 millones de toneladas generando así una tasa de crecimiento anual del 3,0%

De acuerdo con el informe de Diagnóstico del Sector Transporte, reseñado anteriormente, Para el año 2021, el total del parque automotor registrado en el Runt reporta la matrícula de 992.471 vehículos activos, lo cual representa un aumento del 38.8 % respecto al año 2020.

Figura 3. Parque automotor de vehículos – Total Nacional.



Fuente: (Ministerio de Transporte, 2021).

Según (Ministerio de Transporte , 2018) 9 de cada 10 unidades del parque automotor corresponden a vehículos particulares (948.600 unidades). Siendo el año 2021 el que mayor cantidad de vehículos se registraron en el país 992.471, con una participación de 72 % motocicletas. En cifras absolutas, el parque automotor presenta una tasa de crecimiento anual del 5,5%.

4.1.1 Preguntas de investigación

¿Cuál es el impacto en el tránsito vehicular y peatonal sobre la Avenida Universitaria de la ciudad de Tunja generado por la nueva demanda de viajes del edificio Santo Domingo de Guzmán de la Universidad Santo Tomás?

4.2 Justificación

La presente investigación busca aportar los conocimientos de ingeniería de tránsito para brindar las soluciones a los conflictos negativos de movilidad que generó la construcción del edificio Santo Domingo Guzmán en el área de influencia compuesta por la Avenida Universitaria entre la Avenida Olímpica y Calle 49 de la ciudad de Tunja. Según el anexo A del decreto municipal 0269 de octubre de 2014, que reglamenta las investigaciones previas a la construcción de proyectos de tránsito en el Municipio de Tunja, las construcciones del tipo institucional no están obligados a presentar Estudios de Tránsito o de atención y demanda de usuarios (Decreto Municipal 0268, 2014).

A fin de mejorar la experiencia de conductores, peatones y ciclistas en el sector, se busca solucionar problemas como los conflictos entre peatones y vehículos, retrasos en los viajes, largas colas, falta de cupos de estacionamiento y las dificultades en el acceso y salida de la institución para personas con movilidad reducida. Estas medidas deben estar en línea con la demanda de viajes del sector y el concepto de movilidad sostenible, considerando el tránsito urbano desde una perspectiva social, económica y ambiental.

La evaluación del impacto en el tráfico generado por la construcción de la edificación es de gran interés y relevancia para la ciudad, ya que la vía afectada es un corredor arterial de la ciudad. En este sentido, la investigación tiene como objetivo ofrecer soluciones adecuadas a la problemática, mediante la implementación de planes de gestión y control del tráfico a través de dispositivos de control de tránsito, diseño de señalización, intervención física y calibración y programación de tiempos en las redes semaforizadas. Así pues, el desarrollo e implementación de las propuestas resultantes de la investigación, están enmarcadas dentro de lo económicamente

viable, promoviendo medios de transporte menos conflictivos y accesibles que promuevan la salud y logren disminuir contaminación auditiva y ambiental.

4.3 Objetivos

4.3.1 *Objetivo general*

Evaluar el impacto de la demanda generada por la Universidad Santo Tomás de Tunja en las condiciones operacionales del tránsito actual y las propuestas de mejoramiento operacional del tránsito futuro de la Avenida Universitaria.

4.3.2 *Objetivos Específicos*

- Analizar las condiciones del flujo vehicular, congestión, tiempos de viaje y niveles de servicio del tránsito actual de la Avenida Universitaria dentro del área de influencia directa e indirecta de la Universidad Santo Tomás.
- Formular propuestas que mejoren los niveles de servicio de la red vial involucrada, seguridad vial en la movilidad de los usuarios y favorezca la accesibilidad a los diferentes medios de transporte público.
- Evaluar las propuestas de mejoramiento operacional del tránsito futuro a 5 y 10 años de la Avenida Universitaria por medio de las microsimulaciones de tránsito en TransModeler 6.0.

5 Revisión Bibliográfica

5.1 Estado del arte

La investigación en ingeniería de tránsito se centra en analizar variables macroscópicas, como volumen vehicular, velocidad y densidad, para establecer modelos matemáticos que pronostiquen su comportamiento. Estos modelos permiten evaluar la capacidad y niveles de servicio de las vías. Sin embargo, estos estudios tienden a descuidar aspectos económicos, sociales y ambientales clave para abordar la sostenibilidad urbana (Quintero, 2017).

La sostenibilidad urbana y los límites del crecimiento en las ciudades están estrechamente relacionados. El concepto de sostenibilidad se introdujo en los años setenta, originalmente definido como un desarrollo autosostenible dentro de una economía convencional. En los años noventa, debido al creciente deterioro ambiental, se ha vuelto a destacar la noción de límites del crecimiento y se ha planteado la posibilidad de lograr un crecimiento sostenible, un entorno menos contaminado y una distribución de ingresos más equitativa. (Lizárraga, 2006).

Con la inclusión de nuevos factores sociales, ambientales y económicos en los estudios de movilidad, se proponen nuevos enfoques correspondientes a la movilidad urbana sostenible. Desde el estudio de la accesibilidad, se debe considerar las facilidades al acceso a medios de transporte público y medios de transporte deseados (acceso a estacionamientos y parqueaderos).

“(…) A la accesibilidad le es inherente el tema de factores geométricos y de infraestructura, los cuales deben ser estudiados en detalle, más allá de la simple determinación de variables de tránsito, pues desestimarlos conlleva problemas importantes para el desarrollo adecuado de tráfico” (Quintero, 2017, p 65).

Estudios como los de Quintero (2017) pretenden generar espacios peatonales que suplan las necesidades de usuarios más vulnerables, evitando en mayor medida los conflictos peatón-vehículo y garantizando su seguridad. Por lo general van acompañados de estudios sociales que consideren al individuo o población directamente afectadas por la implementación de cualquier proyecto de infraestructura con el fin de garantizar la equidad para todos los usuarios. De igual manera en cuanto a el aspecto ambiental: “se deben proponer medidas de para el mejoramiento ambiental y paisajístico del entorno de los proyectos de infraestructura”. (Quintero 2017, p. 67).

Del estudio de dichos factores se puede obtener la verdadera movilidad urbana sostenible, La promoción de la movilidad urbana sostenible no solo se trata de abordar los desafíos de las grandes ciudades, sino que también implica cuestionar la sostenibilidad del modelo de producción de los países industrializados. Se destaca la importancia de considerar diversas ramas de la actividad económica que están contribuyendo a la creciente insostenibilidad a nivel global. (Mollinedo. 2006). Para muestra de esto, en muchas ciudades del mundo se está promoviendo el uso de la bicicleta como una alternativa de transporte. Esta elección de movilidad genera dinámicas de transporte público en las cuales las bicicletas se alquilan para que los usuarios las utilicen como medio de transporte individual en viajes cortos o como complemento al transporte público masivo. Además, fomenta la movilidad sostenible al reducir la dependencia de los vehículos motorizados y ofrecer una opción más económica y amigable con el medio ambiente. (Quintero 2017).

En el caso de Buenos Aires, Argentina; ya se han construido más de 100 km. De ciclovías, además, se han instalado 21 puestos estratégicos donde se ofrecen bicicletas para su alquiler gratuito. (Otero, 2014). Esta iniciativa muestra el compromiso de la ciudad con la promoción de la movilidad en bicicleta como una alternativa de transporte sostenible. Al

proporcionar una infraestructura adecuada y un servicio de alquiler gratuito, se facilita el acceso a las bicicletas y se fomenta su uso como medio de transporte en la ciudad. Esta inversión en infraestructura ciclista contribuye a mejorar la calidad del aire, reducir la congestión vial y promover estilos de vida más saludables. Desde inicios de siglo se considera que el uso de la bicicleta debe crecer, pues cada vez más gente dejará de usar otros modos de transporte que contaminan el ambiente, posibilitando una ciudad más sostenible (Thomson & Bull, 2002)

Así pues, con el mejoramiento de accesos al transporte público e infraestructura que garantice la seguridad a los transeúntes, se podría incluir la promoción de medios de transporte menos conflictivos en pro de una movilidad urbana en crecimiento, como es el caso de la bicicleta. Esta ha sido eficiente en otros países del mundo y presentan beneficios importantes en aspectos de movilidad urbana, la promoción del uso de bicicletas como medio de transporte en otros países y los beneficios significativos que esto conlleva en términos de movilidad urbana. Se menciona que los beneficios individuales y sociales derivados de que una persona opte por no utilizar un automóvil justifican la inversión en infraestructura para bicicletas, la cual se considera mínima en comparación con otras formas de transporte. (Otero, 2014). Esto implica que los beneficios en términos de mejora del tráfico, reducción de la contaminación y promoción de estilos de vida saludables superan con creces los costos asociados a la construcción y mantenimiento de infraestructuras ciclistas. Además, disminuye el consumo de combustibles fósiles, descongestiona las vías y es de fácil acceso a la mayoría de la población (Vasconcellos, 2019)

La movilidad urbana debe ser el producto de procesos de planificación donde se involucren todos los actores y se estudia la forma como cada uno de ellos la afecta. En el caso de la movilidad urbana cerca de las entidades universitarias se debe controlar principalmente

los movimientos de peatones que piensan ingresar a su institución para convertirse en sus usuarios. De acuerdo con (Hanissa, Paramita, Megayanti, & Koerniawan, 2019), dicha planificación referida a los espacios de intermodalidad debe integrar las condiciones para que se produzca una circulación eficiente los peatones al cambiar de modo de circulación.

(Guerrero, Jolly, Parada, Romero, & Serrano, 2016) explican como la movilidad urbana en estos espacios de intermodalidad deben estar enfocados hacia el respeto del derecho de la ciudadanía para desplazarse. Por tal motivo, se deben suscitar formas eficientes de gestionar los espacios de transición, formulando políticas públicas que integren elementos planificadores encaminados a la articulación de las condiciones de movilidad propias del entorno cercano a las instituciones educativas con las condiciones que caracterizan a cada una de ellas.

La articulación eficiente de las formas de movilidad antes de ingresar a los espacios públicos propios de la universidad, hace necesario indagar sobre la realidad en el ámbito urbano de cada sector de la capital boyacense, puesto que, hablando en términos de movilidad, no hay claridad sobre las medidas que se formulan dentro de los planes de desarrollo que contemplan planes estratégicos para mejorar el uso de estos espacios públicos. Por todo lo anterior (Muñoz, 2018), destaca los criterios sustentables y las acciones direccionadas hacia lograr áreas suficientes y efectivas por cada habitante, como una forma de mejorar la movilidad dentro de espacio público, tanto cerca de las rutas y vías usadas por motorizados, como en todos los sitios que sirven de conectores para el ingreso de los estudiantes. Todo esto, considerando la accesibilidad como una posibilidad de conexión entre el sistema de espacio público el espacio privado perteneciente a las instituciones.

5.2 Antecedentes

El aumento de vehículos en las calles se puede medir por el acceso a más personas al automóvil, por la necesidad que se ha generado en familias de estratos medios, la competitivas en los precios, las facilidades bancarias y una gama de autos que se caracterizan por su economía.

Thomson y Bull (2002), analizaron el aumento de la demanda de transporte y del tránsito vial y sus causas, particularmente en las intermedias, con mucha congestión, demoras, probabilidades altas de accidentalidad y problemas ambientales.

En la investigación vial de Villalón (2017) se presenta una propuesta para la detección de señales de tráfico cercanas a intersecciones y rotondas, en función de la distancia, esto con el fin de implementar sistemas de asistencia al conductor aplicables al mundo real, un documento que sirvió de guía para el análisis de las intersecciones cercanas a la universidad.

En la *Guía de diseño de entornos escolares* García, Pez, Leal y Urda, (2017), habla de los entornos estudiantiles, como definen y repercuten en la salud y el bienestar de la comunidad educativa, los cuales al condicionarse con diferentes usos se pueden transformar las relaciones sociales. Viendo la necesidad de adecuar los entornos con el fin de convertirlos en lugares de convivencia, coeducativos, donde se promueva la salud física y mental y el respeto por el entorno. Por esta razón el Ayuntamiento de Madrid, a través del plan de Madrid de Los ciudadanos, puso a andar el “*proyecto de cuidados de entornos escolares*” iniciando la experiencia piloto en tres instituciones educativas públicas de la ciudad de Madrid.

Se tuvieron en cuenta, el empoderamiento de la comunidad educativa, como elemento principal del proceso y el componente participativo, lo cual llevó a la creación de una nueva configuración de los entornos escolares.

Otro ejemplo, es el ensayo de Silva (2018), en el desarrollo de los proyectos de entornos estudiantiles, para el conocimiento de actitudes y hábitos saludables desde educación, presenta como una iniciativa que intenta educar a la sociedad en los desplazamientos activos sostenibles. Mediante esta investigación, él encontró que el protagonista del entorno escolar es el alumno, donde éste aprende a desplazarse con seguridad y por sus propios medios, lo cual en las aulas de clase le permite desarrollar reflexiones acerca de la movilidad y la mejora ambiental. El proyecto incluye, algunas medidas de seguridad para los proyectos de caminata hacia el colegio, desde la educación, la señalización y elementos en contexto con la movilidad y que el entorno escolar debe ser un espacio seguro y saludable, ya sea para caminar o ir en bicicleta.

Alonso, Esteban, Calatayud y Alamar (2009), hablan de la importancia de que las calles sean habitables, dado como un espacio con valor donde los estudiantes conviven con otros medios de transporte. El proyecto resalta la importancia de la necesidad de infraestructuras y espacios que contribuyan a un medio ambiente urbano más sostenible con accesibilidad a las calles para todos y el control del uso responsable teniendo en cuenta que el desplazamiento a pie permite un mejor desarrollo del equilibrio físico. Se realizaron encuestas que permitieron determinar la percepción del espacio público, conocer la opinión de los estudiantes sobre lo que sentían al dirigirse a sus centros de formación y cómo percibían la entrada y la salida del mismo. Finalmente se crearon rutas seguras, con diversas características, como la intervención y participación de los centros educativos, la comunidad y los padres de familia, en estas rutas se

instruye a todos para el uso adecuado de los diferentes sistemas que hacen parte del espacio público y fomentar la conciencia vial.

Mayorga y Pia (2017) afirman que “los centros escolares son espacios centrales de la vida de barrio, en cuyos entornos, es importante impulsar acciones e intervenciones que fomenten una mayor integración y articulación con la calle y con la ciudad” (p. 5). Es decir, los alrededores de los centros educativos, deben ser lugares amables y ser propiciadores de encuentros, donde las relaciones sociales en el barrio se generen entorno a una buena convivencia. Por esta razón, el Ayuntamiento de Barcelona ha creado el programa de Llenamos de vida los entornos escolares, el cual contempla la realización de intervenciones físicas en el espacio público y acciones en el entorno escolar.

Estas intervenciones, se realizaron en 4 centros escolares inicialmente con el fin de mejorar la calidad ambiental de los entornos Mayorga y Pia (2017) señalan “Hoy los entornos de las escuelas necesitan ser redefinidos como espacios públicos; como lugares habitables; como espacios comunitarios; como territorio de extensión de la escuela; como espacio para el juego, para el verde, la historia y la vida local de los barrios” (p.6).

El proyecto se desarrolló en dos fases, la primera donde se realizó el diagnóstico y se aplicaron los criterios técnicos, por medio del análisis de los entornos escolares, y así ver desde varios puntos de vista cómo se podría mejorar este espacio. También se tuvo en cuenta el Plan de acción del ámbito, que es el documento que tiene consignado cómo deben ser las actuaciones que ha propuesto el distrito y las propuestas que nacieron en proceso participativo.

En la segunda fase, se definieron los proyectos, donde realizar la intervención y que actuación se determinó para cada área, como, por ejemplo, ensanchar las calles para los

peatones, mejoramiento del mobiliario urbano o de los espacios de movilidad. Finalmente se dio paso a la ejecución de acuerdo con un cronograma de actividades.

El urbanismo táctico se ha posicionado como una de las herramientas de diseño urbano, económico y participativo, importante y eficaz para la comunidad. De esta manera Sotomayor (2018) se expresa acerca de la actividad de urbanismo táctico realizada por los organismos Masapin, el Instituto Municipal de Planeación Urbana de Culiacán (IMPLAN) y el Colectivo Kybernus Sinaloa, para la implementación de pasos seguros en entornos escolares. Se realizó una intervención en la calle Manuel J. Othón, la cual está ubicada entre el Jardín de Niños Dr. Baltazar Izaguirre Rojo y la Primaria General Ignacio Zaragoza. Este fue un ejercicio que buscaba la seguridad de los más de 350 estudiantes en su entorno escolar y alrededor de 1050 personas del sector, debido a que en esta calle el tráfico que circula es pesado. Su principal estrategia de intervención fue el urbanismo táctico y tuvieron en cuenta dentro de los objetivos, impulsar la movilidad sustentable, inclusiva y con seguridad para todos, además la participación ciudadana para que sea una ciudad justa.

Cano y Melchor, (2019) nos presentan la ponencia, *“regreso a clases, del caos al orden”*. Este texto, nos habla de lo que pasa en el entorno escolar mexicano, cómo se mueven los estudiantes hacia su institución educativa, qué riesgos corren y cómo podrían controlarse, además de los insumos necesarios para darle una adecuada solución. También encontramos dos clases de programas de seguridad vial para entornos escolares, el diagnóstico de la situación actual de los entornos educativos, mapeo, encuestas de movilidad escolar, los principales factores de riesgo y algunas estrategias para realizar una intervención dentro de un proceso de comunicación, control y regulación.

Alba (2017) presenta el proyecto “*Colegio Buenos Aires, un lugar de educación y encuentro ciudadano*”, ubicado en Soacha en el barrio Ciudadela Sucre. Se destacan varias problemáticas existentes en el entorno, como el estado deteriorado de las vías, servicios públicos deficientes, falta de equipamientos y espacio público insuficiente, así como una pendiente topográfica pronunciada resultado de una mala planificación. El proyecto se centra en abordar estas problemáticas a través del mejoramiento de la red de equipamientos educativos y la creación de un centro educativo que también proporcione espacio público. El objetivo principal es mejorar la calidad de la educación en el área y, al mismo tiempo, contribuir a resolver algunas de las deficiencias y desafíos del entorno urbano mencionados anteriormente.

El desarrollo del proyecto se fundamentó en la metodología del programa de arquitectura de la Universidad Católica de Colombia, que se centra en el aprendizaje a través de la resolución de problemas relacionados con la realidad social y cultural de un lugar específico. Esta metodología busca abordar las necesidades y desafíos existentes en dicho entorno, aprovechando su contexto social y cultural como fuente de inspiración y aprendizaje. Al adoptar esta metodología, el proyecto se orientó hacia la comprensión profunda de las características y demandas del lugar, con el fin de generar soluciones arquitectónicas y urbanísticas pertinentes y contextualmente adecuadas. Se prestó especial atención al equipamiento escolar existente y al impacto que la estructura de la escuela tenía en el desarrollo de la comunidad en general. El propósito final era mejorar la calidad de vida y las oportunidades disponibles en el área, proporcionando un espacio que fomentara los encuentros y contribuyera a mejorar la calidad de vida de los habitantes. Mediante este enfoque, se buscaba fortalecer la comunidad y promover un entorno propicio para el desarrollo y el bienestar de sus residentes.

Este proyecto maneja los conceptos de Inclusión social, contacto natural encuentro ciudadano, arquitectura bioclimática, imagen urbana y balcón urbano, para integrar a toda la comunidad, garantizar el buen trato, la igualdad de los habitantes y la apropiación del lugar, en medio de un entorno que propicie la relación con la naturaleza. Los resultados obtenidos a partir del análisis realizado de la mano de los estudiantes, determinaron la creación de estrategias generales, para actuar eficazmente frente a las problemáticas actuales y de esta manera el fortalecimiento del tejido social del sector desde su entorno escolar.

5.3 Marco Conceptual

Con el fin de desarrollar esta investigación se dará una definición clara desde el punto de vista de algunos autores a los siguientes conceptos.

5.3.1 Estudios de tránsito

El estudio de los aspectos operativos de la Ingeniería de Tránsito requiere un análisis integral de los elementos que participan y generan los flujos de tráfico. En este sentido, tres actores fundamentales se consideran en el estudio del tránsito: el usuario, que incluye tanto a los peatones como a los conductores; el vehículo, que puede ser de naturaleza privada, pública o comercial; y por último, la vía, que representa el espacio físico donde ocurre la circulación vehicular. Estos tres elementos interactúan de manera conjunta y su comprensión es esencial para el análisis y la gestión eficiente del tráfico en una determinada área.

El usuario, que abarca tanto a los conductores como a los peatones, desempeña un papel crucial en la dinámica del tránsito. En la mayoría de los casos, las vías son compartidas por vehículos y peatones, lo que implica que los problemas de circulación pueden ser ocasionados tanto por los conductores como por los peatones. Los accidentes que involucran a los peatones

a menudo se deben a la falta de respeto de las zonas designadas para ellos, ya sea por falta de conocimiento o por otros motivos. Por lo tanto, es importante considerar al peatón no solo como una víctima de los problemas de tránsito, sino también como una de las causas. Esto resalta la necesidad de educar a los peatones sobre las normas de seguridad vial y fomentar el respeto mutuo entre los diferentes usuarios de las vías.

El conductor desempeña un papel crucial en el tránsito, ya que su capacidad de adaptarse a las condiciones de la vía tiene un impacto significativo en la calidad de la circulación. Esta adaptación está influenciada por diversos factores, tanto físicos como psicológicos, como la fatiga, el estado de ánimo y los conocimientos previos del conductor. Además, las condiciones externas, como el clima, también influyen en su comportamiento en la vía.

En Colombia, se ha observado un aumento en el número de vehículos en circulación. Este incremento puede indicar el progreso de un territorio, ya que la relación entre habitantes y vehículos es un indicador relevante. Sin embargo, también plantea desafíos en términos de congestión vial y seguridad, lo que destaca la importancia de promover una conducción responsable, la educación vial y la implementación de medidas para mejorar la infraestructura y la gestión del tránsito.

5.3.2 *Elementos ambientales*

Según Soria y Valenzuela, (2015) en su artículo evaluación ambiental proactiva de la movilidad urbana En los últimos tiempos, el enfoque ambiental ha adquirido una gran importancia en el desarrollo vial. Esto se debe a la creciente conciencia sobre los impactos ambientales negativos de la movilidad y la necesidad de adoptar medidas que minimicen dichos

impactos. Como resultado, se han desarrollado nuevos enfoques que se centran en la obtención de datos precisos para respaldar la toma de decisiones relacionadas con la movilidad.

Estos nuevos enfoques buscan evaluar y monitorear los impactos ambientales de los proyectos viales, considerando aspectos como la calidad del aire, la emisión de gases de efecto invernadero y el consumo de recursos naturales. Se busca implementar medidas de mitigación y promover soluciones sostenibles que fomenten la movilidad urbana y reduzcan la dependencia de los combustibles fósiles.

La consideración del enfoque ambiental en el desarrollo vial implica la colaboración entre diversos actores, como autoridades de transporte, urbanistas, expertos en medio ambiente y la comunidad en general.

Para enmarcar el estudio del impacto del tránsito en el proyecto de investigación es necesario entender tanto el concepto técnico como científico de la Ingeniería de Tránsito y Transporte. El tránsito se refiere al acto de moverse de un lugar a otro, mientras que el tráfico se refiere específicamente a la circulación de personas y vehículos en las vías públicas, como calles, carreteras y caminos (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996)

De esta manera la Ingeniería de Transporte reúne todos los criterios para la administración de cualquier modo de transporte que ha pasado por la etapa de planeación y diseño de la Ingeniería de Tránsito, la cual, por medio de la aplicación de los principios científicos, realiza el trazado y operación en las vías en las ciudades. (Cal, Mayor, & James Cárdenas, 1996)

Los sistemas y modos de transporte masivo, están regidos por los atributos que garanticen la prestación de un buen servicio. La ubicación, la movilidad y la eficiencia. La

ubicación hace referencia al grado o nivel de accesibilidad al sistema de transporte masivo, la disposición de rutas directas entre los puntos extremos de las ciudades y la viabilidad para acomodar e interconectar los diferentes tipos de tránsito variado. La movilidad por su parte, es la cantidad de pasajeros que se pueden ingresar en el sistema (capacidad) y la rapidez con la que éste puede transportar. (Cal, Mayor, & James Cárdenas, 1996)

5.3.3 *Espacio público*

Este concepto es visto por Serrano (2018) de la siguiente forma:

el espacio público es el lugar de la colectividad donde ocurre el contacto social y democrático entre personas de todos los estratos de la sociedad”, y cita a Castro (2003), donde dice que “es por excelencia el elemento que estructura la ciudad y articula los espacios privados [...] lugar de encuentro de los ciudadanos y factor determinante en la calidad de vida. (p. 77).

Entonces, la forma del espacio público se relaciona directamente con el papel que los ciudadanos pueden jugar en la ciudad. Gehl Jan (2013), el diseño del espacio público y sus elementos tienen un impacto significativo en la democratización del territorio. Al promover un entorno favorable para el tránsito peatonal y la presencia de personas en las calles, se fomenta la inclusión y la participación ciudadana. Para lograr esto, es importante crear espacios que sean atractivos y acogedores, que inviten a las personas a permanecer y disfrutar del entorno urbano. Esto implica considerar elementos como mobiliario urbano, áreas verdes, iluminación adecuada, accesibilidad universal y una planificación que priorice las necesidades de los peatones.

Borja y Muxi (2003), anuncian: “El espacio público también tiene una dimensión sociocultural. Es un lugar de relación y de identificación, de contacto entre las personas, de

animación urbana, y a veces de expresión comunitaria” (p.34). y plantea sobre el valor del espacio público lo siguiente: “El espacio público define la calidad de la ciudad, porque indica la calidad de vida de la gente y la calidad de la ciudadanía de sus habitantes” Borja J (2003, p. 16). En el espacio público, las personas se integran y esto permite que se produzcan intercambios comerciales, sociales, culturales, dentro de comportamientos de tolerancia y solidaridad. Es decir, el espacio público, debe ser un lugar atractivo para que la gente se apropie y esté conectado diariamente, de esta manera se evita el olvido de algunos lugares, que con el tiempo traen degradación, ya que el espacio público “ incluyendo las infraestructuras y los equipamientos, puede ser un importante mecanismo de redistribución e integración social”, (Borja J. y., 2003), permitiendo que la comunidad sea visible en la ciudad.

Según la información que emite la ONU-HABITAT (2012), “*América latina y el Caribe reúne casi un 80% de su población (468 millones de personas) en áreas urbanas*” se hace evidente la necesidad de crear más espacio público para albergar actividades colectivas que sean accesibles para todos los habitantes de la ciudad. Este incremento demográfico ha llevado a una mayor demanda de áreas comunes donde las personas puedan reunirse, interactuar y disfrutar de su entorno urbano.

5.3.4 Accesibilidad

Desde la perspectiva europea la organización española CEAPAT (1996), reconoce la accesibilidad como una característica fundamental del entorno construido. Se refiere a la capacidad de las personas de todas las habilidades y capacidades para acceder, utilizar y disfrutar de diversos espacios y servicios, como viviendas, tiendas, teatros, parques y lugares de trabajo.

Este enfoque reconoce que la accesibilidad no solo se refiere a las personas con discapacidades, sino que beneficia a toda la población, incluyendo a personas mayores, mujeres embarazadas, padres con carritos de bebé y cualquier persona que pueda tener dificultades para moverse o interactuar con el entorno.

El diseño universal busca eliminar barreras físicas y sociales, proporcionando soluciones que sean inclusivas y se adapten a las diversas necesidades de las personas. Al promover la accesibilidad, se fomenta la igualdad de oportunidades y se crea un entorno más inclusivo y equitativo para todos

5.3.5 Andén

En la Cartilla de Andenes de Bogotá, cita El Decreto Nacional 1077 de 2015 Art. 2.2.1.1.1 y el Decreto Nacional 1077 de 2015 Art. 2.2.3.4.1.1. donde se define andén como:

Andén: Franja longitudinal de la vía urbana destinada exclusivamente a la circulación de peatones, ubicada a los costados de esta” (p.13). También dice que “Los andenes forman parte del sistema de espacio público construido y constituyen el conjunto de espacios de uso público destinados al tránsito y permanencia de peatones. Son paralelos a las calzadas vehiculares, forman parte integral del perfil vial y se articulan funcionalmente con otros elementos del espacio público construido, con los elementos de la estructura ecológica principal, la red de ciclorrutas y los pasos y enlaces peatonales”, “Los andenes deben tener características indispensables como la continuidad de superficie, ancho y nivel, de manera que la circulación peatonal tenga prelación con respecto al tránsito en otros medios de transporte; la arborización y presencia de cobertura vegetal; el manejo armonizado entre franjas de superficie dura para la circulación peatonal, continuas y sin obstáculos. Franjas o elementos permeables que faciliten el drenaje urbano sostenible, el mobiliario urbano y señalización adecuados al contexto y su función específica, entre otras (p.13).

5.3.6 *Desplazamiento*

García (2021)), define el desplazamiento como:

“la trayectoria entre dos puntos. Distancia a recorrer para ir de un lugar a otro. En movilidad puede ser utilizado como sinónimo de viaje. El territorio es el soporte físico de la movilidad. Las infraestructuras viarias, los distintos servicios de transporte público colectivo, los carriles-bici y el resto de itinerarios que confluyen en el espacio público configuran unas redes de movilidad complejas que facilitan los desplazamientos cotidianos a la población” (p16).

Para Velásquez (2015), *“La movilidad y el desplazamiento generan en el espacio público nuevas formas de representación y prácticas culturales (identidad) nuevas formas de territorialidad (pertenencia) y por tanto reconocimiento (integración social)”* (p. 39).

5.3.7 *Movilidad*

Este término etimológicamente, proviene del adjetivo «móvil» y del sufijo abstracto «idad» que indica cualidad, también procede del latín «mobilitas».

En el artículo, *¿Qué entendemos por movilidad?*, (2007), *la movilidad se entiende como “el conjunto de desplazamientos, de personas y mercancías, que se producen en un entorno físico”*. Cuando hablamos de movilidad urbana nos referimos a la totalidad de desplazamientos que se realizan en la ciudad.

Dice García P (2021), que *“La movilidad es principalmente una forma de mejorar la accesibilidad. En general, las personas intentan aumentar su movilidad para mejorar la accesibilidad: “la facilidad con la que se pueden obtener las actividades económicas y sociales deseadas desde un punto específico del espacio”* (US DOT, BTS 1997^a; 136) (p.32).

Dice Velásquez C (2015), la movilidad es como:

la suma de desplazamiento que hacen los ciudadanos para acceder a los servicios necesarios para el quehacer diario. Este desplazamiento es realizado a través de diferentes medios que presentan unas condiciones de uso, que los caracterizan socialmente” (p 48), la movilidad “está condicionada por los niveles socioeconómicos de la población. Por lo tanto, la limitación de la movilidad de una ciudad puede inferir en su condición de acceso a los bienes y a los servicios urbanos, de forma tal que disminuye su calidad de vida. En este contexto, es preciso crear condiciones adecuadas para la movilidad” (p 49).

5.3.8 Movilidad urbana

En el programa de medio ambiente de la caja social de Madrid España, se elaboró la guía ‘Movilidad Urbana Sostenible: un reto energético y ambiental’, donde se destaca que “la necesidad o el deseo de los ciudadanos de moverse, siendo este un derecho social, es necesario preservar y garantizar de manera igualitaria” (Programa de Medio Ambiente de la Caja Social de Madrid, 2021, p. 7). Actualmente, se han incorporado criterios de sostenibilidad para lograr un equilibrio entre la accesibilidad y la movilidad, garantizando la seguridad de los desplazamientos, economizando tiempo y energía, y fortaleciendo la protección del medio ambiente, la cohesión social y el desarrollo económico (Programa de Medio Ambiente de la Caja Social de Madrid, 2021, p. 8)

La movilidad urbana es un *“derecho fundamental, que debe ser garantizado en igualdad de condiciones, para toda la población, sin diferencias derivadas del poder adquisitivo, condición física, psíquica o género, edad o cualquier otra causa”* (Programa de Medio Ambiente de la Caja Social de Madrid, 2021, p 10).

Actualmente en las ciudades, no se dan los escenarios para una movilidad urbana sostenible, como dice la guía de “Movilidad Urbana Sostenible”, puesto que se da una serie de

“efectos de ruido, contaminación, accidentes, que influyen negativamente en la calidad de vida de los ciudadanos, el medio ambiente y el desarrollo económico, lo que hace inviable e insostenible esta forma de movilidad” (p 18).

En la Declaración Universal de los Derechos Humanos, adoptada y proclamada por la Asamblea General en su Resolución 217 A (III), de 10 de diciembre de 1948, se establece en el Artículo 13 que ‘toda persona tiene derecho a circular libremente y a elegir su residencia en el territorio de un Estado’ (Declaración Universal de los Derechos Humanos, 1948, p. 2). De esta manera, se reconoce el derecho de toda la población, sin excepción, a que se desarrollen los mecanismos necesarios para generar un espacio público de calidad, equidad e igualdad para todos.

5.3.9 Movilidad sostenible

En la guía de “Movilidad Urbana Sostenible”, Dice la Ley 9 de 2003 de España, que la movilidad sostenible *“Es la que satisface en un tiempo y con unos costes razonables y que minimiza los efectos negativos sobre el entorno y la calidad de vida de las personas” (p20).*

Urquiza A (2017), cita a (Monzón & Rondinella, 2010), donde se define, la movilidad sostenible y dice :

promueve la movilidad segura, eficiente, equitativa, participativa, saludable y competitiva apoyándose en tres ejes: mejora la diversidad y la densidad de la utilización del suelo en la ciudad, apoya la planificación urbana con el objetivo de realizar una distribución equitativa del uso del suelo, aumenta los viajes peatonales en transporte público y bicicleta, emplea de modo primordial la utilización de medios no motorizados para desplazarse en distancias menores a 10 km, reduce velocidad, intensidad y cantidad de estacionamientos para autos, deja de promover

la construcción de mayores áreas para parqueos de autos y deja de promocionar la venta de automóviles (p 29).

Urbanismo táctico

De acuerdo con Luna y Ocampo (2019), la Guía de Urbanismo Táctico elaborada por (Low Carbon City, 2015), nos dice que este concepto nos ofrece la *“herramienta ciudadana que permite incidir en el presente y futuro de las ciudades interviniendo espacios físicos sub utilizados a través de acciones puntuales, temporales y de bajo costo”* (p. 10). Con estas acciones, es posible darle un nuevo significado al espacio público, por medio de la unión comunitaria, prevaleciendo a las personas y el caminar a pie. De esta manera se puede relacionar el urbanismo táctico del territorio, como una *“serie de prácticas urbanas micro espaciales que re direccionan el uso de los espacios de la ciudad”* (Stikells 2011, p. 10).

5.3.10 Seguridad

Un aspecto importante propuesto por Jacobs (1967), es que las personas que ponen sus *“ojos en la calle”* desde sus viviendas, contribuyen a ejercer un control en la seguridad del espacio público, siempre y cuando la calle sea interesante y fomente la diversidad de actividades en los usos de los primeros pisos, según Jacobs (1967), esto se da más en los locales y tiendas de escala barrial.

5.4 Marco teórico

5.4.1 La importancia de la ingeniería y de los estudios de tránsito

La importancia del estudio de las variables macroscópicas del tránsito, como el volumen vehicular, la velocidad y la densidad, permiten establecer relaciones matemáticas que facilitan el pronóstico de comportamientos y evaluación eficiente de la capacidad. (Quintero-González,

2017). De esta manera, se articula con diferentes ramas de la ingeniería para la planeación y organización y mantenimiento de las ciudades.

Es necesario entender tanto el concepto técnico como científico de la Ingeniería de Tránsito y Transporte. En primera medida el tránsito es la acción de transitar. Es el sitio por donde se pasa de un lugar a otro. (Cal, Mayor, & James Cárdenas, 1996). De este modo la ingeniería de tránsito se ocupa de la fase de planeación de operación de las calles y carreteras, así como del conjunto de procesos técnicos encargados de los diseños geométricos y su relación con la infraestructura urbana y otros medios de transporte. (Quintero-González, 2017). Por su lado, la ingeniería de transporte reúne todos los criterios para la administración de cualquier modo de transporte que ha pasado por la etapa de planeación y diseño de la Ingeniería de Tránsito, estos se rigen por los atributos que garanticen la prestación de un buen servicio como lo son la ubicación, movilidad y eficiencia (Cal, Mayor, & James Cárdenas, 1996).

El desarrollo de las ciudades está conceptualizado en un modelo urbano en el cual es necesaria la conexión de todos los usuarios a través de diferentes medios de transporte motorizado y no motorizado con el fin de que puedan realizar actividades cotidianas las cuales se desarrollan fuera de las viviendas (Quintero-González, 2017). De esta manera para planeación de las ciudades se hace necesario la aplicación de diferentes estudios que en conjunto con el análisis de las variables de tránsito permiten evaluar el comportamiento de los usuarios a diferentes niveles de precisión. El análisis de estas variables a través de los modelos matemáticos se ha facilitado con el paso de los años con el desarrollo de software especializados en la modelación a nivel micro, meso y macro. Estos análisis se ejecutan a través modelos de simulación los cuales hacen transitar usuarios individuales asignándoles un origen y un destino que se mantiene invariable a lo largo de la simulación generando así un tipo de viaje específico

y características únicas dependientes de cada conductor (Balakrishna, Morgan, & Slavin, 2009)..

Bogotá (Colombia) Alcaldía Mayor Secretaría de Tránsito, y Transporte & Triana. (2005). La planeación de los estudios de tránsito empieza con la definición de las metodologías para la recolección de información de relacionada con las variables del tránsito. La información obtenida a través de los estudios de volúmenes vehiculares de tránsito permite evidenciar el comportamiento de los usuarios en la ciudad o tramo vial (p. 19). Brinda variables importantes como la hora de máxima demanda (HMD), el volumen horario de máxima demanda (VHMD) y el factor de hora pico (FHP) (Quintero-González, 2017). Para el conocimiento de la velocidad se realizan los estudios de velocidades que representan un parámetro destacado en la determinación de los elementos de diseño vial y en la regulación del tránsito. Para los otros usuarios de la vía como peatones se realizan estudios para la determinación de la velocidad de marcha, nivel de servicio, cálculo de brechas mínimas y volúmenes peatonales. Del mismo modo se debe conocer los flujos de ciclistas para así determinar la capacidad, el comportamiento y desempeño de los ciclistas en las redes de ciclorrutas de la ciudad (Bogotá (Colombia) Alcaldía Mayor Secretaría de Tránsito, y Transporte & Triana, 2005).

En conjunto la planeación y ejecución de los estudios de tránsito proporciona una serie de medidas cuantitativas que brindan información sobre los niveles de servicio y la capacidad de las vías, así como de la efectividad de los diferentes sistemas de transporte urbano analizando la efectividad, movilidad y frecuencia. Además, con ayuda de los medios tecnológicos a través de softwares especializados en la modelación de tránsito han servido como herramientas para la administración del tránsito y del transporte generando mecanismos que permiten evaluar la forma en la que se presta el servicio de transporte en las ciudades (Quintero, 2017).

5.4.2 *La movilidad urbana en entornos universitarios*

Según El Tiempo. (2019). Desde 2013 hasta el 2017, las matrículas en primer curso se mantenían en tendencia de crecimiento hasta el año 2017 para la educación superior, en este año según el Sistema Nacional de Información de la Educación Superior se matricularon un 17% menos de estudiantes en relación con el año 2017, esta reducción según los diferentes estudios y análisis realizados se debieron principalmente a los altos costes de la matrícula educativa, la incertidumbre de oferta laboral y el poco interés en los programas académicos. En los años 2018 y 2019 las cifras continuaron en descenso, sin embargo, para el año 2019 esta condición se les atribuye principalmente a las condiciones de pandemia a causa de la emergencia sanitaria por el virus Sasrs CoV-2.

Sin embargo, las áreas urbanas en las cuales se encuentran las universidades son focos de aglomeraciones que ocasionan congestiones urbanas las cuales se define ampliamente como el exceso de demanda de viajes sobre su oferta. De hecho, esta es la razón por la cual los gobiernos se ven obligados a modificar sus políticas de urbana. (Alam & Ahmed, 2013). La congestión urbana impide la libre circulación del tráfico lo cual agravante otras variables como la movilidad, eficacia, accidentalidad, demoras, longitudes de cola y percepción negativa de los usuarios.

En las áreas universitarias se observa una demanda de viajes producida por la movilidad que tienen que hacer sus usuarios durante el día para cumplir con las responsabilidades académicas asumidas al cursar programas de educación superior. Estos viajes se pueden realizar en diferentes medios de transporte de los cuales el aumento del uso de taxis y vehículo particular son los principales agravantes de la problemática. (Quintero-González, 2017). El primero se gesta debido a la ineficacia de los sistemas de movilidad masiva que sumados a la poca

accesibilidad para los diferentes tipos de usuarios (en especial los de movilidad reducida) aumentan el uso de este tipo de transporte. En el caso del vehículo privado la problemática está enfocada principalmente en el aumento del poder adquisitivo y los bajos precios en tarifas de estacionamientos y compra de vehículos. Con un aumento tan rápido de la población urbana, se ha producido un aumento de la demanda de movilidad y con ello, un aumento de la propiedad de vehículos motorizados. (Alam & Ahmed, 2013).

5.4.3 Accidentalidad y su relación con los entornos universitarios

Las primeras universidades surgieron a principios del siglo XIII en Europa. Aunque fueron creadas en ese momento, tenían raíces más antiguas y reconocían antecedentes en las escuelas formadas en las catedrales para instruir al clero (Buchbinder, 2008). Desde entonces han sido focos del desarrollo de nuevos conocimientos formando estudiantes de todas las edades, con un grupo más común entre los 19 a 25 años de edad. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) los traumatismos causados por accidentes de tránsito es una de las principales muertes de personas en el mundo y la principal causa de muerte de los jóvenes comprendidos entre los 19 a 29 años de edad (OMS, 2015).

Estudios de cultura vial y educación pedagógica aplicados a 150 Universitarios que circulan de manera activa por varias de las ciudades mexicanas perfilaron que las principales causas de siniestros viales en este grupo de personas se deben a los patrones de manejo, acatamiento de las normas y señalización de tránsito, uso del cinturón de seguridad, texteo, llamadas durante la conducción, uso de casco en motocicletas y falta de pedagogía para ser mejor conductor, peatón y ciclista. (Baptista & Reyes, 2014).

Los siniestros viales constituyen una de las problemáticas de más grande magnitud, en la Unión Europea en 2012 se presentaron 28.000 muertos fatales y 1.5 millones de lesionados a causa de estos eventos. Para evaluar el impacto debe tenerse en cuenta el valor de la vida estadística y el valor monetario de la vida no mortal pues dichos siniestros corresponden entre el 40% y 50% del coste anual derivado de la siniestralidad vial. (Martínez, Sánchez, Abellán, & Pinto, 2015)

Considerando las implicaciones monetarias que generan los siniestros viales y las afectaciones sociales que produce el descenso de personas jóvenes en la sociedad, la planeación del tránsito desde su etapa de diseño geométrico se debe realizar de manera asertiva para mitigar las implicaciones que genera el crecimiento del parque automotor durante el desarrollo de las ciudades, haciendo especial énfasis en brindarle seguridad a los usuarios más vulnerables del tránsito como lo son los peatones, ciclistas y personas de movilidad reducida. Para esto la infraestructura peatonal debe dar prelación al peatón y a la accesibilidad y conexión que este tenga con los sistemas de transporte urbano.

5.4.4 Infraestructura vial no inclusiva

La planeación del tránsito y transporte como ya se ha venido explicando está ligada al desarrollo de diseños y predicciones del comportamiento de los usuarios y su relación con el entorno en proyectos de infraestructura. En las etapas preliminares se deben subsanar las necesidades del transporte y el tránsito lo cual implica una adecuada gestión del diseño de la infraestructura vial inclusiva con todos los actores de la movilidad, en especial los más vulnerables. Los primeros caminos que se desarrollaron con la invención de la rueda datan probablemente de la Mesopotamia (Asia Menor) hace unos 5000 años, luego con la aparición del automóvil con motor de gasolina y combustión interna en los años 1920 nace el deseo de

conservar y construir caminos en buen estado (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996).. Sin embargo, el pensamiento de ciudad que se tenía en ese entonces no les daba prelación a medios no motorizados.

Sin bien, en los últimos años se ha presentado el crecimiento sostenido de la bicicleta también ha estado acompañado del crecimiento de automóviles con los choques y muertes que involucran a los ciclistas (Torres, Cottrill, & Beecroft, 2020). Las principales recomendaciones se basan en las medidas de seguridad que deben tomar los ciclistas hacia los automóviles, medidas necesarias para la seguridad en la movilidad de estos actores viales (Damsere & Bawa, 2018). Entre 2009 y 2012 la expansión de las instalaciones para ciclistas en Boston EEUU., llevó a la reducción de las lesiones de ciclistas del 83% a 75%. (Pedroso, Angriman, Bellows, & Taylor, 2016)

El poco desarrollo de la infraestructura para el transporte activo en Colombia genera que las cifras de siniestralidad vial no disminuyan, por el contrario, los siniestros fatales en el año 2017 aumentaron un 12% con respecto al año anterior. En la mayor parte de la malla vial de las ciudades no hay carriles ni segregación para las bicicletas, en ciudades como Tunja, Boyacá, los ciclistas prácticamente están obligados a compartir el carril con el tráfico motorizado, los cuales en la mayoría de casos no cumplen las normativas en relación con la distancia mínima de 1.0m que deben tener los vehículos al rebasar un ciclista en zonas de baja velocidad <40km/h y de 1.5m en zona de alta velocidad >60km/h. (<i>2012_Codigo_Nacional_de_Transito</i>)

6 Materiales y Métodos

6.1 Contexto geográfico

El área de estudio se encuentra en la ciudad de Tunja, ubicada en el departamento de Boyacá, en Colombia. Específicamente, el proyecto se enfoca en la Avenida Universitaria entre las Calles 41 y 49, la cual es una vía principal en la ciudad, que desempeña un papel fundamental en la conexión de varios sectores y comunidades. Se caracteriza por ser una vía de doble sentido, con dos carriles para la circulación de vehículos, aceras para peatones en el costado oriental y diferentes intersecciones semaforizadas a lo largo de su recorrido.

El área de estudio se encuentra en una zona con una alta concentración de instituciones educativas, siendo la Universidad Santo Tomás una de las principales instituciones en la zona. Esto genera una importante demanda de tráfico, especialmente en los horarios de ingreso y salida de los estudiantes, profesores y personal administrativo.

En cuanto a la infraestructura vial, la Avenida Universitaria cuenta con señalización vial básica, semáforos en las intersecciones y cruces peatonales. Sin embargo, es importante destacar que existen desafíos en términos de seguridad vial y fluidez del tránsito, debido al aumento del volumen vehicular y a la falta de infraestructura adecuada para enfrentar esta demanda creciente.

En la siguiente Figura se observa la zona donde se realizarán los análisis:

Figura 4. Zona de estudio. Avenida universitaria entre calle 42 y calle 47



Fuente: Google maps 2023

En la movilidad de la zona, avenida universitaria entre calle 41 y calle 47, existen algunas variables que afectan la movilidad, siendo estas, la velocidad la densidad y el flujo vehicular. El flujo vehicular es la forma en que circulan los vehículos en un tipo de vialidad.

6.2 Marco demográfico

El proyecto cuenta con la participación de la facultad y la comunidad de estudiantes de Ingeniería Civil, lo que asegura que los resultados y conclusiones obtenidos en esta investigación se enfocarán directamente en la comunidad de estudiantes y docentes de la Universidad Santo Tomás de Tunja. Además, las soluciones planteadas y las observaciones realizadas serán responsabilidad de la Facultad de Ingeniería Civil y estarán disponibles para su

utilización por parte de cualquier estudiante o docente de otras facultades interesados en investigar o mejorar en temas de movilidad en la Universidad. Sin embargo, al ser este un producto académico, los resultados y análisis consignados en el presente documento no comprometen de ninguna manera a la institución.

Teniendo en cuenta que actualmente la facultad de ingeniería civil en su plan de estudios no cuenta con una asignatura con la asignatura de tránsito y transporte como obligatoria que sea esta una oportunidad para que dicha asignatura sea implementada tal y como existe en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás de Bogotá y la mayoría de las Facultades de Ingeniería Civil del país, este tipo de proyectos y dicha rama del conocimiento serán fortalecidos y sea esta investigación una herramienta de enriquecimiento del tema.

6.3 Tipo de investigación

Los aspectos relacionados con la problemática hacen que la presente investigación se caracterice por ser de índole descriptivo, porque, como lo explica Bernal (2016), a través de ella se pueden identificar las situaciones, actividades y costumbres que pueden predominar, en este caso, referentes a las condiciones de uso que se dan en el espacio donde los peatones pasan a ser usuarios de la avenida, dentro del área de influencia de la universidad Santo tomas en Tunja. El paradigma de esta identificación no está direccionado únicamente a la recolección de datos, sino a la predicción, la interpretación y el reconocimiento de los patrones de flujo vehiculares y de peatones en torno a esta zona de conflicto entre transeúntes y actores motorizados.

Para contextualizar el desarrollo investigativo, los referentes teóricos se desarrollan como resultados de una consulta de forma ordenada y puntual de manuales, normas e investigaciones más relevantes concernientes al tema tratado, conformando un eje principal

sobre el que gira la investigación. De acuerdo con Kitchenham (2004), esta revisión debe ser evaluada cuidadosamente, cumpliendo tres etapas principales: la planificación, el desarrollo y la publicación de los resultados, siendo estos los que se deben inscribir en el documento final.

Volviendo al desarrollo, Hernandez, Fernández & Batipsta (2010.), explican que cuando se utiliza una metodología de tipo descriptivo, se pretende indagar y especificar las características más trascendentales relacionadas con el fenómeno a investigar. Ello permite establecer las actitudes y las costumbres propias de los integrantes de una población, así como sus principales particularidades. Para el caso de la presente investigación, por ejemplo, se buscan establecer las características que permiten proponer acciones de mejora de las condiciones de movilidad en espacios de intercambio modal para una zona muy concurrida en la ciudad de Tunja, en concordancia o discrepancia con los planes de movilidad y los planes de diseño de espacio público existentes.

La investigación descriptiva cumple con los requerimientos para desarrollar este proyecto, ya que recoge datos, resume información y analiza los resultados, evidenciando la situación actual para identificar posibles mejoras, analizando la manera en que lo investigado puede ayudar con este objetivo. La situación que se puede mejorar se refiere a los conflictos actuales vehiculares y peatonales de la Avenida Universitaria generados por la nueva demanda de viajes provenientes del aumento de flujos generado por la presencia de la institución educativa en el sector.

6.4 Alcance y actividades de la investigación

La investigación tiene como alcance establecer un diagnóstico de las condiciones operativas actuales de la malla vial circundante, además de establecer los principales conflictos

vehiculares y los requerimientos de mayor relevancia para el mejoramiento de la movilidad y seguridad vial en el sector. A partir de esto, se formularán y evaluarán las medidas de mitigación encaminadas a mejorar las dinámicas del tránsito para la población en general y en especial para la comunidad de la Universidad Santo Tomás de Tunja.

Considerando lo anterior, se parte de recopilación de información vehicular, peatonal y cifras de accidentalidad dentro del área de influencia, que permita analizar las condiciones de movilidad en la Avenida Universitaria.

La información se obtiene mediante la realización de aforos (conteo de vehículos y peatones), encuestas y mediciones de velocidad en campo. Se recopila información sobre paraderos, rutas de transporte público y frecuencia de autobuses, proporcionada por la Secretaría de Tránsito de Tunja. Además, se obtienen cifras de accidentalidad de la policía metropolitana.

Se utiliza el Manual de Planeación para la Administración del Tránsito y Transporte de Bogotá (Secretaría de Tránsito y Transporte, 2005) como referencia para recopilar la información y determinar los flujos vehiculares, la hora de máxima demanda, la velocidad promedio y el nivel de servicio actual de la red vial involucrada. También se utiliza la decodificación de la Norma Rilsa, encontrada en la cartilla de la Agencia Nacional de Seguridad Vial (2021), para clasificar los movimientos.

Se identifican los conflictos actuales tanto vehiculares como peatonales generados por la nueva demanda de viajes. Se procesa y evalúa la información primaria, se analizan las brechas para pelotones en las vías arteriales, y se levantan las secciones viales y se determinan los anchos de circulación libre y las longitudes de cruce.

Además, se evalúan los niveles de servicio actuales de los conflictos peatón-vehículo y se buscan medidas de control de tránsito que garanticen la seguridad vial de los usuarios, siguiendo las pautas del Manual de Planeación para la Administración del Tránsito y el Transporte de Bogotá (Secretaría de Tránsito y Transporte, 2005).

Se proponen mejoras específicas para los conflictos entre peatones y vehículos, con el objetivo de garantizar la seguridad de los peatones y personas con movilidad reducida, y reducir las demoras de los vehículos a un nivel aceptable. Estas propuestas siguen las directrices del Manual de Señalización Vial y Dispositivos Uniformes para la Regulación del Tránsito en Calles, Carreteras y Ciclorrutas de Colombia (MinTransporte, 2015).

Además, se realiza una evaluación integral de la operación en escenarios de proyección de crecimiento a 5 y 10 años. Para ello, se elabora un modelo de micro simulación vial utilizando el software especializado de tránsito TransModeler 4.0. Las tasas de crecimiento utilizadas son definidas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para el periodo 2020-2050.

Se evalúa el comportamiento de las medidas de mitigación propuestas, como los cambios en la infraestructura, la implementación de dispositivos de control, y los cambios en la señalización y demarcación vial. Para esto, se utilizan como referencia el Manual de Planeación para la Administración del Tránsito de la Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá (2005), el Concepto Técnico No. 16 de la Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá (2017) y la metodología “Modelling Transport 4th edición” de Ortúzar y Willumsen (2011).

6.4.1 *Análisis integral de tasas de crecimiento*

A partir de la información referente al crecimiento poblacional proyectado por el Departamento Nacional de Estadística y las cifras reportadas por el Ministerio de Transporte a través del informe Transporte en Cifras 2021, se estableció la tasa de crecimiento empleada para la proyección del tránsito de la ciudad de Tunja. En la siguiente tabla se resumen los indicadores encontrados y el respectivo promedio.

Tabla 2. Promedio de Tasas de Crecimiento poblacional y de transporte en la zona de estudio

No.	ANÁLISIS	TASA DE CRECIMIENTO
1	Crecimiento Poblacional	0.80%
2	Crecimiento Poblacional relacionado con el índice de motorización (Autos)	2.56%
3	Crecimiento Poblacional relacionado con el índice de motorización (Motos)	7.08%
4	Crecimiento de Transporte de Pasajeros por vía Terrestre	1.30%
5	Crecimiento de Transporte de Carga Nacional por vía Terrestre	3.00%
6	Parque automotor de vehículos nacional	5.00%
PROMEDIO		3.29%

Fuente: Elaboración propia.

La tabla anterior indica que la tasa de crecimiento poblacional y de transporte promedio para la zona de estudio es del 3,29%, la cual se considera aceptable toda vez que esta contempla los diferentes tipos de vehículo y arroja un valor conservador para la evaluación de los escenarios que se esperan con la implementación del proyecto.

6.4.2 *Capacidad y nivel de servicio peatonal*

Según el Manual de Planeación para la Administración del Tránsito y el Transporte de Bogotá (2005), para analizar la capacidad de vías peatonales como andenes o aceras, se deben

seguir estos pasos: obtener información sobre el flujo peatonal durante el periodo pico de 15 minutos, el ancho total de la vía y los obstáculos que puedan afectar la circulación peatonal, y calcular el flujo promedio de peatones en peatones/minuto/metro utilizando las fórmulas correspondientes. Estos pasos permiten evaluar de manera adecuada la capacidad de las vías peatonales y garantizar una circulación eficiente de los peatones.

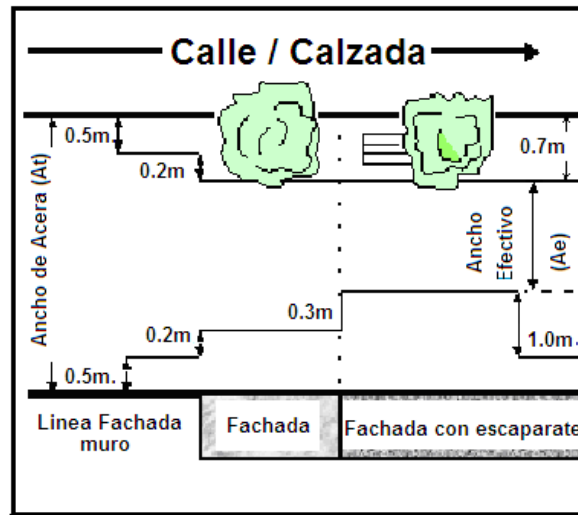
Tabla 3. Ecuaciones para flujo peatonal promedio y ancho efectivo de la vía

$q = \frac{Q_{15}}{15 * A_e}$	$A_E = A_T - B$
<p>Donde,</p> <p>q: Flujo promedio de peatones (Peatones/min/m).</p> <p>Q15: Flujo pico de peatones en un periodo de 15 minutos.</p> <p>A_e: Ancho efectivo del andén.</p>	<p>Dónde:</p> <p>A_E: Ancho efectivo o ancho libre de la vía peatonal (acera o andén) en metros</p> <p>A_T: Ancho total del andén en metros</p> <p>B: Ancho total de las zonas que no son utilizadas para los movimientos peatonales en metros.</p>

Fuente: (Secretaría de Transito y Transporte, Bogotá, 2005)

El ancho efectivo al que se refiere la fórmula de cálculo anterior se refiere al ancho en el cual los peatones pueden circular sin la presencia o posibilidad cercana de la presencia de un obstáculo.

Figura 6. Franjas no utilizadas en vía peatonal.



Fuente: (Secretaría de Transito y Transporte, Bogotá, 2005)

Ahora es necesario convertir el flujo medio de peatones y las superficies libres a tasa de flujo estimada de pelotón con los valores indicados en la siguiente tabla

Tabla 4. Volumen de peatones/m-minuto según áreas libres y velocidad de peatones.

Nivel de Servicio	Superficie (m ² /peat)	Velocidad media (m/min)	Volumen (peat/m-min)	V/C
A	> 7.00	≥ 97.97	≤ 14	≤ 0.049
B	≥ 1.00	≥ 90.58	≤ 91	≤ 0.317
C	≥ 0.77	≥ 87.99	≤ 115	≤ 0.401
D	≥ 0.40	≥ 77.82	≤ 194	≤ 0.676
E	≥ 0.17	≥ 49.60	≤ 287	≤ 1.000
F	< 0.17	< 49.60		Variable

Fuente: (Secretaría de Transito y Transporte, Bogotá, 2005)

Como se observa en la tabla anterior, los valores de servicio se pueden obtener con el valor promedio de flujo o tasa de pelotón, donde estos niveles de servicio tienen las características que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5. Características de los niveles de servicio

Nivel de servicio	Descripción
A	En los pasos peatonales, los usuarios prácticamente caminan en la trayectoria que desean, sin verse obligados a modificarla por la presencia de otros peatones. Se elige libremente la velocidad de marcha y los conflictos entre peatones son poco frecuentes
B	Se proporciona la superficie suficiente para permitir que los peatones elijan libremente la velocidad de marcha, se adelantan unos a otros y eviten los conflictos al entrecruzarse entre sí, en este nivel los peatones comienzan a acusar la presencia de otros, hecho que manifiestan en la elección de sus trayectorias
C	Existe la superficie suficiente para seleccionar una velocidad normal de marcha y permitir el adelantamiento, principalmente en corrientes de un único sentido de circulación. En el caso de que también haya movimiento en el sentido contrario o incluso entrecruzado, se producirían ligeros conflictos esporádicos y las velocidades y el volumen serán un poco menores
D	Se restringe a libertad individual de elegir la velocidad de marcha y el adelantamiento. En el caso de que haya movimientos de entrecruzado o en sentido contrario existe una alta posibilidad de que se presenten conflictos, siendo precisos frecuentes cambios de velocidad y de posición para eludirlos. Este proporciona un flujo razonablemente fluido; no obstante, es probable que se produzca entre los peatones unas fricciones e interacciones notables
E	En el prácticamente todos los peatones verán restringida su velocidad normal de marcha, lo que les exigirá con frecuencia modificar y ajustar su paso. En este el movimiento hacia delante solo es posible mediante una forma de avance denominada "arrastre de pies". No se dispone de la superficie suficiente para el adelantamiento de los peatones más lentos. Los movimientos en sentido contrario solo son posibles con extrema dificultad, se originan detenciones e interrupciones en el flujo
F	Condiciones de circulación con detenciones e interrupciones constantes, en la cual no es posible el adelantamiento y se circula a la velocidad del peatón más lento

Fuente: (Secretaría de Transito y Transporte, Bogotá, 2005)

6.4.3 Análisis de brechas

Para desarrollar los análisis se emplean las metodologías sugeridas en el Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte de Bogotá, de la Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá D.C (2005). Como el análisis de Brechas, cuyas ecuaciones se muestran a continuación:

Tabla 6 Ecuaciones a emplear para el análisis de brechas.

Ecuación	Discriminación, donde:
$t_c = \frac{L}{S_p} + t_s$	t_c = Brecha crítica para un peatón (s). S_p = Velocidad promedio de caminata (m/s). L = Longitud del cruce (m). t_s = Tiempo de arranque del peatón y de salida del cruce (s).
$N_c = \frac{v_p e^{v_p t_c} + v e^{-v t_c}}{(v_p + v) e^{(v_p - v) t_c}}$	N_c = Tamaño típico de un pelotón de cruce (peat). v_p = Volumen peatonal (peat/s). v = volumen vehicular (m). t_c = Brecha crítica para un peatón (s).
$N_p = ENT \left[\frac{0.75 * (N_c - 1)}{W_E} \right] + 1$	N_p = Distribución espacial de los peatones (peat). N_c = Número total de peatones en el pelotón que cruza (peat). W_E = ancho efectivo del cruce (m). 0.75 = ancho efectivo de evacuación por defecto de un peatón para evitar la interferencia con otros peatones.
$d_p = \frac{1}{v} (e^{v t_c} - v t_{G-1})$	d_p = demora promedio peatonal (s). t_G = Brecha crítica de grupo (s). v = volumen vehicular (veh/s).
$t_G = t_c + 2(N_p - 1)$	t_G = Brecha crítica de grupo (s). t_c = Brecha crítica para un peatón (s). N_p = Distribución espacial de los peatones (peat).

Fuente: (Secretaría de Transito y Transporte, Bogotá, 2005)

De acuerdo con lo anterior se realizaron las evaluaciones de las brechas peatonales con el fin de determinar el nivel de servicio de la infraestructura peatonal en los pasos peatonales previstos a lo largo del corredor. Estos análisis permiten evidenciar la manera en la cual se desempeñan los grupos de peatones al cruzar por una intersección semaforizada. Con los valores de entrada como el ancho efectivo de cruce y la longitud de este, se pretende determinar las condiciones operacionales del cruce, de esta manera se podrá validar o no las condiciones geométricas preestablecidas en el diseño.

6.4.4 Evaluación PV2

Uno de los criterios para soportar la instalación de un paso peatonal en un lugar de la calzada diferente a la intersección controlada por dispositivos electrónicos, es la relación entre el conflicto generado por los volúmenes vehiculares y peatonales. Un buen indicador de

conflicto está dado por la relación PV2, en donde P igual a peatones hora y V está definido como vehículos hora.

Tabla 7. Determinación de dispositivo peatonal según relación PV2.

Pv²	P	V	Recomendación preliminar
Sobe 10^a (si no es posible una zona de protección peatonal en la calzada)	50 a 1.100	300 a 500	Paso cebra
	50 a 1.100	sobre 500	Semáforo peatonal con botonera
	Sobre 1.100	sobre 300	Semáforo peatonal con botonera
Sobe 2 x 10^a (si existe o es necesaria la provisión de una zona de protección peatonal)	50 a 1.100	400 a 750	Paso cebra con isla o refugio peatonal
	50 a 1.100	sobre 750	Doble semáforo peatonal con refugio peatonal
	Sobre 1.100	sobre 400	Doble semáforo peatonal con refugio peatonal

Fuente: (MinTransporte, 2015, pág. 689)

De acuerdo con demanda estimada para el proyecto, se realiza el análisis del PV2 con el fin de determinar los dispositivos peatonales necesarios para garantizar la seguridad de los actores de la movilidad en las maniobras de riesgo.

$$P = \frac{2 \cdot 10^8}{V^2} \text{ Donde;}$$

P = Peatones/hora

V = Vehículos/hora

6.4.5 Metodología para la validación de cruces semaforicos

Para determinar la viabilidad de los cruces controlados con dispositivos peatonales, se realizó la evaluación de los criterios consignados en el Manual de Señalización Vial de (MinTransporte, 2015), en donde se deben evaluar los flujos peatonales, vehiculares,

ciclousuarios y estadísticas de siniestralidad, con el fin de validar la implementación o no del semáforo.

6.4.5.1 3.5.5.1 *Condición A: Volumen mínimo de vehículos*

Para que se cumpla la condición A, la cual relaciona los altos volúmenes vehiculares en las calles principales y secundarias de la intersección, se tienen que cumplir con el flujo mínimo de volúmenes relacionados en la siguiente Tabla.

Tabla 8. Volumen vehicular según la clase de calle condición A

NÚMERO DE CARRILES DE CIRCULACIÓN POR ACCESO		VEHÍCULOS POR HORA EN LA CALLE PRINCIPAL	VEHÍCULOS POR HORA EN EL ACCESO DE MAYOR VOLUMEN DE LA CALLE SECUNDARIA
CALLE PRINCIPAL	CALLE SECUNDARIA	(TOTAL EN AMBOS ACCESOS)	(UN SOLO SENTIDO)
1	1	500	150
2 o más	1	600	150
2 o más	2 o más	600	200
1	2 o más	500	200

Fuente: (MinTransporte, 2015)

Los flujos vehiculares sobre la vía principal deben mantenerse constantemente por encima de los valores indicados en la tabla anterior durante todo el periodo de evaluación, que se establece como un mínimo de 8 horas. En cuanto a la vía secundaria, se establece una condición más flexible. Los volúmenes de tráfico en esta vía pueden variar dependiendo de la dirección del acceso. Es decir, durante algunas horas del periodo de evaluación, el flujo vehicular puede ser mayor a través de un acceso específico, mientras que durante el tiempo restante, puede ser mayor a través del otro acceso. Esto sugiere que la demanda de tráfico en la vía secundaria puede ser asimétrica o tener variaciones temporales

6.4.5.2 3.5.5.2 Condición B: Interrupción del tránsito continuo

Esta condición se encamina a solucionar los conflictos por demoras del tránsito de la calle secundaria que se generan por riesgos indebidos al entrar o cruzar la calle principal. En consecuencia, de lo anterior, en el Manual se relaciona una tabla con los volúmenes mínimos que se deben tener para satisfacer esta condición, la cual se visualiza en seguida.

Tabla 9. Volumen vehicular según la clase de calle condición B

NÚMERO DE CARRILES DE CIRCULACIÓN POR ACCESO		VEHÍCULOS POR HORA EN LA CALLE PRINCIPAL	VEHÍCULOS POR HORA EN EL ACCESO DE MAYOR VOLUMEN DE LA CALLE SECUNDARIA (UN SOLO SENTIDO)
CALLE PRINCIPAL	CALLE SECUNDARIA	(TOTAL EN AMBOS ACCESOS)	
1	1	750	75
2 o más	1	900	75
2 o más	2 o más	900	100
1	2 o más	750	100

Fuente: (MinTransporte, 2015)

Se requiere que los flujos de vehículos sobre la vía principal cumplan con los valores mínimos establecidos en la tabla correspondiente durante todo el periodo de evaluación, que debe ser de al menos 8 horas. En cambio, para los flujos vehiculares sobre la vía secundaria, pueden variar en función del acceso y el tiempo de evaluación, como se determina en la metodología de análisis correspondiente.

6.4.5.3 3.5.5.3 Condición C: Volumen mínimo de peatones

Esta condición está dispuesta con el fin de garantizar seguridad a los peatones durante el cruce de la intersección, tomando en consideración que son el componente más frágil en la vía.

Para cumplir con esta condición en el Manual deben cumplir las siguientes circunstancias de manera simultánea, durante al menos dos horas: Volumen vehicular en la calle principal mayor a 1.200 vehículos y Tránsito de 250 o más peatones por la Calle principal.

6.4.5.4 3.5.5.4 Condición D: Movimiento o circulación progresiva

El control del movimiento progresivo implica la instalación estratégica de semáforos en intersecciones para regular las velocidades de grupos de vehículos. Se aplica en calles de un solo sentido o donde predomina la circulación en un solo sentido, cuando la separación entre los semáforos adyacentes es demasiado amplia para mantener un grupo compacto de vehículos y las velocidades deseadas. En calles de doble sentido, si los semáforos adyacentes no logran agrupar adecuadamente los vehículos ni controlar la velocidad, se considera agregar un semáforo adicional. La ubicación de este semáforo adicional se determina principalmente en función de la velocidad que abarca el 85% del tráfico. Sin embargo, el Manual establece que no se debe instalar un semáforo en estas condiciones si la distancia entre las dos intersecciones es inferior a 300 metros.

6.4.5.5 3.5.5.5 Condición E: Antecedentes y experiencia sobre accidentes

La instalación de semáforos debe cumplir con requisitos específicos establecidos en el Manual. Estos requisitos incluyen evitar decisiones basadas en accidentes aislados o demandas infundadas. Se requiere demostrar que otros métodos no han sido efectivos en reducir la frecuencia de accidentes. Además, se exige un mínimo de cinco accidentes en los últimos doce meses, con heridos o daños considerables. El volumen de tránsito y la interrupción mínima del flujo progresivo del tránsito también se toman en cuenta para la instalación adecuada de semáforos:

6.4.6 Viabilidad de la implementación de intersecciones semaforizadas

De acuerdo con lo expuesto en el numeral anterior, se revisaron las condiciones operacionales que los pasos peatonales cumplen para la implementación o no de semáforos. A continuación, se presentan los resultados del análisis.

Tabla 10. Evaluación PV^2 en la intersección 2.

Condición	Parámetro Requisito	Valor	Indicador (Hora de Mayor Demanda)	Cumple	Semáforo
A	Vehículos Calle principal	500	518	Si	Si
	Vehículos Calle secundaria	150	256	Si	
B	Vehículos Calle principal	750	518	No	Si
	Vehículos Calle secundaria	75	256	Si	
C	Vehículos Calle principal	1200	518	No	Si
	Peatones Calle principal	250	684	Si	
D	Sistema progresivo de semáforos	--	--	--	--
	Otra solución	--	No se ha implementado	No	
E	Accidentes	-	No se cuenta con registros	No	Si
	Vehículos Calle principal	400	518	Si	
F	Peatones Calle principal	120	684	Si	No
	Combinación	No			

Fuente: Elaboración propia

6.4.7 Modelos de micro simulación.

6.4.7.1 3.5.7.1 Herramientas de microsimulación de tránsito

Los softwares de microsimulación de tránsito son una alternativa para evaluar de manera detallada un área definida y obtener indicadores precisos de la operación del tráfico. Estas

herramientas permiten establecer comparaciones entre las condiciones actuales y proyectadas considerando la implementación de los cambios en infraestructura o establecimiento del proyecto, lo que facilita la toma de decisiones informadas. A través del uso de software especializado en tráfico y transporte, las microsimulaciones pueden cuantificar los posibles impactos que pueden surgir como resultado de los cambios propuestos.

6.4.7.2 3.5.7.2 Alcance de la microsimulación de tránsito

El análisis implica realizar simulaciones basadas en conteos vehiculares para evaluar diversas demandas de tráfico en la red vial circundante al proyecto. Estos datos son esenciales para la microsimulación, proporcionando información sobre el flujo vehicular, características geométricas, operativas y regulatorias de la red vial en cuestión. Al calibrar la red vial con la demanda vehicular, se pueden determinar indicadores de tráfico que permiten realizar comparaciones en diferentes escenarios. Es importante tener en cuenta la situación actual como punto de referencia para la comparación.

6.4.7.3 3.5.7.3 Objetivo del proceso de microsimulación

La microsimulación tiene como objetivo evaluar y predecir las condiciones de tráfico en un sistema de vías. Utilizando modelos y algoritmos de simulación, se generan indicadores de ingeniería de tráfico que analizan aspectos como la congestión, los tiempos de espera, los niveles de servicio y las velocidades promedio. Estos resultados se utilizan para proponer estrategias y mejoras que optimicen el funcionamiento de la red vial.

6.4.7.4 3.5.7.4 Metodología para el desarrollo de la modelación

La metodología de la microsimulación consta de varios pasos: recopilación de información del sistema vial, construcción del modelo de microsimulación, calibración con

datos reales, ejecución de simulaciones en diferentes escenarios, registro de indicadores clave y análisis de resultados. Se identifican áreas problemáticas y se proponen estrategias para mejorar el funcionamiento y eficiencia de la red vial.

- **Calibración de la demanda**

a calibración del modelo es un proceso fundamental para verificar la precisión del sistema simulado y garantizar la consistencia entre los flujos de tráfico medidos en el campo y los flujos modelados por el software. Uno de los criterios más utilizados para validar los modelos y confirmar la calibración es el estadístico GEH, que se calcula mediante una fórmula que compara los volúmenes de tráfico aforados y los volúmenes simulados por el software.

$$GEH = \sqrt{\frac{(Vol_a - Vol_s)^2}{0.5(Vol_a + Vol_s)}}$$

Donde:

Vol_a, Volúmenes aforados.

Vol_s, Volúmenes simulados por el Software.

Una vez determinado el GEH se deben corroborar otros parámetros que permitan aceptar el modelo, por lo tanto, se realizará la verificación de los siguientes indicadores:

Tabla 11. Criterios de validación del modelo por volúmenes y por velocidades

Criterio y Mediciones (valores modelados versus observados)	Aceptación de Calibración	Comentarios / Fuente
<p>Flujos de Arcos Individuales</p> <p>dentro de 100 veh/h para flujos < 700 veh/h</p> <p>dentro de 15% para 700 < flujos < 2700 veh/h</p> <p>dentro de 400 veh/h para flujos > 2700 veh/h</p> <p>Suma de todos los flujos por arco</p> <p>Estadístico GEH* < 5 para flujos por arco individual</p> <p>Estadístico GEH* para suma sobre flujos de arco</p>	<p>> 85% de casos</p> <p>> 85% de casos</p> <p>> 85% de casos</p> <p>precisión=5%</p> <p>> 85% de casos</p> <p>< 4</p>	FHWA (2004)
<p>Tiempo de Viajes para rutas seleccionadas</p> <p>Tiempo de Viaje Promedio Relativo a lo Observado</p> <p>Dentro del 15% de los Tiempos Observados (o 1 minuto si es más grande)</p>	<p>Dentro del 10%</p> <p>> 85% de casos</p>	RTA NSW
<p>Patrón de Congestión</p> <p>Inspeccionar la dispersión de colas, la distribución de la demanda por pistas, etc</p>	Satisfacción del modelador	Distribución de pistas del tráfico tiene un significativo efecto en la demora de la red
<p>Estabilidad del Modelo</p> <p>Variación entre el mínimo y máximo del flujo que ingresa a la red</p> <p>Tabulación de máximos y mínimos de flujos por arco y cordón de acuerdo a variaciones del 20% (o 200 veh/h),10% (o 100 veh/h) y 5% (o 50 veh/h)</p>	<p>Dentro del 5%</p> <p>Satisfacción del modelador</p>	Cinco Corridas usando diferentes valores aleatorios de semillas
Criterio y Mediciones (valores modelados versus observados)	Aceptación de Calibración	Comentarios / Fuente
<p>Flujos de Arcos Individuales</p> <p>dentro de 100 veh/h para flujos < 700 veh/h</p> <p>dentro de 15% para 700 < flujos < 2700 veh/h</p> <p>dentro de 400 veh/h para flujos > 2700 veh/h</p> <p>Suma de todos los flujos por arco</p> <p>Estadístico GEH* < 5 para flujos por arco individual</p> <p>Estadístico GEH* para suma sobre flujos de arco</p>	<p>> 85% de casos</p> <p>> 85% de casos</p> <p>> 85% de casos</p> <p>precisión=5%</p> <p>> 85% de casos</p> <p>< 4</p>	FHWA (2004)
<p>Tiempo de Viajes para rutas seleccionadas</p> <p>Tiempo de Viaje Promedio Relativo a lo Observado</p> <p>Dentro del 15% de los Tiempos Observados (o 1 minuto si es más grande)</p>	<p>Dentro del 10%</p> <p>> 85% de casos</p>	RTA NSW
<p>Patrón de Congestión</p> <p>Inspeccionar la dispersión de colas, la distribución de la demanda por pistas, etc</p>	Satisfacción del modelador	Distribución de pistas del tráfico tiene un significativo efecto en la demora de la red
<p>Estabilidad del Modelo</p> <p>Variación entre el mínimo y máximo del flujo que ingresa a la red</p> <p>Tabulación de máximos y mínimos de flujos por arco y cordón de acuerdo a variaciones del 20% (o 200 veh/h),10% (o 100 veh/h) y 5% (o 50 veh/h)</p>	<p>Dentro del 5%</p> <p>Satisfacción del modelador</p>	Cinco Corridas usando diferentes valores aleatorios de semillas

Fuente: Freeway System Operational Assessment, Technical Report I 33, Paramics Calibration and Validation Guidelines, Draft, Wisconsin DOT, District 2, June 2002

- **Parámetros de evaluación**

Se analizarán los siguientes indicadores operacionales para el escenario actual y con proyecto, tomando en consideración la infraestructura que se tiene planeada en el área de influencia directa:

- Velocidad, demora por vehículo en la red, demora total, tiempo de viaje total en la red, viajes, nivel de servicio, longitud de colas.

- **Escenarios de evaluación**

Los escenarios de evaluación de la modelación representan las condiciones operacionales actuales o proyectadas sobre la malla vial evaluada. El proceso de modelación comienza con la creación de un escenario base que refleja la configuración actual de la malla vial y sistemas de regulación de tránsito en el sector. La demanda se establece mediante los registros de la hora de mayor demanda, los cuales se obtienen a través del análisis de aforos realizados en campo.

Luego de tener el escenario base calibrado, se presentarán escenarios de variación de la oferta y la demanda de la siguiente manera: escenario con proyecto año 0 y se evalúa el tráfico atraído, desviado y generado, así como los principales indicadores que permitan identificar las bondades de las propuestas implantadas.

7 Análisis y discusión

7.1 Análisis de las condiciones operacionales de tránsito actual en la Av. Universitaria

7.1.1 *Procesamiento de la información*

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos de la recopilación de información primaria en las estaciones seleccionadas para caracterizar y analizar el tránsito en el área de estudio. La información primaria se centra en tres aspectos clave: volúmenes de tráfico motorizado, volúmenes de tráfico no motorizado y mediciones de velocidad en campo. Se utilizó la metodología establecida en el Manual de Planeación para la Administración del Tránsito y Transporte de Bogotá, D.C., de 1998.

Inicialmente, se examinó el comportamiento del flujo de tráfico motorizado en la red vial que se va a modelar, con el fin de identificar los períodos de máxima demanda en cada intersección y en general en toda la red. Una vez determinados estos períodos de máxima demanda, se recopilaron los tiempos de recorrido para establecer las velocidades de operación del tránsito en el área de estudio.

7.1.1.1 *Volúmenes vehiculares*

Al definir 5 estaciones de prioridad seleccionadas para registrar en periodos de 15 minutos los volúmenes que circularon en un periodo de 14 horas continuas en el horario comprendido entre las 6:00 a 20:00, clasificando los vehículos en livianos (automóviles, camionetas, camperos), buses (colectivos, busetas, buses), camiones (por número de ejes; C2P, C2G, C3, C4, C5 y <C5) y motos. Siguiendo las pautas del Manual de Dispositivos Uniformes de Control de Tráfico, la mejor opción es seleccionar periodos de registro de información de al

menos 14 horas. En la siguiente Tabla se indican las estaciones para el registro de volúmenes vehiculares.

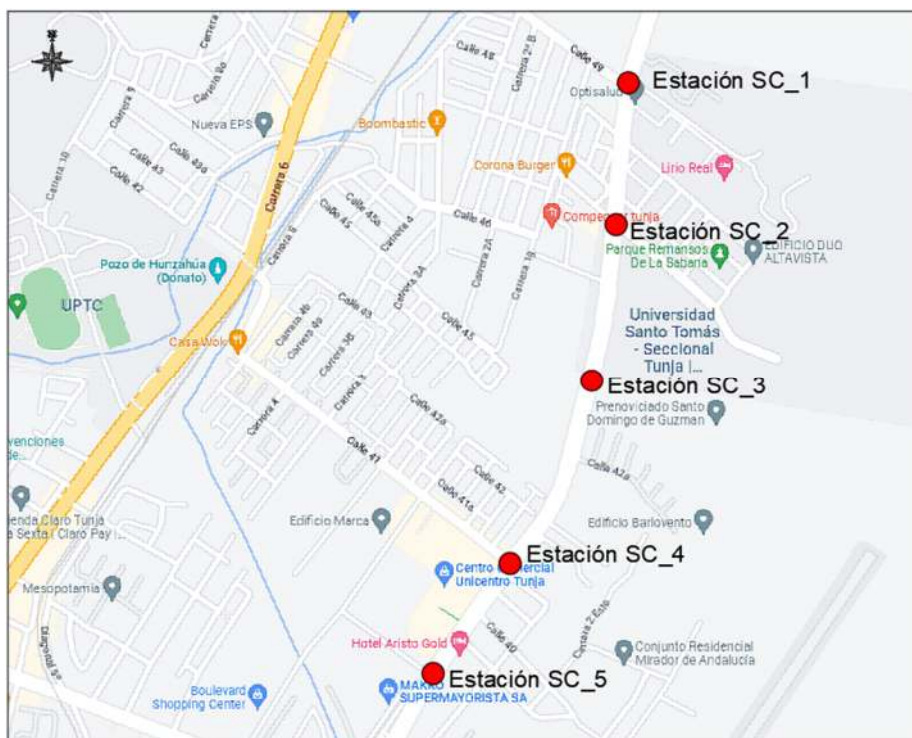
Tabla 12. Puntos de Aforo.

Estación	Localización	Tipo de Aforo	Periodo de aforo	Fecha
SC_1	Av. Universitaria por Calle 49			16/07/2021
SC_2	Av. Universitaria por Calle 47			16/07/2021
SC_3	Av. Universitaria por Calle 45	Volúmenes vehiculares	14 horas (06:00 a 20:00)	11/08/2021
SC_4	Av. Universitaria por Calle 41			16/07/2021
SC_5	Av. Universitaria por Calle 40			16/07/2021

Fuente: Elaboración Propia.

Estas estaciones para el registro de volúmenes vehiculares se localizan como se muestra en la siguiente figura.

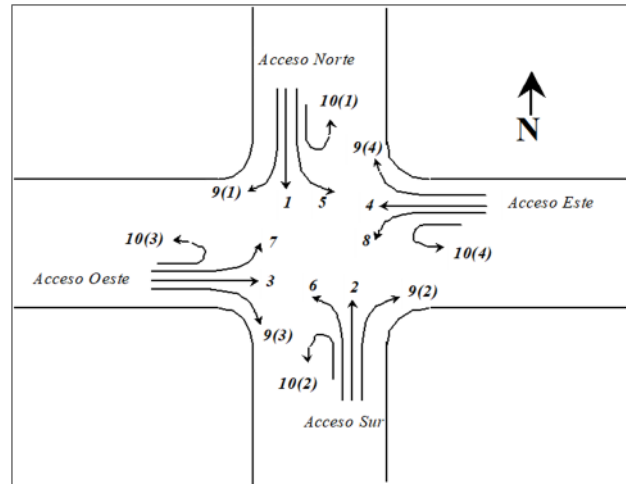
Figura 7 Localización de las estaciones para el registro de volúmenes



Fuente: Adaptado a partir de Google Maps.

El uso de una codificación unificada es importante para facilitar la comunicación y el intercambio de información sobre los movimientos vehiculares entre diferentes entidades y países. Al seguir la norma RILSA, se garantiza la consistencia y comprensión común de los códigos utilizados para representar los distintos movimientos de los vehículos.

Figura 8 Nomenclatura de movimientos norma RILSA

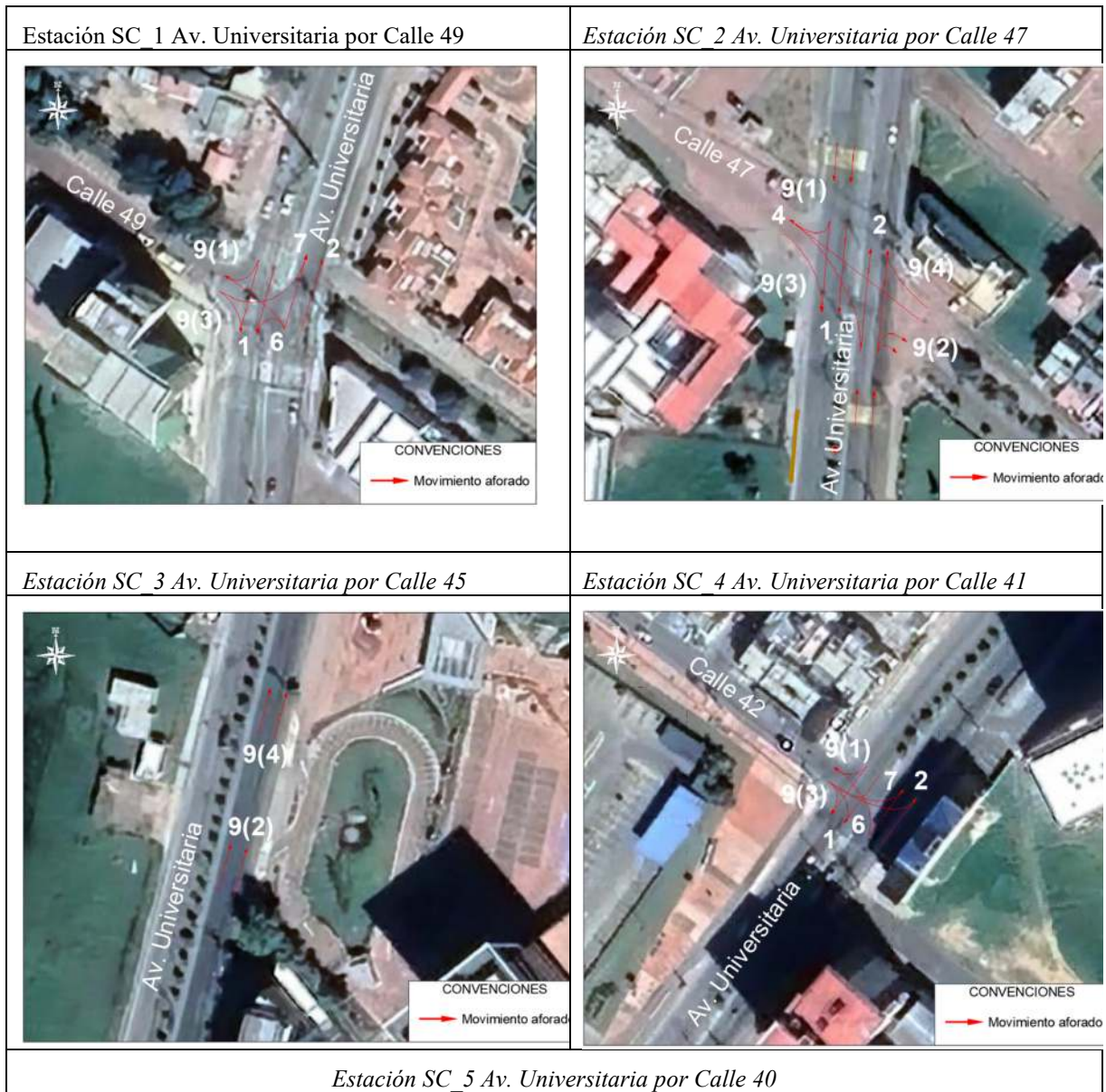


Fuente: (Secretaría de Transito y Transporte, Bogotá, 2005), D.C.

La información se registra en formatos de campo en intervalos de 15 minutos y se clasifica según el tipo de movimiento y vehículo (automóvil, autobús y camión) al momento de ingresar al punto de conteo.

. En las siguiente Figura se presenta la ubicación de las estaciones y los movimientos requeridos para el conteo vehicular

Figura 9. Estaciones y movimientos aforados



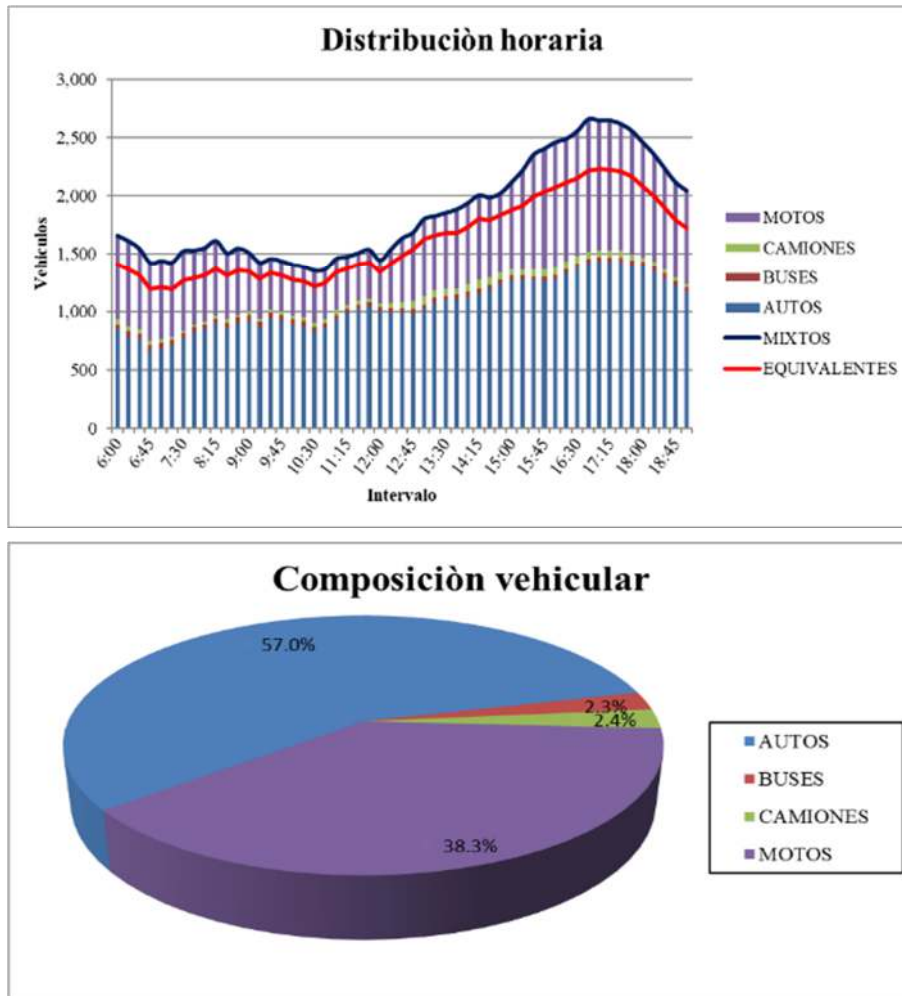


Fuente: Elaboración propia.

7.1.1.1.1 Estación SC_1 Av. Universitaria por Calle 49

Para la estación SC_1 ubicada en la Avenida universitaria por Calle 49 durante el periodo de aforo, se registraron un total de 25.891 vehículos mixtos y 22.560 vehículos equivalentes con la siguiente composición; autos: 57,0%, buses: 2,3%, camiones: 2,4% y motos: 38,3%. La hora de máxima demanda de la intersección se presenta en el periodo comprendido entre las 17:00 a 18:00 con un total de 2.649 vehículos mixtos y 2.230 vehículos equivalentes. Su distribución horaria y composición vehicular se pueden ver representadas gráficamente en la siguiente figura.

Figura 10. Distribución horaria y composición vehicular en la Av. Universitaria por Calle 49



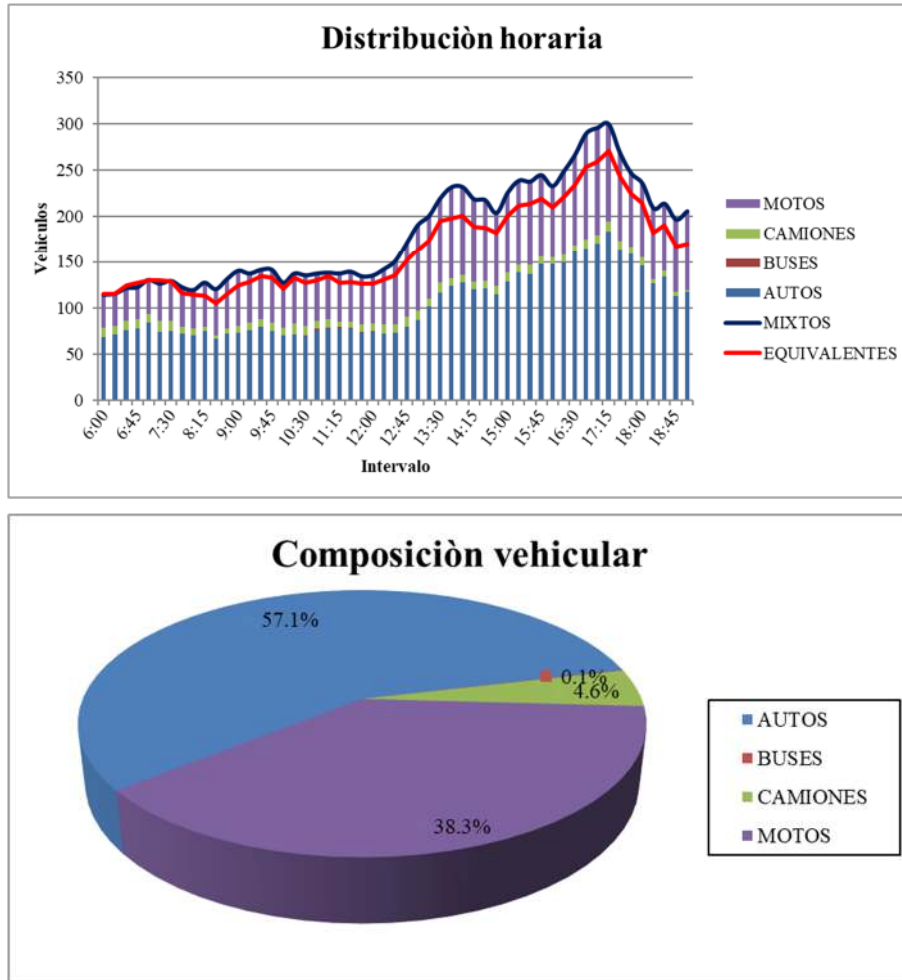
Fuente: Elaboración propia.

7.1.1.1.2 Estación SC_2 Av. Universitaria por Calle 47

Durante el periodo de aforo en la estación SC_2, ubicada en la Avenida Universitaria por Calle 47, se registraron un total de 2.523 vehículos mixtos y 2.283 vehículos equivalentes. La composición de la estación se muestra en la siguiente figura, donde se puede observar que los autos representan el 57,1% de los vehículos, los buses el 0,1%, los camiones el 4,6% y las motos el 38,3%.

La hora de máxima demanda en la intersección ocurre entre las 17:15 y las 18:15, durante la cual se registraron un total de 300 vehículos mixtos y 271 vehículos equivalentes.

Figura 11. Distribución horaria y composición vehicular en Av. Universitaria por Calle 47



Fuente: Elaboración propia.

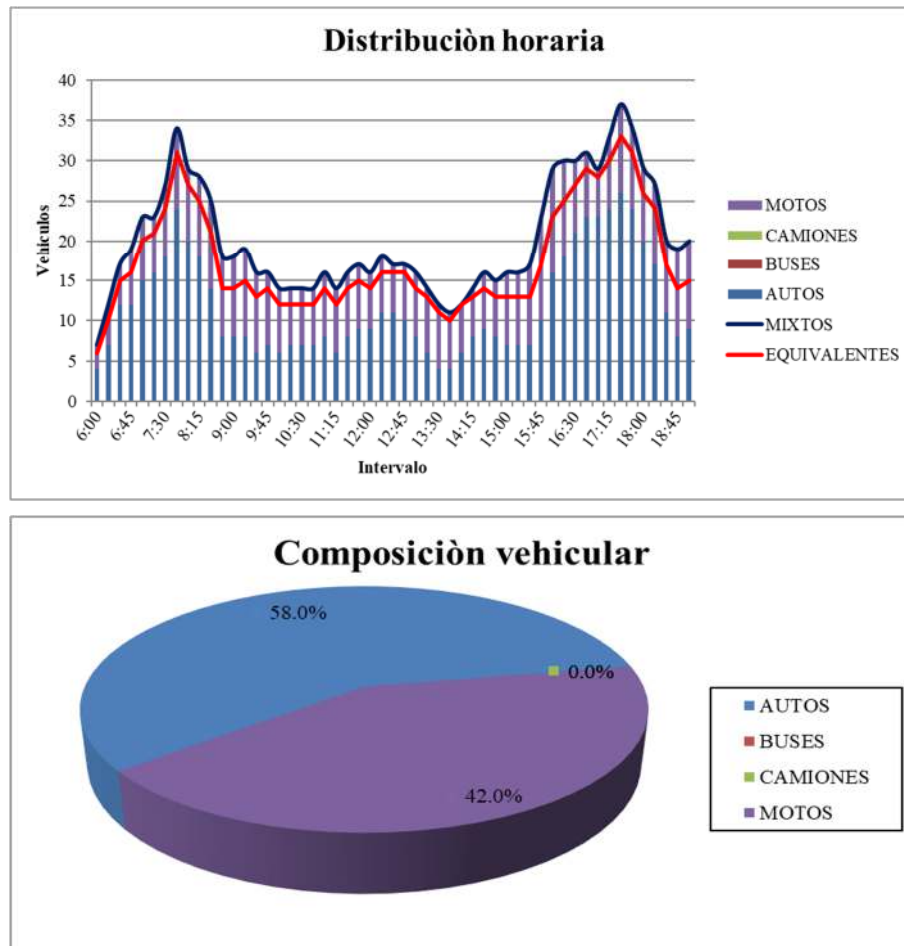
7.1.1.1.3 Estación SC_3 Av. Universitaria por Calle 45

Durante el periodo de aforo en la estación SC_3, ubicada en la Avenida Universitaria por Calle 45, se registraron únicamente los accesos y salidas al campus de la Universidad Santo Tomás de Tunja. En total, se contabilizaron 274 vehículos mixtos y 238 vehículos equivalentes.

La composición de la estación muestra que los autos representan el 58,0% de los vehículos, mientras que los buses y los camiones no tuvieron registros y las motos representaron el 42,0%.

La hora de máxima demanda en la intersección ocurrió entre las 17:30 y las 18:30, durante la cual se registraron un total de 37 vehículos mixtos y 33 vehículos equivalentes.

Figura 12. Distribución horaria y composición vehicular en Av. Universitaria por Calle 45



Fuente: Elaboración propia.

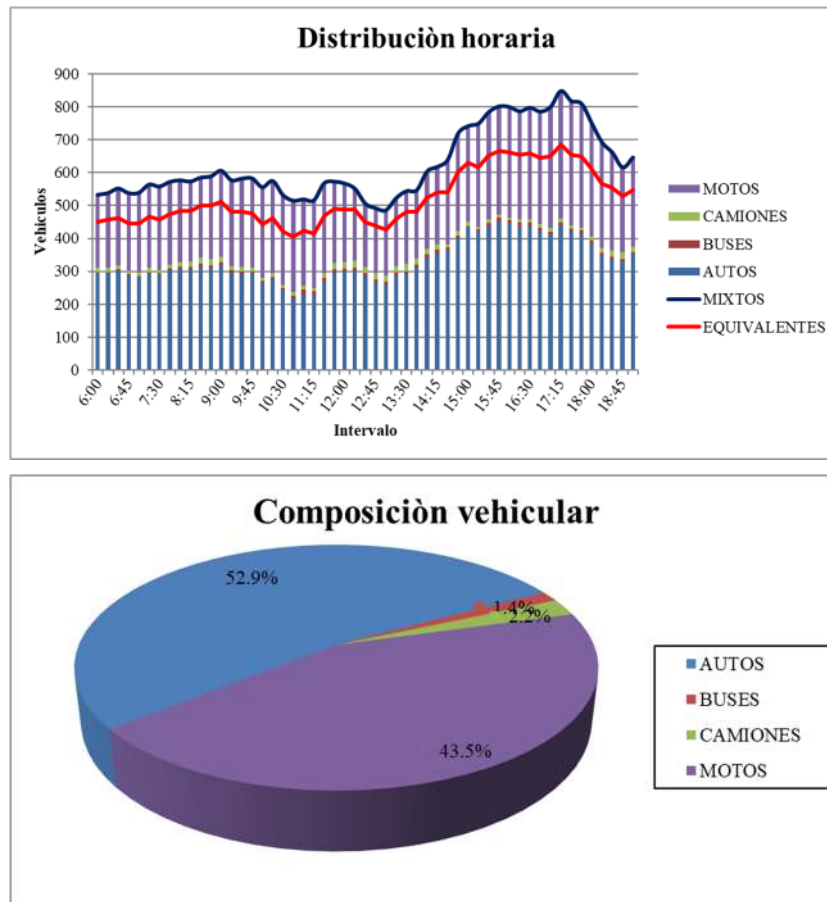
7.1.1.1.4 Estación SC_4 Av. Universitaria por Calle 41

Durante el periodo de aforo en la estación SC_4, ubicada en la Avenida Universitaria por Calle 41, se registraron un total de 8.727 vehículos mixtos y 7.293 vehículos equivalentes.

La composición de la estación muestra que los autos representan el 52,9% de los vehículos, los buses el 1,4%, los camiones el 2,2% y las motos el 43,5%.

La hora de máxima demanda en la intersección ocurrió entre las 17:15 y las 18:15, durante la cual se registraron un total de 849 vehículos mixtos y 686 vehículos equivalentes.

Figura 13. Distribución horaria y composición vehicular en Av. Universitaria por Calle 41



Fuente: Elaboración propia.

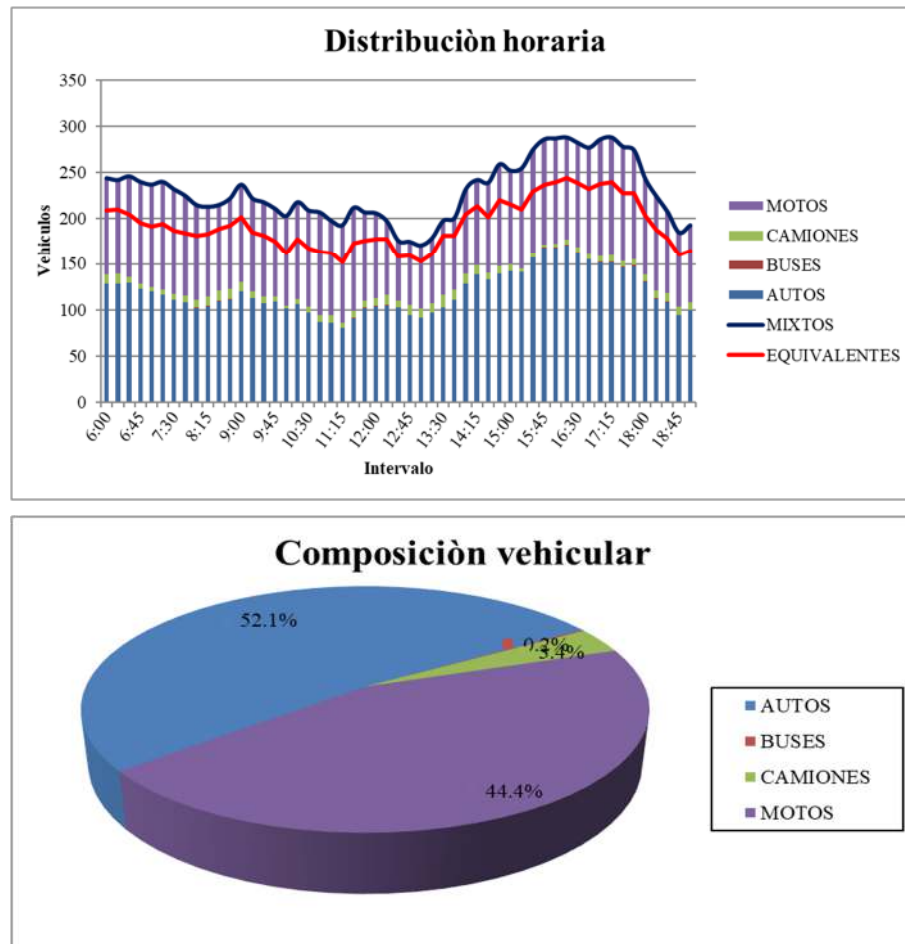
7.1.1.1.5 Estación SC_5 Av. Universitaria por Calle 40

Durante el periodo de aforo en la estación SC_5, ubicada en la Avenida Universitaria por Calle 40, se registraron un total de 3.204 vehículos mixtos y 2.707 vehículos equivalentes.

La composición de la estación muestra que los autos representan el 52,1% de los vehículos, los buses el 0,2%, los camiones el 3,4% y las motos el 44,4%.

La hora de máxima demanda en la intersección ocurrió entre las 16:15 y las 17:15, durante la cual se registraron un total de 288 vehículos mixtos y 244 vehículos equivalentes

Figura 14. Distribución horaria y composición vehicular en Av. Universitaria por Calle 40



Fuente: Elaboración propia.

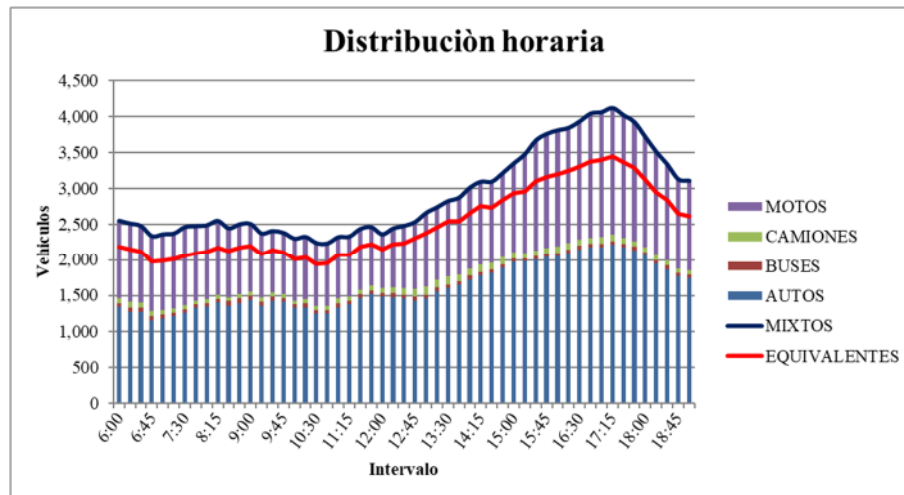
7.1.1.1.6 Determinación de la hora de máxima demanda de la red vial

Mediante el análisis de los datos recopilados se realizó un análisis de los datos recopilados en campo durante la toma de información primaria. A partir de este análisis, se determinó la hora de máxima demanda, que corresponde al periodo de una hora en el cual se

registran los flujos vehiculares más altos en las estaciones de conteo dentro del área de influencia.

Con base en los datos obtenidos, se suma el flujo vehicular registrado en todas las estaciones de conteo y se encuentra que la hora de máxima demanda se ubica entre las 17:15 y las 18:15. Esto significa que durante este periodo de tiempo, se observa el mayor flujo de vehículos en la red vial modelada.

Figura 15. Variación horaria de la red vial modelada en máxima demanda 17:00 a 18:15



Fuente: Elaboración propia.

La hora de máxima demanda HDM hallada se alinea con las dinámicas del tránsito normales presentes en la zona y en general en la ciudad, en donde generalmente estos picos se presentan una vez se finalizan las jornadas laborales y de estudio en las universidades y colegios educativos.

Una vez se contó con la hora de máxima demanda, se discriminaron los flujos por estación y movimiento, con el fin de obtener el insumo principal para las modelaciones de tránsito y análisis que se desarrollarán posteriormente.

En la siguiente tabla se presenta esta se presenta esta información para la hora de máxima demanda, teniendo en cuenta la ubicación de cada estación y los movimientos proyectados.

Tabla 13. Resumen de volúmenes vehiculares por movimiento en la hora de máxima demanda

HMD – PM (17:15 – 18:15)								
INT	MOV	COD	A	B	C	M	MIX	EQUIV
	N-S	1	599	13	22	507	1141	934
	S-N	2	607	18	28	464	1117	945
Avenida	S-W	6	43	0	3	25	71	64
Universitaria por	W-N	7	36	3	0	36	75	61
Calle 49	N-W	9 (1)	49	0	1	20	70	62
	W-S	9 (3)	84	6	8	62	160	148
	S-S	10 (2)	4	0	1	9	14	12
	S-W	6	22	0	3	14	39	38
Avenida	N-W	9 (1)	40	0	1	18	59	53
Universitaria por	S-E	9 (2)	66	0	2	28	96	87
Calle 47	W-S	9 (3)	42	0	4	41	87	74
	E-N	9 (4)	14	0	1	4	19	19
Avenida	S-E	9 (2)	4	0	0	4	8	7
Universitaria por	E-N	9 (4)	20	0	0	5	25	23
Calle 45	S-W	6	182	2	3	118	305	254
Avenida	W-N	7	73	7	2	89	171	137
Universitaria por	N-W	9 (1)	76	0	0	94	170	125
Calle 41	W-S	9 (3)	108	0	7	88	203	170
Avenida	S-W	6	48	1	3	31	83	74
Universitaria por	N-W	9 (1)	28	0	0	35	63	47
Calle 40	W-S	9 (3)	75	0	5	62	142	119

Fuente: Elaboración propia.

7.1.1.2 Volúmenes no motorizados

El registro de volúmenes de modos no motorizados enmarca el registro de los peatones y bici usuarios que transitan por un punto específico, caracterizando el sentido de circulación y el periodo de registro. De esta manera se logra establecer algunos estudios de conflicto peatón – vehículo o los niveles de desempeño de la infraestructura peatonal o específicamente de las

ciclorrutas. Se definieron 3 estaciones para registrar en periodos de 15 minutos los volúmenes de modos no motorizados que circularon en un periodo de 14 horas continuas en el horario comprendido entre las 06:00 a 20:00.

En la siguiente tabla se observa la programación de aforos para llevar los registro de volúmenes vehiculares

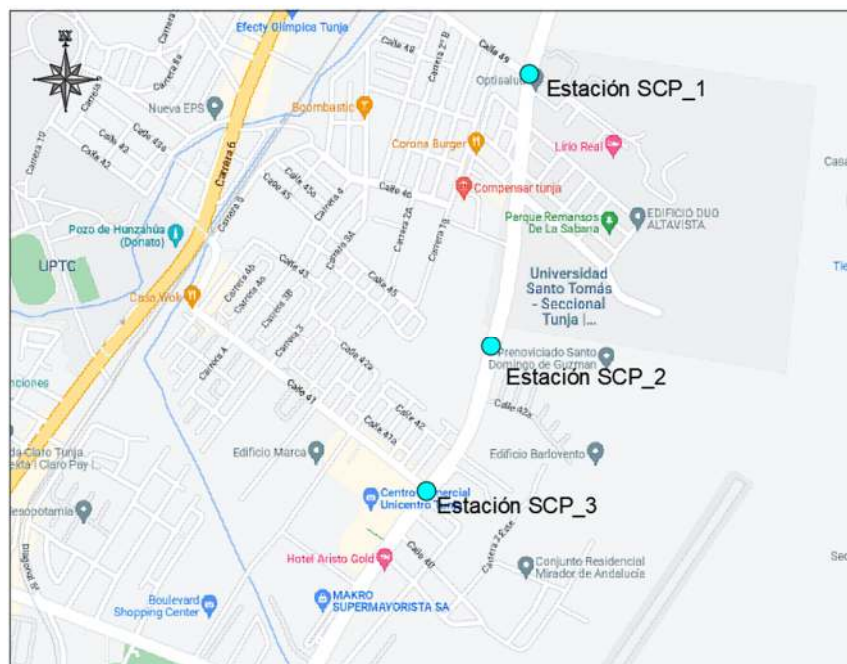
Tabla 14. Puntos de aforo para el registro de volúmenes no motorizados

Estación	Localización	Tipo de Aforo	Periodo de aforo	Fecha
SC_1	Av. Universitaria por Calle 49	Volúmenes no motorizados	14 horas (08:00 a 20:00)	16/07/2021
SC_2	Av. Universitaria por Calle 45			11/08/2021
SC_3	Av. Universitaria por Calle 41			16/07/2021

Fuente: Elaboración Propia.

La localización de las estaciones de conteo de modos no motorizados se relaciona en la siguiente Figura

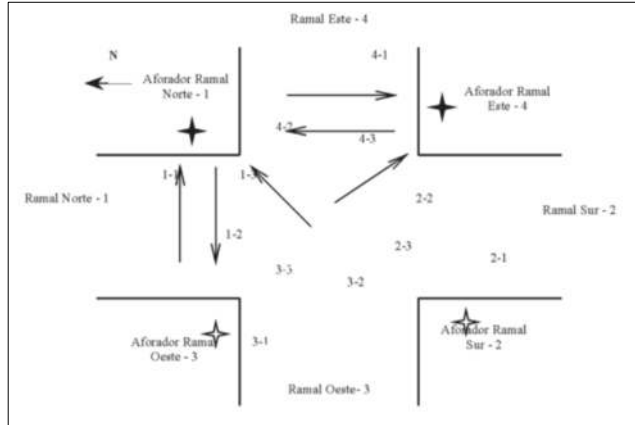
Figura 16. Localización de puntos de aforo de modos no motorizados



Fuente: localización propia a partir de Google Maps.

La codificación utilizada para los modos no motorizados se plantea en el Manual de Planeación para la Administración del Tránsito en Bogotá D.C. (2005).

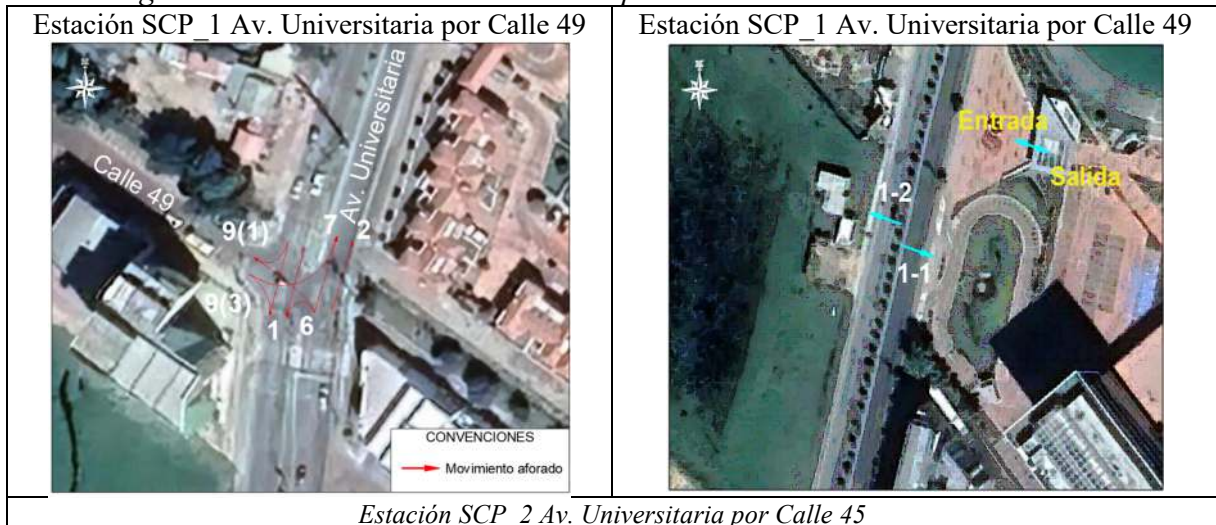
Figura 17. Nomenclatura de movimientos para modos no motorizados



Fuente: Elaboración propia con base en (Secretaría de Transito y Transporte, Bogotá, 2005)

En las siguiente Figura se presenta la ubicación de las estaciones registro de modos no motorizados

Figura 18. Ubicación de las estaciones para conteo de modos no motorizados



Estación SCP_2 Av. Universitaria por Calle 45



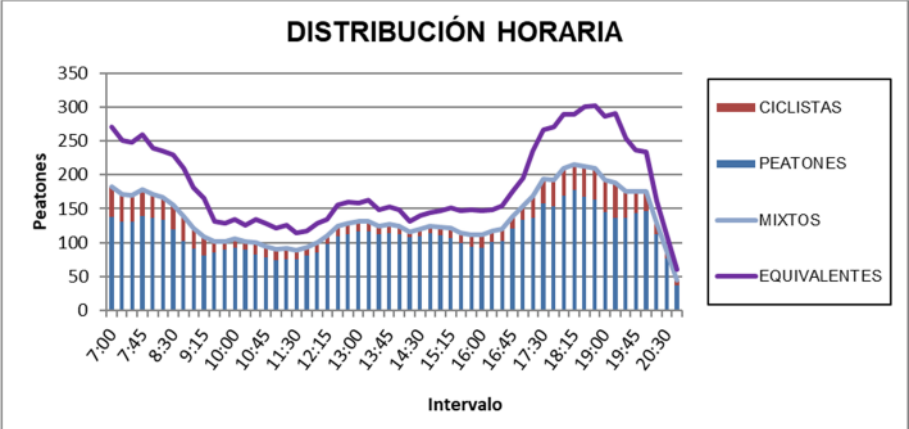
Fuente: Elaboración propia.

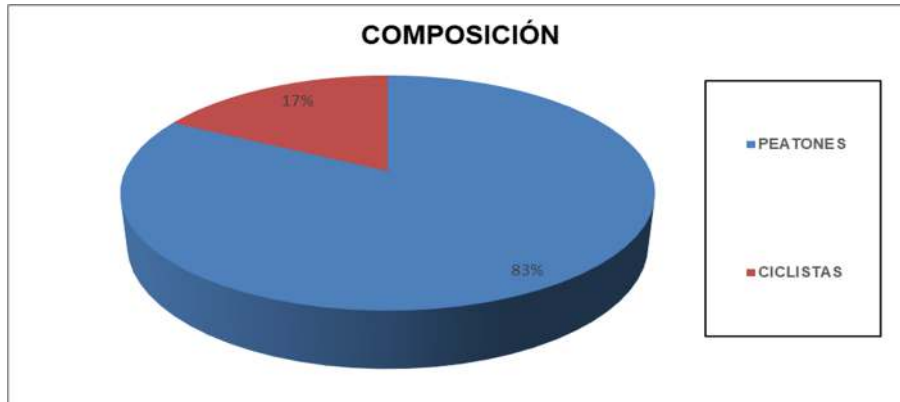
Para registrar la información en campo se emplearon formatos que fueron diligenciados por el personal previamente capacitado, en el cual se clasificaban los peatones o ciclistas según el sentido del recorrido efectuado en periodos de 15 minutos.

7.1.1.2.1 Estación SCP_1 Av. Universitaria por Calle 49

Para la estación SCP_1 ubicada en la Avenida universitaria por Calle 49 durante el periodo de aforo se registraron un total de 1.992 usuarios con la siguiente composición; peatones: 82,6%, ciclistas: 17,4%. La hora de máxima demanda se encontró entre las 17:45 a 18:45 con un total de 215 usuarios y 302 peatones equivalentes.

Figura 19 Distribución horaria y composición de volúmenes de modos no motorizados en la estación SCP_1



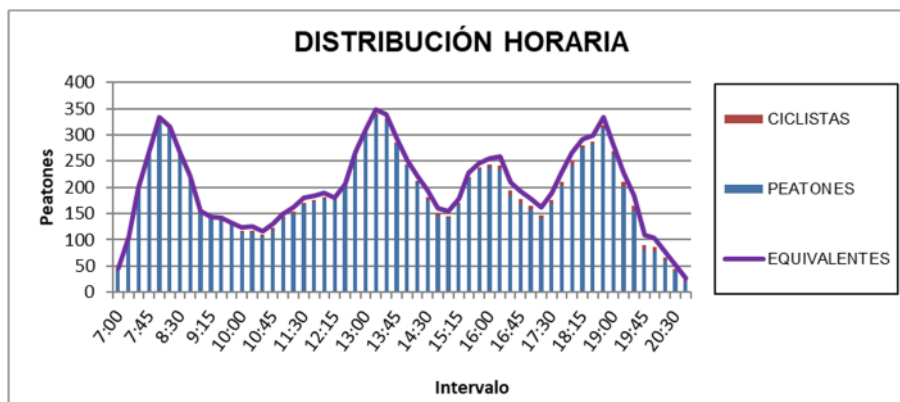


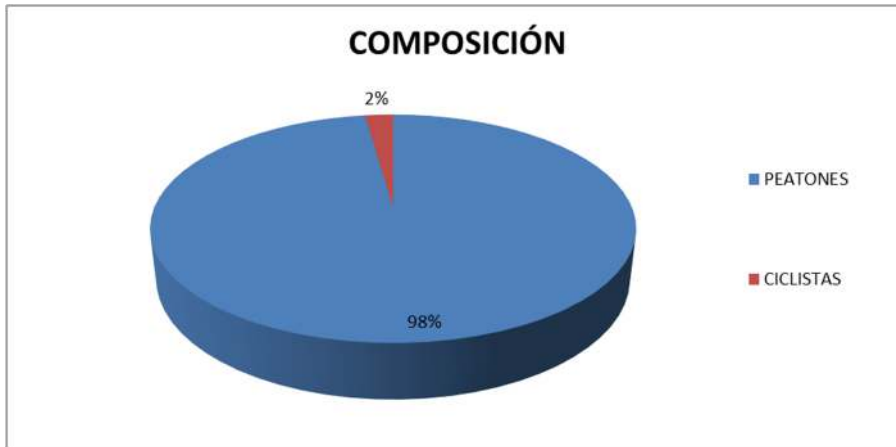
Fuente: Elaboración propia.

7.1.1.2.2 Estación SCP_2 Av. Universitaria por Calle 45

Para la estación SCP_2 ubicada en la Avenida universitaria por Calle 45 durante el periodo de aforo se registraron un total de 2.679 usuarios con la siguiente composición; peatones: 97,8%, ciclistas: 2,2%. Considerando que la estación registra los usuarios que ingresan y salen del campus de la Universidad Santo Tomás, se presentan tres picos de máxima demanda, una en el periodo comprendido entre las 7:00 a 8:00 con un total de 331 usuarios y 333 peatones equivalentes, otro entre las 12:15 y 13:15 con un total de 341 usuarios y 349 peatones equivalentes y finalmente entre las 18:45 y 19:45 con un total de 319 usuarios y 333 peatones equivalentes.

Figura 20 Distribución horaria y composición de volúmenes de modos no motorizados en la estación SCP_2



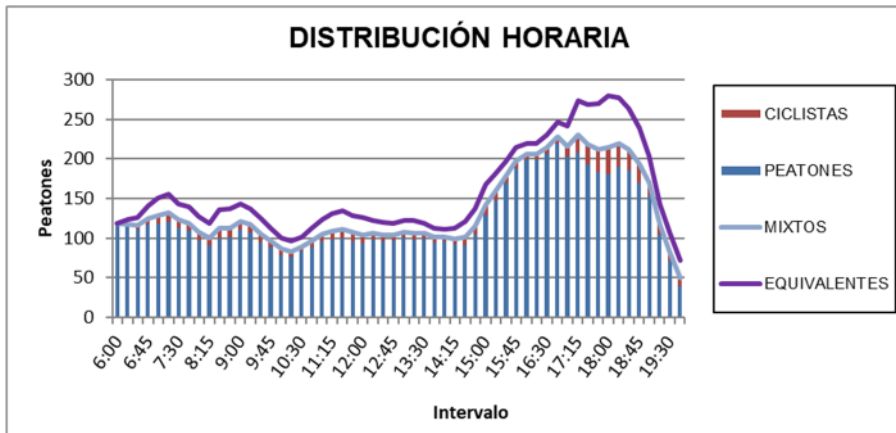


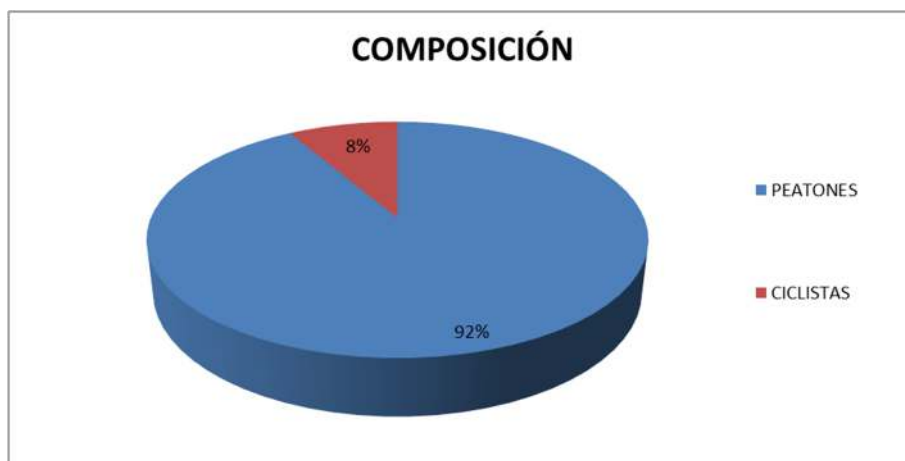
Fuente: Elaboración propia.

7.1.1.2.3 Estación SCP_3 Av. Universitaria por Calle 41

Para la estación SCP_3 ubicada en la Avenida universitaria por Calle 41 durante el periodo de aforo se registraron un total de 1.952 usuarios con la siguiente composición; peatones: 91,5%, ciclistas: 8,5%. La hora de máxima demanda se encontró entre las 18:00 a 19:00 con un total de 214 usuarios y 280 peatones equivalentes.

Figura 21 Distribución horaria y composición de volúmenes de modos no motorizados en la estación SCP_3





Fuente: Elaboración propia.

7.1.1.2.4 Determinación de la hora de máxima demanda de la red vial

Considerando el comportamiento y dinámica de los peatones y ciclistas en la vía, en las siguientes tablas se presentan los resúmenes de flujo peatonales en la hora de máxima demanda

Tabla 15. Resumen de flujos peatonales en la hora de máxima demanda de la estación SCP_1

AV. UNIVERSITARIA POR CALLE 49						
HORA	MOV	PEATONES	CICLISTAS	MIXTOS	EQUIVALENTES	
6:00 7:00	1-1 A	11	2	13	17	
	1-2 A	22	3	25	31	
	2-1 A	12	2	14	18	
	2-2 A	21	1	22	24	
	3-1 A	13	28	41	97	
	3-2 A	22	5	27	37	
	4-1 A	10	2	12	16	
	4-2 A	27	1	28	30	
17:45 18:45	1-1 A	23	2	25	29	
	1-2 A	29	5	34	44	
	2-1 A	8	6	14	26	
	2-2 A	24	1	25	27	
	3-1 A	7	4	11	19	
	3-2 A	23	24	47	95	
	4-1 A	27	1	28	30	
	4-2 A	23	3	26	32	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Resumen de flujos peatonales en la hora de máxima demanda de la estación SCP_2

AV. UNIVERSITARIA POR CALLE 45						
HORA	MOV	PEATONES	CICLISTAS	MIXTOS	EQUIVALENTES	
7:00 8:00	1-1 A	72	0	72	72	
	1-2 A	18	1	19	21	
	1-1 B	0	0	0	0	
	1-2 B	0	0	0	0	
	2-1 A	0	0	0	0	

AV. UNIVERSITARIA POR CALLE 45						
HORA	MOV	PEATONES	CICLISTAS	MIXTOS	EQUIVALENTES	
	2-2 A	0	0	0	0	
	3-1 A	229	0	229	229	
	3-2 A	11	0	11	11	
	4-1 A	0	0	0	0	
	4-2 A	0	0	0	0	
	1-1 A	90	0	90	90	
	1-2 A	116	6	122	134	
	2-1 A	0	0	0	0	
17:15 18:15	2-2 A	0	0	0	0	
	3-1 A	22	0	22	22	
	3-2 A	46	0	46	46	
	4-1 A	0	0	0	0	
	4-2 A	0	0	0	0	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17 Resumen de flujos peatonales en la hora de máxima demanda de la estación SCP_3

AV. UNIVERSITARIA POR CALLE 41						
HORA	MOV	PEATONES	CICLISTAS	MIXTOS	EQUIVALENTES	
	1-1 A	8	3	11	17	
	1-2 A	8	1	9	11	
	2-1 A	18	1	19	21	
7:15 8:15	2-2 A	19	1	20	22	
	3-1 A	15	1	16	18	
	3-2 A	25	1	26	28	
	4-1 A	15	0	15	15	
	4-2 A	12	4	16	24	
	1-1 A	4	4	8	16	
	1-2 A	30	1	31	33	
	2-1 A	21	2	23	27	
18:00 19:00	2-2 A	35	0	35	35	
	3-1 A	13	12	25	49	
	3-2 A	32	1	33	35	
	4-1 A	27	8	35	51	
	4-2 A	19	5	24	34	

Fuente: Elaboración propia.

7.1.1.3 Registro de velocidades

El registro de velocidades se realizó conforme a la metodología de vehículo flotante, planteada en el Manual de Planeación para la Administración del Tránsito en Bogotá, para ello se definió el tramo de la Avenida Universitaria entre Calles 40 y 49, realizando cuatro recorridos por sentido para obtener un error menor a 2km/h.

Tabla 18. Velocidades de operación de la Avenida Universitaria entre Calle 41 y 49

Tramo	Sentido	Tiempo de recorrido (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)
		323	1300	14.49
	N-S	498	1300	9.40

Tramo	Sentido	Tiempo de recorrido (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)
		294	1300	15.92
		326	1300	14.36
		PROMEDIO		13.27
Av. Universitaria entre Calles 41 y 49	S-N	213	1300	21.97
		306	1300	15.29
		325	1300	14.40
		244	1300	19.18
		PROMEDIO		17.22

Fuente: Elaboración propia.

7.1.2 *Análisis de conflictos entre modos motorizados y no motorizados*

Los conflictos peatón-vehículo ocurren cuando los usuarios no motorizados desean cruzar transversalmente a la dirección de los flujos motorizados. Para realizar el análisis, se empleó la metodología de brechas descrita en el numeral 3.5.3, en la cual se busca establecer el tiempo que perciben los peatones para el cruce, considerando variables como el flujo vehicular, peatonal, longitud de cruce, tiempo de reacción y ancho de cruce. Se calcula la "brecha crítica", que es el tiempo en segundos en el que los peatones no intentarán cruzar la calle. Si la brecha disponible es menor a la brecha crítica, los peatones no cruzarán. Luego, se realiza un análisis de brechas y se evalúa el nivel de servicio en el cruce del acceso al campus de la Universidad Santo Tomás en Tunja.

Tabla 19. Nivel de servicio de conflictos peatón-vehículo para la situación actual.

Cruce peatonal – Acceso a Campus Universidad Santo Tomás	Escenario PM
Volumen crítico peatonal en una hora	150
Volumen crítico vehicular en una hora	1256
Ancho efectivo del cruce W_e (m)	4.0
Velocidad promedio de caminata S_p (m/s)	1.2
Tiempo de arranque del peatón y salida del cruce, t_s (s)	3.0
Longitud de cruce, L (m)	7.0
Volumen peatonal V_p (peat/s)	0.0
Volumen vehicular V (vh/s)	0.3
Brecha crítica para un peatón t_c (s)	9.0
Número total de peatones en el peatón que cruza N_c (peat)	3.1

Distribución espacial de los peatones Np (peat)	1.0
Brecha crítica de grupo tG (s)	9.0
Demora promedio peatonal tp (s)	54.4
Nivel de servicio según MPDATT Tomo III Capitulo 1 Tabla 1.18	F

Fuente: Elaboración propia.

7.1.3 Evaluación de la operación, capacidad y nivel de servicio de la malla vial

7.1.3.1 Plan de circulación peatonal

El plan de circulación peatonal identifica las condiciones de movilidad de las personas más vulnerables, como niños, adultos mayores, personas con discapacidad y aquellos con dificultades físicas para acceder o transitar por los andenes para el acceso y salida del campus de la Universidad Santo Tomás. Es esencial considerar aspectos geométricos e infraestructurales en el estudio y análisis del espacio público para comprender mejorar y determinar la capacidad de la infraestructura peatonal existente y establecer criterios del diseño y mejora en los puntos críticos presentes en las vías para garantizar la accesibilidad y seguridad de los usuarios.

7.1.3.2 Plan de circulación de ciclousuarios

El plan de circulación de ciclousuarios describe las rutas que siguen estos actores de la vía desde y hacia el campus de la Universidad Santo Tomás, de manera que se garantice la seguridad durante la convivencia con los demás usuarios. Se presentan trayectorias actuales que siguen los ciclistas ya sea mediante el uso de la ciclo-infraestructura, en el uso compartido con los vehículos en las avenidas o peatones en la infraestructura peatonal.

7.1.3.3 Plan de circulación vehicular

El plan de circulación vehicular describe las trayectorias que siguen los usuarios para el acceso y salida del campus de la Universidad Santo Tomás, considerando la señalización vial y

la operación del tránsito definida para los corredores de la malla vial adyacente. De esta manera, se establecen los patrones que siguen los vehículos y los comportamientos que atenten contra la seguridad de los actores más vulnerables.

7.1.3.4 Capacidad y niveles de servicio modos no motorizados

El análisis de capacidad y niveles de servicio se llevó a cabo después de procesar la información primaria y caracterizar la infraestructura peatonal existente. Para este análisis, se utilizó la metodología descrita en el numeral 3.5.2, que relaciona el ancho efectivo disponible para los peatones sin obstáculos, el flujo pico de peatones en un periodo de quince minutos y el flujo promedio de peatones por minuto por metro. Estos datos permitieron determinar el nivel de servicio. Además, el ancho efectivo se calculó restando el ancho total de las zonas utilizadas para mobiliario, paisajismo o ciclorrutas al ancho total de la infraestructura peatonal.

A continuación, se relaciona el nivel de servicio para la situación actual de la infraestructura peatonal del área de influencia.

Tabla 20. Nivel de servicio en la infraestructura peatonal para la situación actual

Tramo	Andén	Ancho total de andén	Ancho efectivo	Periodo AM		Periodo PM	
				Peatones/Hora	Nivel de Servicio	Peatones/Hora	Nivel de Servicio
AVENIDA UNIVERSITARIA	W	-	-	35	F	30	F
ENTRE CALLE 47 Y CALLE 49	E	-	-	37	F	50	F
CALLE 49 ENTRE 1ª ESTE Y AVENIDA UNIVERSITARIA	N	1.35	0.05	33	A	52	B
AVENIDA UNIVERSITARIA	S	-	-	33	F	32	F
AVENIDA UNIVERSITARIA	W	-	-	90	F	150	F
ENTRE CALLE 41 Y CALLE 47	E	3.8	2.8	330	A	337	A
AVENIDA UNIVERSITARIA	W	6.2	5.1	40	A	45	A
ENTRE CALLE 40 Y CALLE 41	E	3.3	2	27	A	46	A
	N	1.1	0.8	16	A	34	A

Tramo	Andén	Ancho total de andén	Ancho efectivo	Periodo AM		Periodo PM	
				Peatones/Hora	Nivel de Servicio	Peatones/Hora	Nivel de Servicio
CALLE 40 ENTRE 1ª ESTE Y AVENIDA UNIVERSITARIA	S	1.8	0.5	37	A	56	A

Fuente: Elaboración propia.

El nivel de servicio A representa condiciones en la cual los peatones pueden elegir libremente la trayectoria y velocidad de paso, en contra parte el nivel de servicio F representa condiciones inadecuadas de circulación, en este caso, ocurre debido a la falta de presencia de una infraestructura segura.

Como se evidenció en el numeral de caracterización de la malla vial, la infraestructura peatonal no es continua a lo largo de la Av. Universitaria, lo cual repercute en condiciones de inseguridad y difícil acceso para los peatones que por allí circulan. Es necesario, acciones de adecuación de la malla vial para ofertar una infraestructura accesible a todos los peatones, en especial a los que tienen condiciones de movilidad reducida. Las franjas de circulación deberán alinearse con los parámetros de accesibilidad universal que contribuyan mediante vados o rampas, el acceso fácil y seguro a la infraestructura y garantice que los anchos sean adecuados para que circulen sillas de rueda o algún otro tipo de dispositivo de ayuda para la movilidad reducida.

7.1.3.5 Capacidad y niveles de servicio modos motorizados

Para efectuar el análisis de capacidad y nivel de servicio de los modos motorizados, se emplearon los volúmenes de la hora de máxima demanda vehicular calculada a partir de la toma de información primaria, la caracterización de la malla vial dentro del área de influencia y la herramienta de simulación de tránsito TransModeler en la versión 6.0.

7.1.3.5.1 Definición de la oferta

La red se define mediante la estructura de nodos y enlaces. Los nodos representan puntos donde se produce un cambio en la dirección del flujo vehicular o donde los vehículos ingresan o salen de la red. Por otro lado, los enlaces se definen según la dirección de las vías que conectan los nodos. Cada enlace se caracteriza por el número de carriles, la geometría de la vía, el tipo de regulación y la conectividad permitida. Estos elementos son fundamentales para establecer la representación de la red en el modelo de tráfico y permiten simular el movimiento de los vehículos de manera precisa.

7.1.3.5.2 Localización del proyecto

La malla vial modelada comprende la Avenida Universitaria entre las Calles 40 y 49 del municipio de Tunja, la cual es una vía de la malla vial arterial de la ciudad. Cuenta con dos calzadas para la circulación en sentido Norte – Sur y Sur – Norte, además, cada calzada presenta dos carriles de paso, con un ancho variable de 3.5 a 4.0 metros.

Tabla 21. Demanda modelada

HMD – PM (17:15 – 18:15)								
INT	MOV	COD	A	B	C	M	MIX	EQUIV
Avenida Universitaria por Calle 49	N-S	1	599	13	22	507	1141	934
	S-N	2	607	18	28	464	1117	945
	S-W	6	43	0	3	25	71	64
	W-N	7	36	3	0	36	75	61
	N-W	9 (1)	49	0	1	20	70	62
	W-S	9 (3)	84	6	8	62	160	148
Avenida Universitaria por Calle 47	S-S	10 (2)	4	0	1	9	14	12
	S-W	6	22	0	3	14	39	38
	N-W	9 (1)	40	0	1	18	59	53
	S-E	9 (2)	66	0	2	28	96	87
	W-S	9 (3)	42	0	4	41	87	74
Avenida Universitaria por Calle 45	E-N	9 (4)	14	0	1	4	19	19
	S-E	9 (2)	4	0	0	4	8	7
	E-N	9 (4)	20	0	0	5	25	23
	S-W	6	182	2	3	118	305	254
Avenida Universitaria por Calle 41	W-N	7	73	7	2	89	171	137
	N-W	9 (1)	76	0	0	94	170	125
	W-S	9 (3)	108	0	7	88	203	170
Avenida Universitaria por Calle 40	S-W	6	48	1	3	31	83	74
	N-W	9 (1)	28	0	0	35	63	47
	W-S	9 (3)	75	0	5	62	142	119

Fuente: Elaboración propia.

7.1.3.5.4 Modelación de la situación actual

La simulación de las condiciones actuales parte de la definición de la demanda actual mediante una lista desagregada de viajes individuales o a través de una matriz origen – destino. Esta última será la empleada para alimentar el modelo de microsimulación, toda vez que permite al software realizar el proceso de simulación de manera dinámica. Para resumir brevemente, la Dynamic Traffic Assignment (DTA) se ejecuta en TransModeler para producir un conjunto de tiempos de viaje congestionados que varían en el tiempo y retrasos en los giros que reflejan los patrones de congestión recurrentes que los conductores deben esperar en función de la experiencia de conducción histórica anterior en el área de estudio.

A continuación, se presentan las matrices origen – destino utilizadas para la situación actual. Con el fin de representar mejor las condiciones de tránsito del sector, se distribuyeron los vehículos livianos en livianos pequeños (36%), medianos (32%) y grandes (31%), de igual manera los vehículos tipo camión, en camiones pequeños (55%) y grandes (45%)

Tabla 22. Matrices origen-destino

Livianos pequeños	4	6	7	8	10	11	14
3	201	0	8	8	6	30	0
5	3	298	24	8	9	87	14
7	30	35	0	4	0	28	0
8	7	0	0	0	0	0	0
10	19	0	0	0	0	0	0
11	59	36	1	1	3	1	1
12	0	4	0	1	0	0	0
Livianos medianos	4	6	7	8	10	11	14
3	216	0	16	8	9	24	0
5	9	261	28	3	18	50	17
7	25	22	0	0	3	33	0
8	11	0	0	0	0	1	0
10	26	0	0	0	0	0	0
11	54	30	2	0	1	0	3
12	0	4	0	2	0	0	0
Livianos grandes	4	6	7	8	10	11	14
3	187	0	16	3	4	20	0
5	7	255	27	5	16	29	33
7	19	25	0	0	1	31	0
8	4	0	0	0	0	2	0
10	15	0	0	0	0	0	0
11	54	43	1	1	3	0	1
12	0	4	1	1	0	0	0
Motos	4	6	7	8	10	11	14
3	112	0	19	2	4	26	0
5	0	166	6	7	22	48	14
7	24	25	0	0	1	7	0
8	5	0	0	0	2	4	0
10	21	0	0	0	0	0	0
11	35	28	2	2	1	0	4
12	0	6	0	2	0	0	0
Camiones pequeños	4	6	7	8	10	11	14
3	13	0	1	0	1	5	0
5	0	23	3	1	2	9	1
7	7	8	0	0	0	1	0
8	1	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0	0
11	5	4	0	0	0	0	0
12	0	6	0	2	0	0	0
Camiones grandes	4	6	7	8	10	11	14
3	11	0	0	0	0	0	0
5	0	18	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0
11	0	2	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

7.1.3.5.5 Asignación y convergencia de matrices de viajes

En TransModeler, se utilizan modelos de ruteo basados en el tiempo de viaje para determinar la ruta óptima de cada vehículo. Se simula la congestión y su impacto en el tiempo de viaje mediante la asignación dinámica de tráfico. El proceso busca lograr un equilibrio en tiempo real, donde los conductores aprendan de las iteraciones anteriores y elijan rutas más eficientes. Esto se repite hasta que ningún vehículo pueda mejorar significativamente su tiempo de viaje cambiando de ruta, lo que indica que se ha alcanzado el equilibrio del usuario.

Después de cada iteración, TransModeler calcula la diferencia relativa (gap) entre las soluciones anteriores y la solución de equilibrio, y se resuelve para lograr una convergencia en los resultados. Esto garantiza que el modelo se ajuste de manera precisa a las condiciones de tráfico y permite evaluar el impacto de diferentes escenarios y estrategias de gestión del tráfico en tiempo real.

$${}^{(1)}\text{Gap}^T = \frac{\sum_{i \in I} \sum_{k \in K_i} f_k^T \cdot t_k^T - \sum_{i \in I} d_i^T \cdot t_{min,i}^T}{\sum_{i \in I} d_i^T \cdot t_{min,i}^T}$$

Si se cumple el criterio de convergencia, se considera que la asignación ha logrado su objetivo principal. En caso contrario, el proceso continúa hasta completar un máximo de cincuenta (50) iteraciones. Se establece un criterio de convergencia de 0.05 y se realiza una reevaluación del ruteo cada quince (15) minutos.

En relación con la red de análisis, se generan archivos de rutas y de itinerarios como resultado de cada escenario. Estos archivos se cargan en las matrices de viaje del proyecto para llevar a cabo una nueva simulación, teniendo en cuenta los parámetros obtenidos de las asignaciones dinámicas.

Los resultados presentados en el documento corresponden a las salidas de los modelos que se cargaron con los parámetros derivados de las asignaciones dinámicas.

Figura 23. Convergencia GAP.

Iteration	Convergence	Run Time
1	Seeding (1/10)...	0.35 min
2	Seeding (2/10)...	0.22 min
3	Seeding (3/10)...	0.27 min
4	Seeding (4/10)...	0.23 min
5	Seeding (5/10)...	0.24 min
6	Seeding (6/10)...	0.24 min
7	Seeding (7/10)...	0.23 min
8	Seeding (8/10)...	0.25 min
9	Seeding (9/10)...	0.25 min
10	Seeding (10/10)...	0.26 min
11	0.29%	0.28 min

Converged to Target: Yes
Convergence Threshold: 0.5%

Fuente: TransModeler 6.0.

7.1.3.5.6 Calibración de la red – hora pico

Se lleva a cabo una calibración de la red para verificar la consistencia del sistema simulado mediante la comparación de los flujos modelados por el software con los flujos registrados en campo. Para validar el modelo, se utilizaron dos movimientos y se presentan en la siguiente tabla los volúmenes vehiculares contabilizados en campo junto con los volúmenes modelados.

Tabla 23. Resultados de calibración en puntos de control

No.	INTERSECCIÓN	MOV	FLUJO VEHICULAR OBSERVADO	FLUJO VEHICULAR MODELADO	CALIBRACIÓN GEH		CALIBRACIÓN FLUJOS		
					GEH	ACEPTACIÓN	INT. 1	INT. 2	INT. 3
1	Av. Universitaria por Calle 49	N-S	833	851	0.6	1	-	1	-
2		S-N	1112	1145	1.0	1	-	1	-
3		S-W	63	94	3.5	1	1	-	-

No.	INTERSECCIÓN	MOV	FLUJO VEHICULAR OBSERVADO	FLUJO VEHICULAR MODELADO	CALIBRACIÓN GEH		CALIBRACIÓN FLUJOS		
					GEH	ACEPTACIÓN	INT. 1	INT. 2	INT. 3
4		W-N	96	114	1.8	1	1	-	-
5		N-W	74	58	2.0	1	1	-	-
6		W-S	222	208	1.0	1	1	-	-
7		S-S	16	18	0.5	1	1	-	-
8		N-S	1038	1020	0.6	1	-	1	-
9		S-N	1169	1241	2.1	1	-	1	-
10		E-W	8	6	0.8	1	1	-	-
11	Av. Universitaria	S-W	38	27	1.9	1	1	-	-
12	por Calle 47	N-W	33	23	1.9	1	1	-	-
13		S-E	97	87	1.0	1	1	-	-
14		W-S	48	35	2.0	1	1	-	-
15		E-N	22	19	0.7	1	1	-	-
16		N-S	892	846	1.6	1	-	1	-
17		S-N	1140	1183	1.3	1	-	1	-
18	Av. Universitaria	S-W	234	215	1.3	1	1	-	-
19	por Calle 41	W-N	164	156	0.6	1	1	-	-
20		N-W	194	198	0.3	1	1	-	-
21		W-S	211	206	0.3	1	1	-	-
22		N-S	1045	1038	0.2	1	-	1	-
23	Av. Universitaria	S-N	1374	1406	0.9	1	-	1	-
24	por Calle 40	S-W	81	64	2.0	1	1	-	-
25		N-W	58	40	2.6	1	1	-	-
26		W-S	102	81	2.2	1	1	-	-
			4,847	4,927	1.14	100%	100%	100%	-
			TOTAL OBSERVADO	TOTAL MODELADO	GEH	% ACEPTACIÓN	% ACEPTACIÓN INT. 1	% ACEPTACIÓN INT. 2	% ACEPTACIÓN INT. 3

2%
ERROR PRECISIÓN

✓	1	Flujos de arcos individuales
✓	2	Suma de todos los flujos por arco
✓	3	GEH para flujos por arco individual
✓	4	GEH para suma sobre flujos de arco
	1	Seleccione la opción
		Calibración del modelo aceptada

Fuente: Elaboración propia.

El estadístico GEH (Generalized Error Distribution) en tránsito es una medida utilizada para evaluar la precisión de las estimaciones de volúmenes de tráfico en modelos de transporte. Se basa en la comparación entre los volúmenes observados y los volúmenes predichos por el modelo.

$$GEH = \sqrt{\frac{(Vol_a - Vol_s)^2}{0.5(Vol_a + Vol_s)}}$$

El proceso de modelación utilizado arrojó un estadístico GEH de 1,14 y un error del 1,7%. Estos resultados se pueden verificar en el archivo adjunto en el medio magnético del

modelo. Se utilizó el criterio del GEH para validar el modelo en términos de flujos de arcos individuales, siguiendo las recomendaciones del US Department of Transportation - Federal Highway Administration (2004).

Además, se realizó una verificación comparando las velocidades registradas en la plataforma Google Maps con las velocidades modeladas. Los resultados de esta comparación se detallan en el informe. Esta verificación permite evaluar la precisión del modelo en términos de velocidad del tráfico y su correspondencia con la realidad observada en el campo.

Tabla 24 Resultados de calibración por velocidades

No.	TRAMO	SENTIDO	VELOCIDAD OBSERVADA	VELOCIDAD RESULTANTE MODELO	CALIBRACIÓN ALT 1		CALIBRACIÓN ALT 2	
					DIFERENCIA	ACEPTACIÓN	DIFERENCIA	ACEPTACIÓN
1	Av.	N-S	13.27	13.10	0.2	1	0.2	1
2	Universitaria	S-N	17.22	17.19	0.0	1	0.0	1

-
% ACEPTACIÓN ALT. 1

-
% ACEPTACIÓN ALT. 2

1	Velocidad promedio relativa a lo observado (10%)
2	Velocidad dentro del 15% de la velocidad observada

1	Seleccione la opción
Calibración del modelo no aceptada	

Fuente: Elaboración propia.

El criterio utilizado para la validación del modelo de velocidades se basó en comparar la velocidad estimada por el modelo con la velocidad medida en campo. Se estableció que la simulación sería aceptada si al menos el 85% de los registros de velocidad simulada se encontraban dentro de un rango del 15% en comparación con la velocidad medida en campo. Este criterio garantiza que la simulación de velocidades se ajuste adecuadamente a las condiciones reales de tráfico y proporciona una evaluación cuantitativa de la precisión del modelo.

7.1.3.5.7 Resultados del escenario de condiciones actuales

Los resultados de la situación actual, se presentan a continuación, se verifican parámetros como el número total de viajes, total de paradas, velocidad promedio, demoras y tiempo de viaje.

Tabla 25. Resultados generales en la red actual

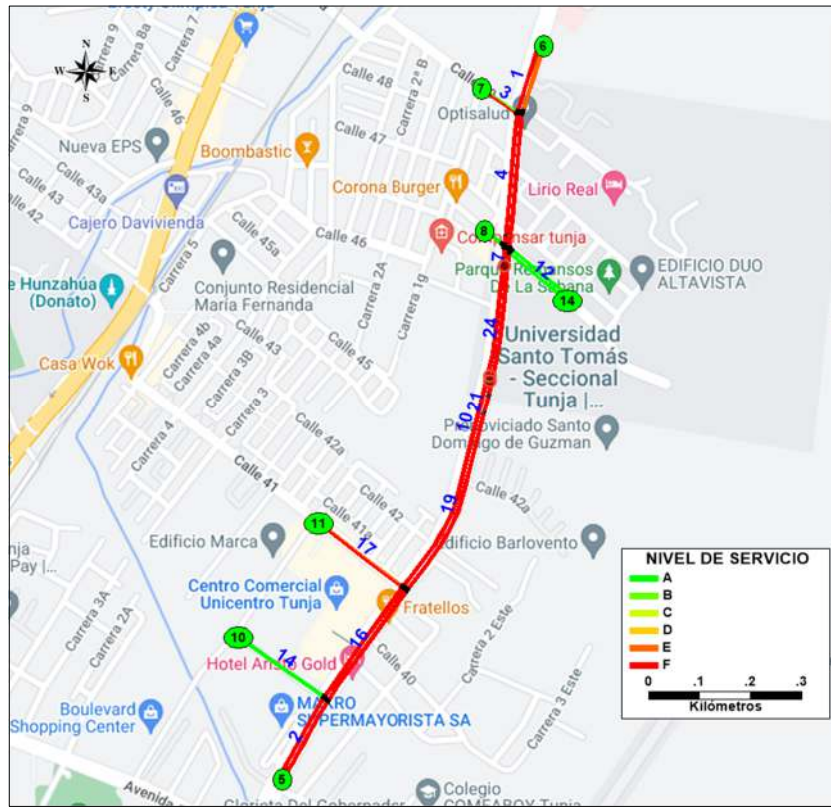
Indicador	Unidad	Promedio
Viajes	No.	3,040.00
Total Paradas	No.	8,636.00
VHT	Hr	269.36
Velocidad Promedio	Km/hr	18.38
Demora Promedio	Seg	46.25
Demanda Latente	No.	0.00
Tiempo de viaje Promedio	Seg	318.98

Fuente: Elaboración propia.

La tabla anterior presenta algunos indicadores relevantes sobre el desempeño de la red, tales como el número total de viajes atendidos satisfactoriamente (3.040), la velocidad promedio de la red (18,38Km/h) y el promedio de demoras en la red (46,25 segundos)

Como se aprecia en la siguiente Figura, el nivel de servicio determinado por densidad para la Av. Universitaria en la situación actual es de F. Esto se traduce en condiciones desfavorables del tránsito, en el cual puede presentarse congestión, inseguridad vial, demoras y aumentos en los tiempos de viaje.

Figura 24 Nivel de servicio (Densidad). Situación actual.



Fuente: TransModeler 6.0.

A continuación, se relacionan los resultados de nivel de servicio por intersección.

Tabla 26. Nivel de servicio por intersección (Demoras). Situación actual.

No do	Vehículos	Demoras	Promedio Demoras por vehículo(s)	Nivel de Servicio	Tipo de control	Intersección
1	1128	8.422715	26.881006	D	Stop	Av. Universitaria CW
2	1399	11.245097	28.936632	D	Stop	Av. Universitaria CE
9	2576	18.355029	25.651438	D	Stop	Calle 49, Av. Universitaria CE & Av. Universitaria CW
13	2578	4.093967	5.716944	A	Stop	Calle 47, Av. Universitaria CW & Av. Universitaria CE
15	2743	1.986013	2.606507	A	Stop	Calle 40, Av. Universitaria CE & Av. Universitaria CW
18	2970	31.760734	38.497859	D	Pretimed	Calle 41, Av. Universitaria CE & Av. Universitaria CW

Fuente: TransModeler 6.0.

Los niveles de servicio establecidos por demoras en las intersecciones controladas por dispositivos semafóricos y reguladas por la señal de pare, son medianamente aceptables. El semáforo ubicado en la Av. Universitaria por Calle 41, presenta un nivel de servicio D, es decir demoras superiores a los 35 segundos al igual que la intersección de la Calle 49.

Con respecto a las longitudes de colas, a continuación, se presenta el resumen para la situación actual.

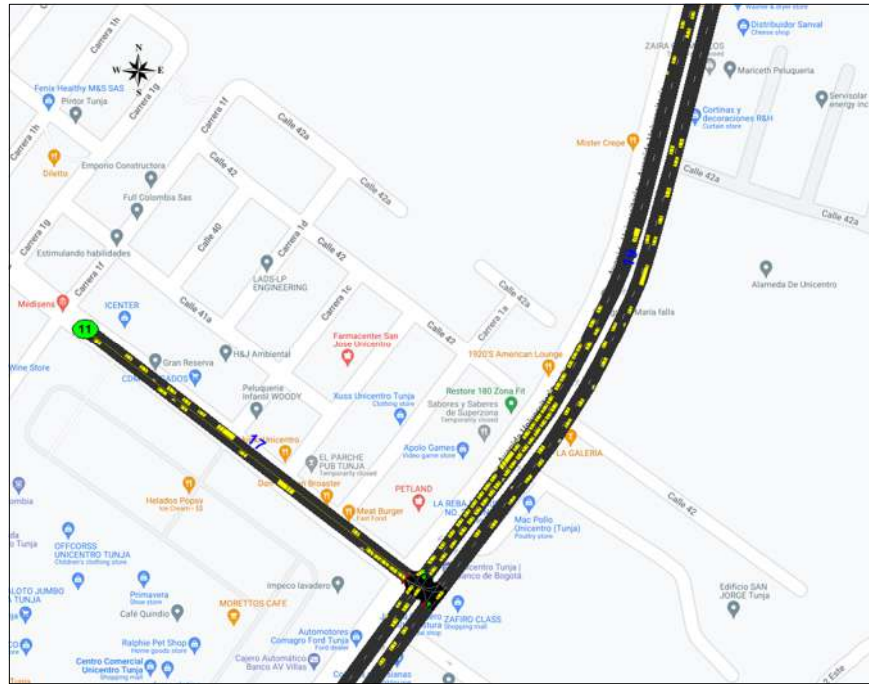
Tabla 27. Longitud de colas.

Nodo	Link	Vía	Cola promedio (m)	Vehículos promedio	Máxima cola (m)	Máximo vehículos en cola
9	1	Av. Universitaria CW	45.76	12	96.77	23
15	2	Av. Universitaria CE	11.62	2	68.92	13
9	3	Calle 49	12.29	2	54.10	8
13	6	Av. Universitaria CW	38.83	9	132.59	38
13	7	Av. Universitaria CE	51.16	11	133.17	27
13	8	Calle 47	0.22	0	4.24	1
18	10	Av. Universitaria CW	79.14	19	162.64	52
9	11	Av. Universitaria CE	38.08	8	85.06	21
13	13	Calle 47	0.42	0	8.65	1
15	14	Calle 40	1.43	0	9.70	2
18	16	Av. Universitaria CE	37.41	7	118.98	23
18	17	Calle 41	36.96	7	88.92	15
15	18	Av. Universitaria CW	1.45	0	28.82	3

Fuente: Pantallazo TransModeler 6.0.

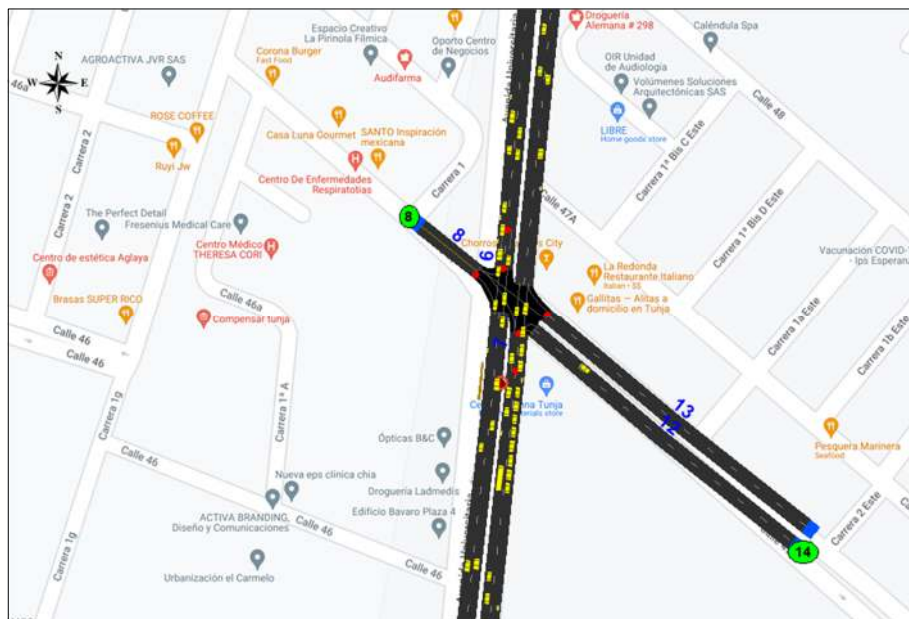
Las longitudes de colas de la calzada oriental de la Av. Universitaria por Calle 47 superan los 133 m y en la calzada occidental llega casi hasta los 132 m. Esta situación se agudiza a la altura de la Calle 41, en la intersección controlada por semáforo, la cual el acceso Occidental supera los 119 m. y la calzada oriental los 160 m.

Figura 25. Simulación de la operación del tránsito en la Av. Universitaria por Calle 41 – tiempo simulado: 30 minutos



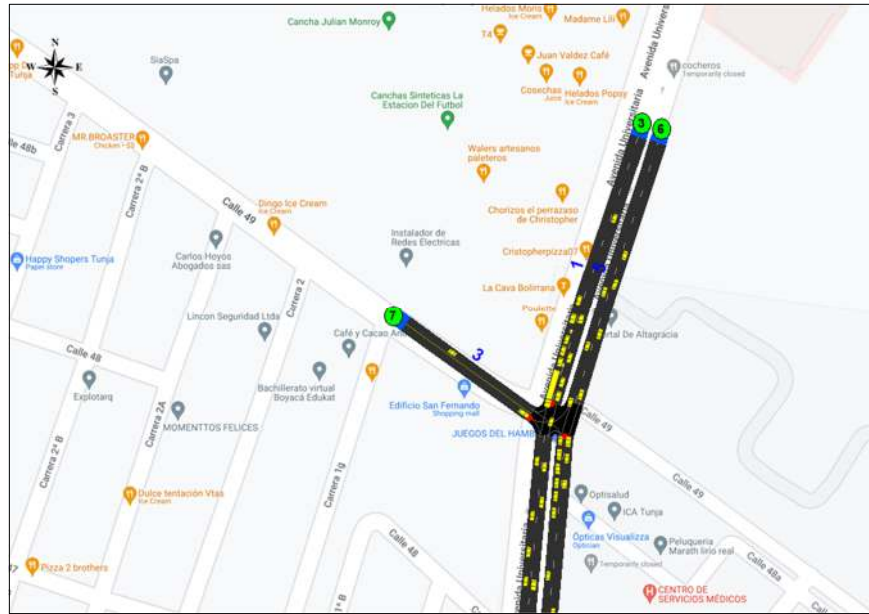
Fuente: Elaborado a partir de TransModeler 6.0

Figura 26. Simulación de la operación del tránsito en la Av. Universitaria por Calle 47 – tiempo simulado: 30 minutos



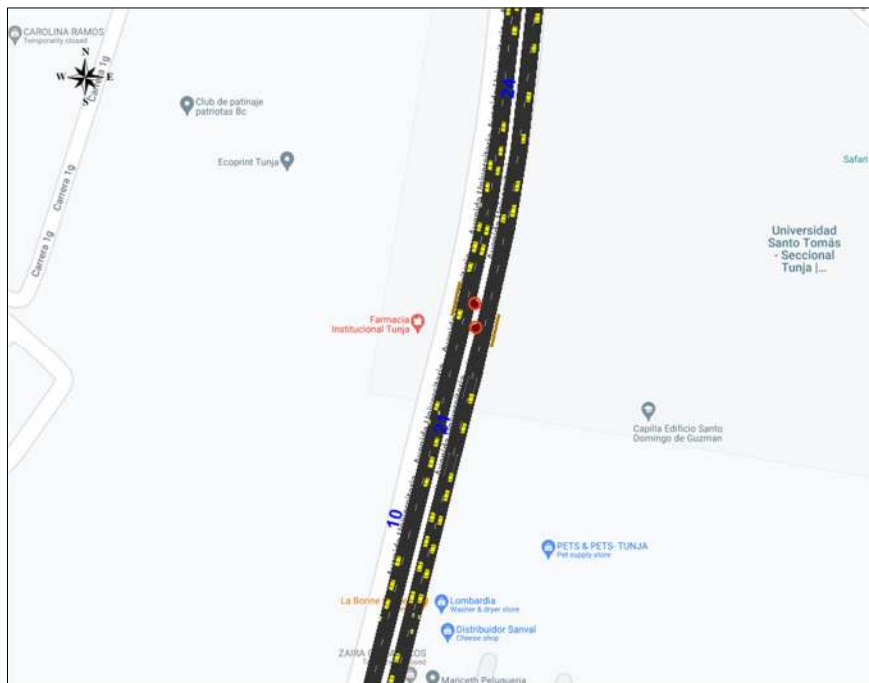
Fuente: Elaborado a partir de TransModeler 6.0

Figura 27. Simulación de la operación del tránsito en la Av. Universitaria por Calle 49 – tiempo simulado: 30 minutos



Fuente: Elaborado a partir de TransModeler 6.0

Figura 28. Simulación de la operación del tránsito en la Av. Universitaria por Calle 45– tiempo simulado: 30 minutos



Fuente: Elaborado a partir de TransModeler 6.0

En la Calle 49, los niveles de servicio determinados por las demoras se reflejan también en las longitudes de colas experimentadas en la calzada oriental y occidental, en donde llegan hasta los 100 m. Este punto en específico presenta grandes conflictos en la operación del tránsito en la zona. Los altos flujos vehiculares y presencia de peatones atraídos por el centro comercial Viva Tunja hacen pensar en la evaluación de dispositivos de control de tráfico, para lo cual se debe verificar las especificaciones técnicas establecidas en el Manual de Señalización vial adoptado mediante resolución del 2015

En el acceso al campus de la Universidad Santo Tomás de Tunja, se evidencia un flujo continuo de vehículos imposibilitando el cruce de peatones, sin embargo, la situación presentada en campo, evidencia que los usuarios realizan esta maniobra a riesgo, aun cuando los niveles de servicio y resultados de la microsimulación demuestran que esta acción no es posible. Se deberá entonces, verificar dispositivos que permitan mejorar las condiciones de seguridad de los peatones al realizar estas maniobras.

7.1.3.6 Análisis de colas para el acceso al campus universitario

Las colas en los accesos a un equipamiento pueden llegar a ser conflictivas si estas superan el espacio de acumulación que dispone la infraestructura o si el tiempo de los usuarios en el sistema es tal, que afectan las vías de la malla vial aferente, ocasionando congestión, disminución en la velocidad y condiciones de inseguridad vial. Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó un análisis de colas para el acceso al campus universitario en el periodo pico de máxima demanda registrado en la toma de información.

Para ello, se empleó la metodología de poisson la cual estudia el número de eventos que llegan a un punto en el tiempo, la distribución de tiempo entre eventos, el tiempo de servicio y el tiempo de espera en una cola. El objetivo es determinar la capacidad de un sistema para

atender la demanda de eventos y establecer las tasas de llegada y servicio óptimas para minimizar el tiempo de espera y maximizar la eficiencia del sistema.

Con base en las observaciones de campo, se estableció que la tasa de atención de la portería del campus, es de 60 segundos. De esta manera, se realizó el análisis de colas que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 28. Análisis de colas para el acceso al campus de la Universidad Santo Tomás de Tunja

Variable	No.	Acceso Universidad Santo Tomás
Tasa de Atención (s)	s	60
Tasa de llegada	λ	29
Canales e Servicio	P	1
Tasa de Atención (Veh/Hr)	μ_i	60
Tasa de Atención total	μ	60
Factor de congestión	ρ	0.48
Cientes en Cola	$Q=\rho^2/(1-\rho)$	1
Cientes en el Sistema	$\mu R=\rho/(1-\rho)$	1
Tiempo en el Cola	$\mu T=1/(m-\lambda)$	0.03
Tiempo en Sistema	$\mu W=\rho/(m-\lambda)$	0.02
Longitud de cola (m)	Lc	7

Fuente: Elaboración propia.

7.2 Propuestas de mejoramiento de la malla vial y accesibilidad de los usuarios

Las propuestas de mejora para la operación de la malla vial y la seguridad de los usuarios se centran en abordar los conflictos identificados durante el análisis de la situación actual. Estas propuestas incluyen:

- Mejorar los niveles de servicio y la operación de las intersecciones en la Avenida Universitaria en las intersecciones con la Calle 49 y la Calle 47. Esto implicaría implementar medidas para optimizar el flujo de tráfico y reducir los congestionamientos en estas intersecciones.

-
- Garantizar la seguridad vial en los cruces de peatones en la Avenida Universitaria, especialmente en la zona de la Calle 45 o acceso al campus universitario. Esto podría involucrar la instalación de señalización adecuada, pasos de peatones seguros y otras medidas para proteger a los peatones durante sus maniobras de cruce.
 - Mejorar las condiciones de señalización vial en el corredor de la Avenida Universitaria entre las Calles 41 y 49. Esto implica revisar y actualizar la señalización existente, asegurando que sea clara, visible y cumpla con los estándares de seguridad vial.

Además, se destaca que, durante el análisis de la situación actual en el acceso vehicular al campus de la Universidad Santo Tomás, las longitudes de cola en esta área no eran lo suficientemente largas como para afectar significativamente la operación de la malla vial arterial. Sin embargo, se deberá evaluar regularmente las condiciones en el tiempo y considerar los escenarios futuros para asegurar que estas condiciones se mantengan.

7.2.1 Determinación de dispositivos para cruces peatonales.

los dispositivos peatonales son instalados en las vías públicas con el propósito de permitir a los peatones y ciclistas cruzar las calzadas de manera segura, especialmente cuando hay altos flujos vehiculares que representan un riesgo para esta maniobra. Estos dispositivos se clasifican en diferentes tipos, como paso cebra, paso con refugio peatonal, paso cebra regulado por semáforo y pasos peatonales a desnivel, como puentes peatonales o pasos subterráneos.

Teniendo en consideración los criterios de accesibilidad y comunicación establecidos en la Resolución 1885 de 2015 Manual de Señalización Vial, a continuación, se relaciona la evaluación PV².

Tabla 29. Determinación del dispositivo para el paso peatonal

ID Intersección	Periodo	P	V	PV ²	Condición	PV ²
Av. Universitaria por Calle 49	17:15-18:15	289	1256	4.56E+08	Paso con Semáforo	
Av. Universitaria por Calle 45	17:15-18:15	292	1202	4.22E+08	Paso con Semáforo	

Fuente: Elaboración propia.

7.2.2 Validación de la implementación de Semáforo

Se empleó la metodología definida en el Manual de Señalización Vial del año 2015, para la validación de la implementación del cruce semaforizado. Para ello se tuvieron en cuenta los volúmenes vehiculares y peatonales registrados para la intersección de la Av. Universitaria por Calle 49.

Tabla 30. Validación de la implementación de cruce semaforizado en la Av. Universitaria por Calle 49

Parámetro	Indicador (Hora de Mayor Demanda)	Cumple	Tiempo (h)	%	Semáforo	
Requisito	Valor					
Vehículos Calle principal	600	2413	Si	13.25	1	Semáforo
Vehículos Calle secundaria	150	290	Si	13.25	1	
Vehículos Calle principal	900	2413	Si	13.25	1	Semáforo
Vehículos Calle secundaria	75	290	Si	13.25	1	
Vehículos intersección	1600	2658	Si	N/A	1	Semáforo
Peatones Calle principal	250	289	Si	N/A	1	
Sistema progresivo de semáforos	-	-	-	N/A	1	Semáforo
Otra solución	-	No se ha implementado	No	N/A	1	
Accidentes	5	No se tiene registro	No	N/A	1	Semáforo
					100.0%	
Condición A Principal	480	2413	Si	13.25	1	Semáforo

Condición A Secundaria	120	290	Si	10.75	1
Condición B Principal	720	2413	Si	13.25	1
Condición B Secundaria	60	290	Si	13.25	1
Condición C Veh	1280	2658	Si	13.25	1
Condición C Peat	200	289	Si	N/A	1
					100.0%

Fuente: Elaboración propia.

7.2.3 Mejoras en la infraestructura y señalización vial

La señalización vial busca garantizar la seguridad y movilidad de los actores de la vía, así como organizar el tráfico vehicular y peatonal en las vías públicas mediante dispositivos de información que orienten a los usuarios sobre las condiciones de la vía y los peligros que pueda encontrar, indicar las restricciones de velocidad y de circulación.

De esta manera, se organizó el diseño de la Avenida Universitaria se realizó teniendo en cuenta los principios fundamentales de seguridad vial, como la prevención, información y gestión del tráfico. El diseño de la infraestructura se muestra en el anexo 1, donde se destaca su claridad y coherencia.

Considerando los niveles de servicio determinados en el análisis de la situación actual, se propone mejorar la infraestructura peatonal existente o implementar nueva infraestructura en los tramos donde se identifiquen condiciones de inseguridad y falta de accesibilidad universal para los peatones. Específicamente, se plantea la creación de una franja de circulación peatonal continua en ambos lados de la Avenida Universitaria entre las Calles 41 y 49. Esta franja debe tener un ancho efectivo mínimo de 2.0 metros, siguiendo las recomendaciones de la cartilla de espacio público para la ciudad de Bogotá D.C.

7.3 Evaluación integral de la operación del tránsito en los escenarios de proyección de crecimiento a 5 y 10 años

Luego de determinar las propuestas de mejoramiento de la malla vial para la circulación del tránsito de los modos motorizados y no motorizados, se realizó un comparativo con la situación actual vs las condiciones propuestas y su eficacia en el tiempo.

Se emplearon las tasas definidas en el numeral 3.5.1, del 3,29% para el crecimiento vehicular y del 0,80% para el crecimiento peatonal.

Tabla 31. Niveles de servicio infraestructura peatonal para el año 5 y año 10

Tramo	Andén	Ancho total de andén	AM - año 5 Nivel de Servicio	PM - año 5 Nivel de Servicio	AM - año 10 Nivel de Servicio	PM - año 10 Nivel de Servicio
AVENIDA UNIVERSITARIA	W	2	A	A	A	A
ENTRE CALLE 47 Y CALLE 49	E	2	A	A	A	A
CALLE 49 ENTRE 1A ESTE Y	N	1.35	A	A	A	A
AVENIDA UNIVERSITARIA	S	2	A	A	A	A
AVENIDA UNIVERSITARIA	W	2	A	A	A	A
ENTRE CALLE 41 Y CALLE 47	E	3.8	A	A	A	A
AVENIDA UNIVERSITARIA	W	6.2	A	A	A	A
ENTRE CALLE 40 Y CALLE 41	E	3.3	A	A	A	A
CALLE 40 ENTRE 1A ESTE Y	N	1.1	A	A	A	A
AVENIDA UNIVERSITARIA	S	1.8	A	A	A	A

Fuente: Elaboración propia.

Se evidencia que los niveles de servicio de la infraestructura peatonal para los años 5 y 10 se mantienen óptimos con la adecuación de las franjas de circulación peatonal dejando un ancho efectivo mínimo de 2.0 m

El acceso al campus de la Universidad Santo Tomás sobre la Av. Universitaria actualmente presenta condiciones de operación favorables con un cliente en el sistema. La evaluación de los escenarios año 5 y año 10, parte de la proyección del tránsito, para lo cual se consultaron las cifras reportadas por el Ministerio de Educación, a través del análisis de matrícula de educación superior año 2021. En el cual se relaciona un crecimiento de estudiantes matriculados frente al año 2020.

Tabla 32. Crecimiento porcentual de estudiantes matriculados en educación superior para el año 2021 frente al año 2020.

Tipo	Crecimiento
Pregrado	3.7
Técnicos	7.5
Tecnólogos	6.2
Universitarios	2.5
Especialización	3.8
Maestría	12.9
Doctorado	7.9
Promedio	6.4

Fuente: Elaboración propia a partir de cifras reportadas por Ministerio de Educación de Colombia

Empleando la tasa promedio del 6,4% para la proyección del crecimiento de la Universidad Santo Tomás, se realizaron los análisis para los años 5 y 10 en el acceso vehicular del campus por la Avenida Universitaria.

Tabla 33. Longitud de colas para el acceso al campus de la Universidad Santo Tomás, años 5 y 10.

Variable	No.	Actual	Año 5	Año 10
Tasa de Atención (s)	s	60	60	60
Tasa de llegada	λ	29	40	55
Canales e Servicio	P	1	1	1
Tasa de Atención (Veh/Hr)	μ_i	60	60	60
Tasa de Atención total	μ	60	60	60
Factor de congestión	ρ	0.48	0.67	0.92
Clientes en Cola	$Q=\rho^2/(1-\rho)$	1	2	11
Clientes en el Sistema	$\mu R=\rho/(1-\rho)$	1	3	12
Tiempo en el Cola	$\mu T=1/(m-\lambda)$	0.03	0.05	0.20
Tiempo en Sistema	$\mu W=\rho/(m-\lambda)$	0.02	0.03	0.18
Longitud de cola (m)	Lc	7	21	84

Fuente: Elaboración propia.

El acceso al campus universitario para el año 5 presenta 3 clientes en el sistema, lo cual se traduce en una longitud de cola de 21 metros, considerando que la longitud de acumulación

de vehículos para el acceso al campus es de 65 m hasta entrar en conflicto con la franja de circulación peatonal y de 70 m hasta la malla vial arterial, para el año 10 se deberá adicionar un canal de atención de manera que la longitud de cola generada demanda de vehículos que desean ingresar en la hora pico no entre en conflicto con la malla vial arterial, evitando la congestión y minimizando las condiciones de inseguridad para los peatones por la ocupación de la franja de circulación peatonal.

7.3.1 *Escenario base*

Para determinar la eficacia en el tiempo y la validación de los cruces semaforizados planteados con base en las metodologías del Manual de Señalización Vial, se parte del escenario base, el cual mantiene la oferta y demanda del escenario actual con la incorporación del semáforo en la Av. Universitaria por Calle 49.

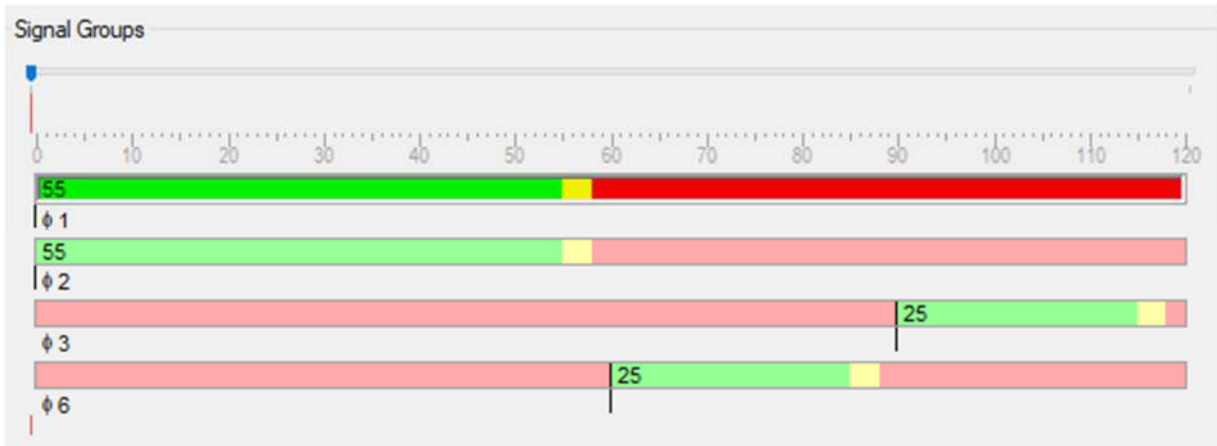
Considerando la morfología de la intersección a semaforizar, los flujos que se permiten en la intersección y las trayectorias de los usuarios, se plantea un ciclo de 120 segundos con 3 fases. Una primera fase en la cual se per

Tabla 34. Ciclo semafórico para la Av. Universitaria por Calle 49.

Intersección	Fase	Grupos
A. Universitaria por Calle 49}	1	1, 2, 23
	2	2, 6, 21
	3	3, 21, 22

Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Planeamiento semafórico de la Av. Universitaria por Calle 49



Fuente: Elaborado a partir de TransModeler 6.0

Una vez definidas las fases y los tiempos semafóricos de la intersección evaluada, se verifica el comportamiento general de la red.

Tabla 35. Resultados de desempeño de la red escenario base

Indicador	Unidad	Base
Viajes	No.	3,028.00
Total Paradas	No.	8,434.00
VHT	Hr	266.34
Velocidad Promedio	Km/hr	14.86
Demora Promedio	Seg	45.54
Demanda Latente	No.	0.00
Tiempo de viaje Promedio	Seg	316.65

Fuente: Elaboración propia.

La tabla anterior muestra algunos indicadores relevantes sobre el rendimiento de la red, como el número total de viajes atendidos satisfactoriamente (3.028), la velocidad promedio de la red (14,86 Km/h) y el promedio de demoras en la red (45,54 segundos).

Comparado con la situación actual se evidencia una disminución en la velocidad de operación del 14%, sin embargo, las demoras generales se mantienen al igual que los viajes completados. Una reducción de la velocidad es comprensible si se tiene en cuenta que la

incorporación del semáforo, sin embargo, las demoras experimentadas por los usuarios y los viajes completados en el periodo de análisis se mantiene en comparación con el escenario actual.

7.3.2 Escenario año 5

Utilizando las tasas de crecimiento determinadas para los flujos motorizados del 4,35% anual, se proyectó el tránsito y se validaron los resultados generales de desempeño de la red vial.

Tabla 36. Resultados de desempeño de la red escenario año 5

Indicador	Unidad	Año 5
Viajes	No.	3,394.00
Total Paradas	No.	11,796.00
VHT	Hr	403.52
Velocidad Promedio	Km/hr	11.44
Demora Promedio	Seg	71.38
Demanda Latente	No.	0.00
Tiempo de viaje Promedio	Seg	428.01

Fuente: Elaboración propia.

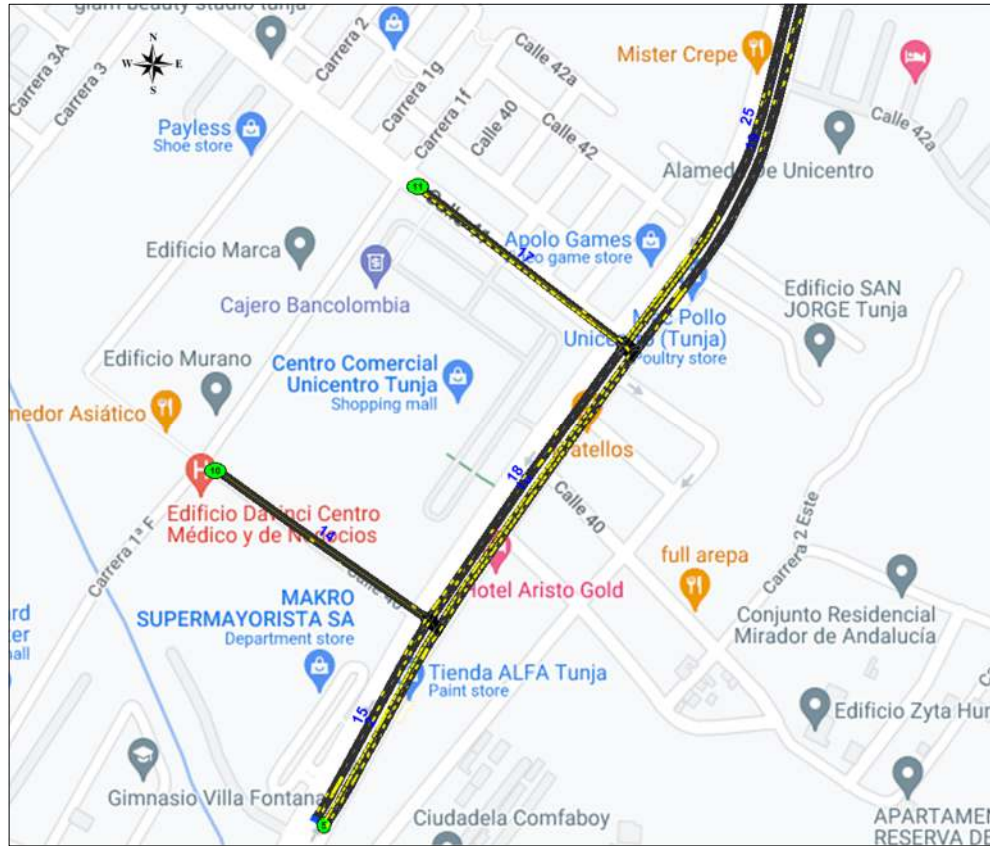
La tabla proporciona una visión general de los indicadores clave de rendimiento de la red de transporte analizada. Se observa que el total de viajes atendidos satisfactoriamente por la red es de 3.394. La velocidad promedio de la red en general es de 11,44 km/h, mientras que las demoras promedio en la red se sitúan en 71,38 segundos.

Al comparar estos resultados con el escenario base, se nota una disminución en la velocidad de operación de la red, pasando de 14,86 km/h a 11,44 km/h. Además, las demoras presentadas aumentan de 45,54 segundos a 71,38 segundos. Estos hallazgos indican la presencia de congestiones en la intersección de la Avenida Universitaria por la Calle 41.

En resumen, los indicadores reflejan un rendimiento menos eficiente en la red de transporte analizada en comparación con el escenario base, principalmente debido a una

disminución en la velocidad y un aumento en las demoras, especialmente en la mencionada intersección.

Figura 30. Desempeño de la red vial – Escenario año 5



Fuente: Elaborado a partir de TransModeler 6.0

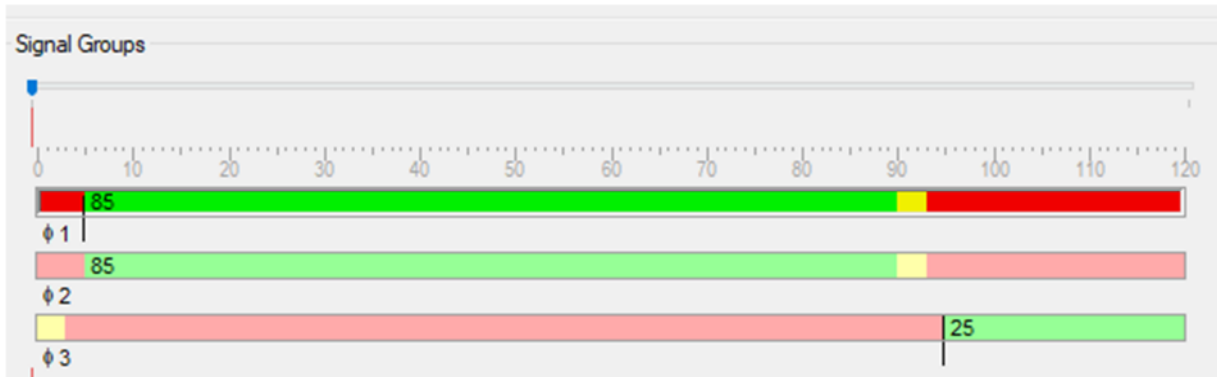
Las longitudes de cola presentadas para el acceso 2 de la intersección de la Av. Universitaria por Calle 41 superan la malla vial modelada, lo cual llega a afectar la totalidad del corredor.

Considerando lo anterior se evaluaron alternativas para mitigar el desempeño negativo del tránsito en la malla vial.

Alternativa 1: Cambio a único sentido de circulación W-E en la Calle 41 y de E-W en la Calle 40 entre Carrera 1ª F a la Av. Universitaria, se propone regulación con dispositivo

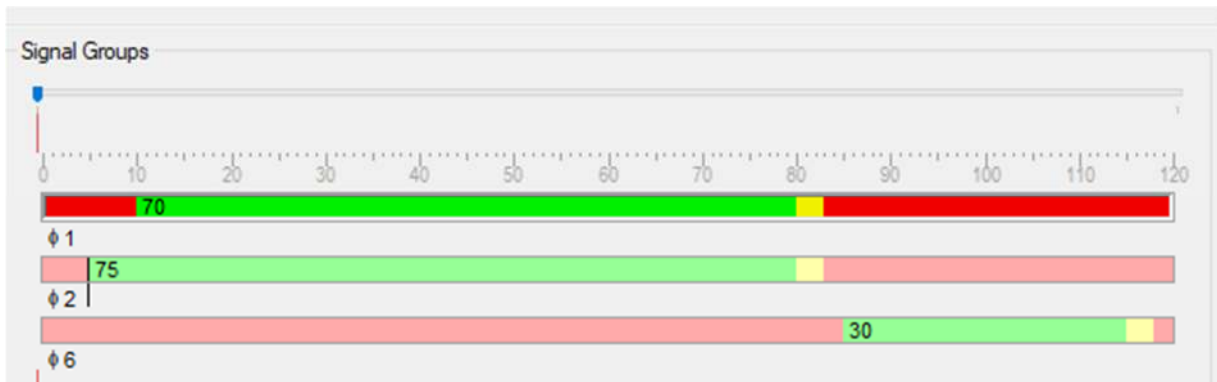
semafórico en la Av. Universitaria por Calle 40 y se reconfigura el planeamiento de la Av. Universitaria por Calle 41

Figura 31. Planeamiento semafórico de la Av. Universitaria por Calle 41 – Escenario año 5 – alternativa 1



Fuente: Elaborado a partir de TransModeler 6.0

Figura 32. Planeamiento semafórico de la Av. Universitaria por Calle 40 – Escenario año 5 – alternativa 1



Fuente: Elaborado a partir de TransModeler 6.0

A continuación, se presentan los resultados de desempeño de la red vial para el escenario año 5 alternativa 1

Tabla 37. Resultados de desempeño de la red escenario año 5 – alternativa 1

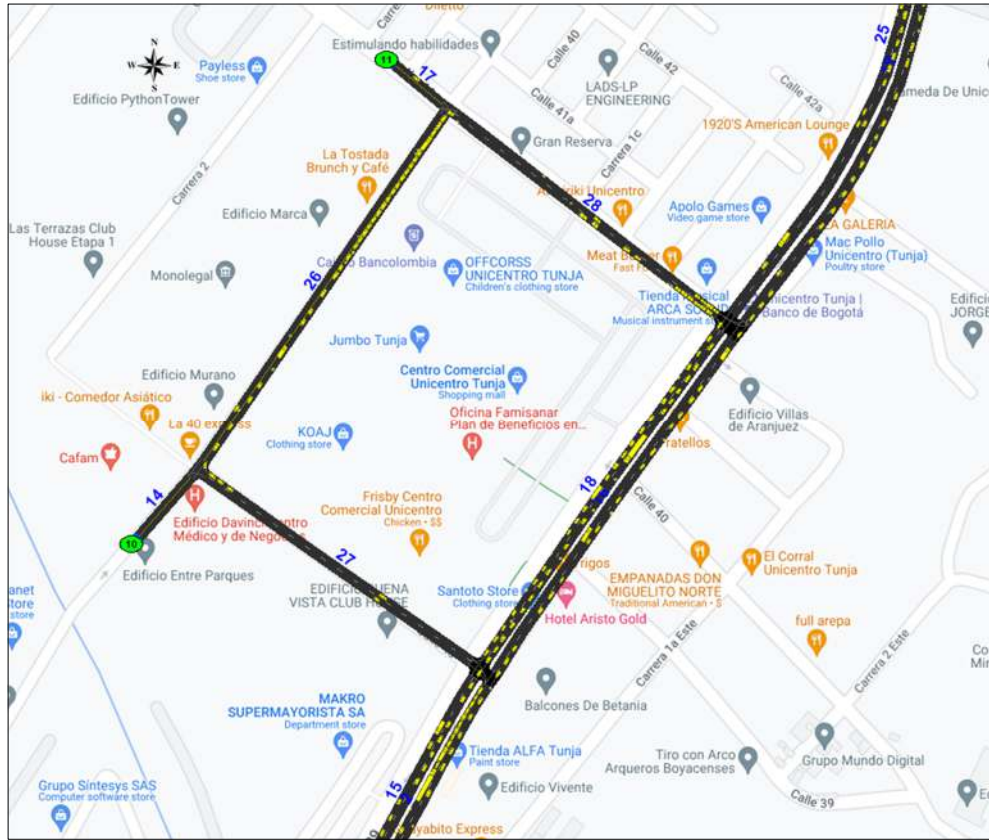
Indicador	Unidad	Año 5 - Alt 1
Viajes	No.	3,597.00
Total Paradas	No.	12,524.00
VHT	Hr	375.32
Velocidad Promedio	Km/hr	13.36
Demora Promedio	Seg	56.41
Demanda Latente	No.	0.00
Tiempo de viaje Promedio	Seg	375.63

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la tabla revela varios indicadores importantes sobre el rendimiento de la red de transporte. El total de viajes atendidos de manera satisfactoria por la red es de 3.597, lo que indica una capacidad adecuada para satisfacer la demanda de transporte. La velocidad promedio de la red es de 13,36 Km/h, lo cual sugiere un flujo de tráfico relativamente fluido. Sin embargo, las demoras promedio en la red son de 56,41 segundos, lo que indica la presencia de congestiones en ciertas áreas.

La implementación de la alternativa 1 ha logrado mejoras en comparación con las condiciones de operación normales en la malla vial. Sin embargo, aún persisten congestiones en la intersección de la Carrera 1A F por Calle 41. Esto puede requerir medidas adicionales, como ajustes en los tiempos de semáforos o la reconfiguración de la infraestructura vial, para aliviar la congestión y mejorar el flujo de tráfico en esa área específica

Figura 33. Desempeño de la red vial – Escenario año 5 – Alternativa 1



Fuente: Elaborado a partir de TransModeler 6.0

Si bien las colas presentadas en la intersección de la Carrera 1ª F por Calle 41 no superan el segmento de acumulación, la percepción del desempeño de la intersección repercute en las demoras experimentadas por los usuarios.

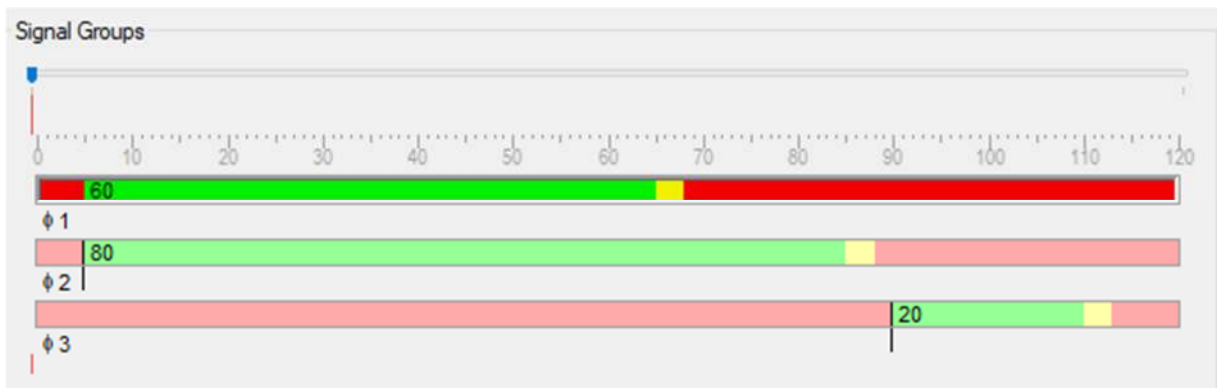
Alternativa 2: Cambio a único sentido de circulación E-W en la Calle 41 y de W-E en la Calle 40 entre Carrera 1ª F a la Av. Universitaria, se propone regulación con dispositivo semafórico en la Av. Universitaria por Calle 40 y se reconfigura el planeamiento de la Av. Universitaria por Calle 41

Figura 34. Planeamiento semafórico de la Av. Universitaria por Calle 41 – Escenario año 5 – alternativa 2



Fuente: Elaborado a partir de TransModeler 6.0

Figura 35. Planeamiento semafórico de la Av. Universitaria por Calle 40 – Escenario año 5 – alternativa 2



Fuente: Elaborado a partir de TransModeler 6.0

A continuación, se presentan los resultados de desempeño de la red vial para el escenario año 5 alternativa 2

Tabla 38. Resultados de desempeño de la red escenario año 5 – alternativa 2

Indicador	Unidad	Año 5 - Alt 2
Viajes	No.	3,565.00
Total Paradas	No.	10,475.00
VHT	Hr	362.29
Velocidad Promedio	Km/hr	13.48
Demora Promedio	Seg	54.38
Demanda Latente	No.	0.00

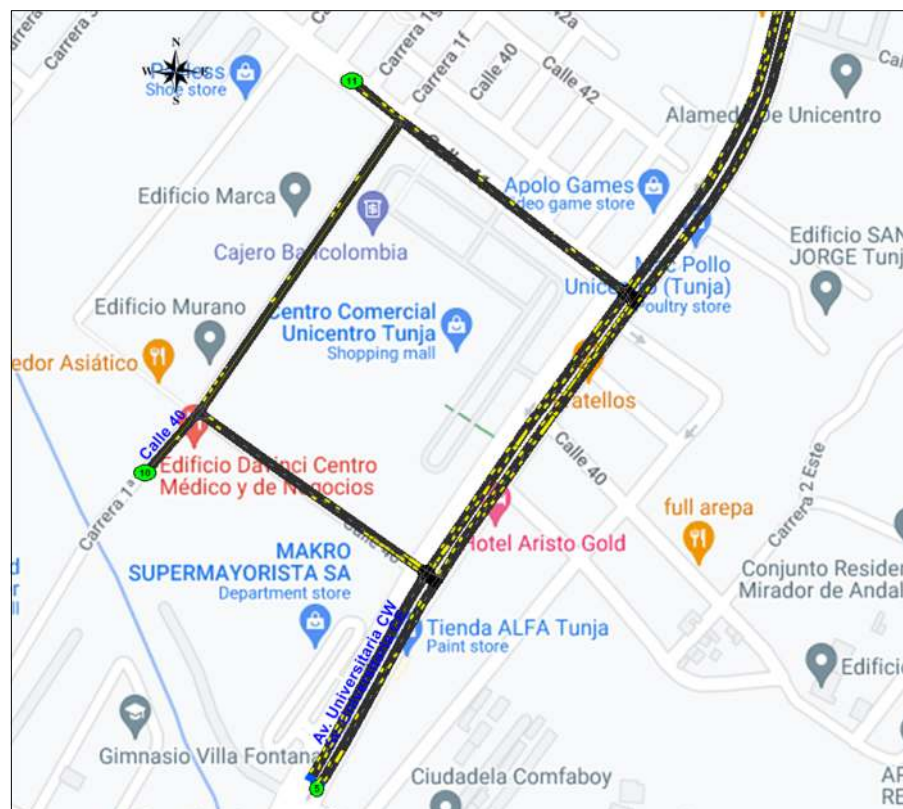
Tiempo de viaje Promedio	Seg	365.85
--------------------------	-----	--------

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la tabla revela varios indicadores clave sobre el desempeño de la red de transporte. El total de viajes atendidos de manera satisfactoria por la red es de 3.565, lo que indica que la red ha sido capaz de satisfacer la demanda de transporte de manera efectiva.

La velocidad promedio de la red es de 13,48 Km/h, lo cual sugiere que el flujo de tráfico en general es relativamente fluido. Sin embargo, las demoras promedio en la red son de 54,38 segundos, lo que indica que aún existen áreas de congestión o puntos de retención que pueden afectar los tiempos de viaje.

Figura 36. Desempeño de la red vial – Escenario año 5 – Alternativa 2



Fuente: Elaborado a partir de TransModeler 6.0

La alternativa 2 presenta mejoras con respecto a las condiciones de operación normales en la malla vial y a la alternativa 1, si se consideran las demoras y velocidad de operación, los resultados de las 2 alternativas son bastante similares, sin embargo, en la alternativa 2 no presentan congestiones en la intersección de la Carrera 1ª F por Calle 41 generando una mejor circulación y desempeño de la red vial evitando la percepción de las congestiones de la alternativa 1.

7.3.3 Escenario año 10

Finalmente, tomando la alternativa 2 del escenario del año 5 y proyectando los flujos hasta el año 10, se realizó la evaluación del desempeño de la red vial y las propuestas de mejoramiento incorporadas en la operación de la malla vial.

Tabla 39. Resultados de desempeño de la red escenario año 10

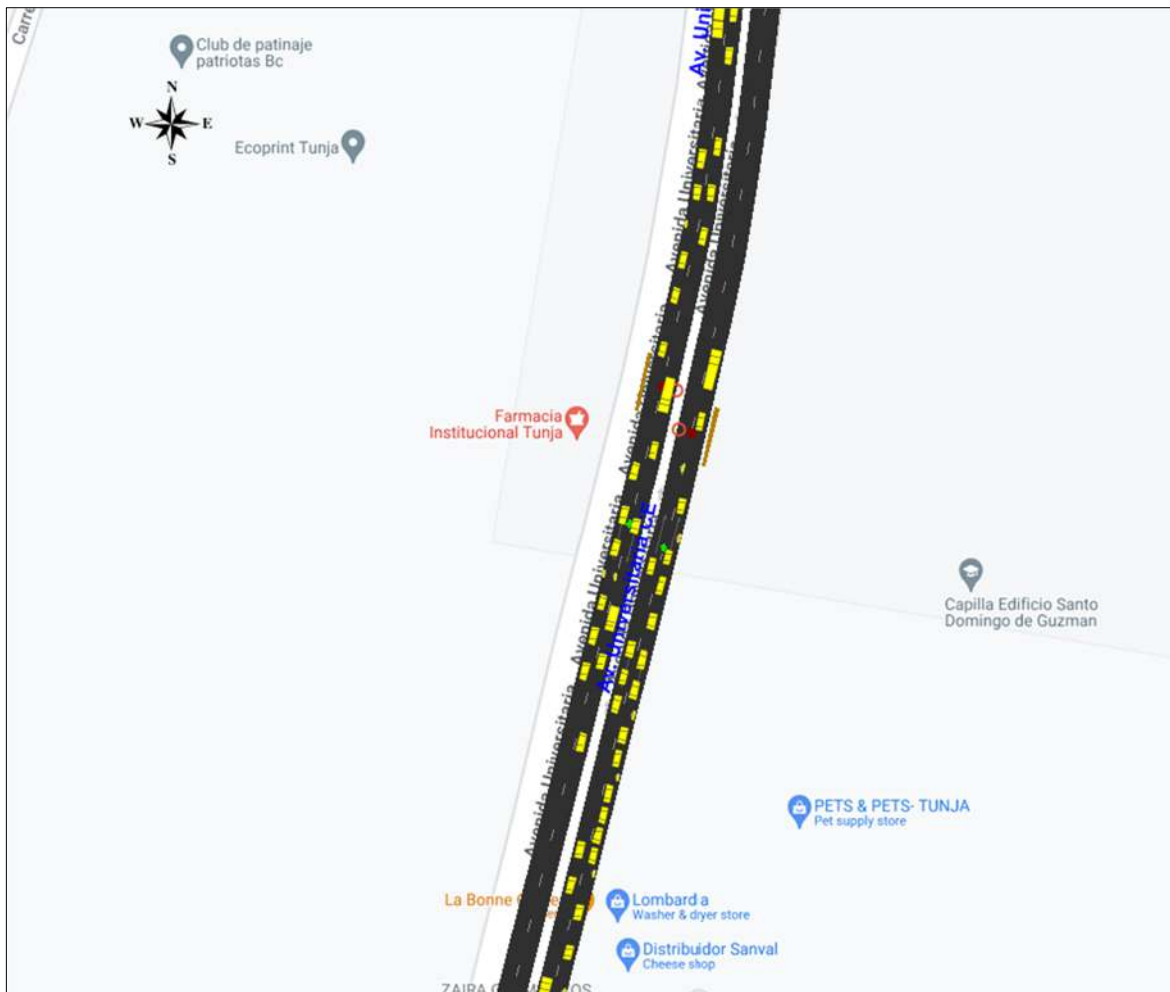
Indicador	Unidad	Año 10 - Alt 2
Viajes	No.	3,581.00
Total Paradas	No.	16,725.00
VHT	Hr	625.22
Velocidad Promedio	Km/hr	8.56
Demora Promedio	Seg	137.92
Demanda Latente	No.	0.00
Tiempo de viaje Promedio	Seg	628.54

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la tabla revela algunos indicadores preocupantes sobre el desempeño de la red de transporte. El total de viajes atendidos de manera satisfactoria por la red es de 3.581, lo que sugiere que la red está logrando gestionar la demanda de transporte en cierta medida.

En el escenario año 10 de operación, se evidencia gran congestión en la Av. Universitaria entre las Calles 41 y 40, Calle 41 entre Carrera 1ª F y Av. Universitaria. La velocidad de operación se reduce más del 67% en comparación con el escenario base, la demanda latente supera el 33% y las demoras aumentan un 74%.

Figura 38. Desempeño de la red vial semáforo peatonal propuesto para el cruce en el acceso al campus Universitario – Escenario año 10



Fuente: Elaborado a partir de TransModeler 6.0

El semáforo peatonal propuesto para el cruce frente al campus universitario mantiene una operación aceptable con un nivel de servicio A, longitud de colas de máximo 220 metros para el acceso Norte y 160 metros para el acceso Sur

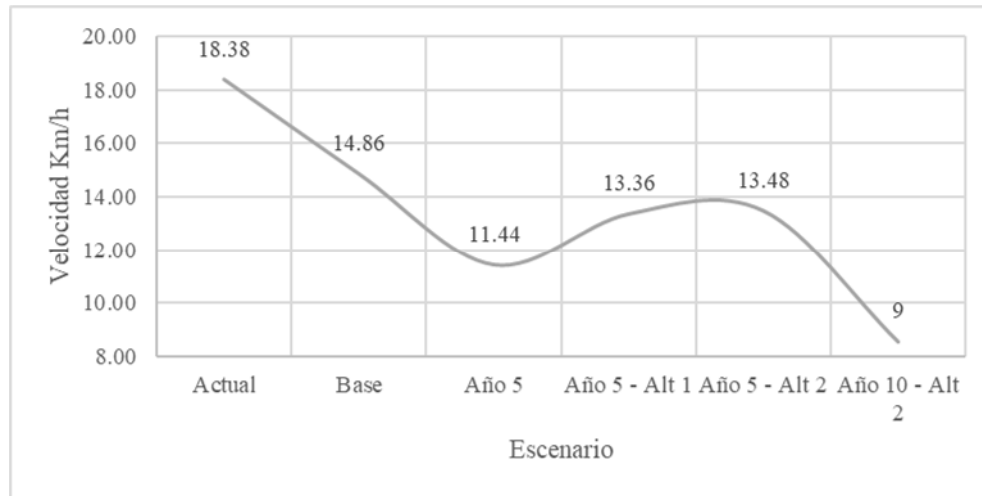
Tabla 40. Comparación del desempeño de la red vial

Indicador	Unidad	Actual	Base	Año 5	Año 5 - Alt 1	Año 5 - Alt 2	Año 10 - Alt 2
Viajes	No.	3,040	3,028	3,394	3,597	3,565	3,581
Total Paradas	No.	8,636	8,434	11,796	12,524	10,475	16,725
VHT	Hr	269.36	266.34	403.52	375.32	362.29	625
Velocidad Promedio	Km/hr	18.38	14.86	11.44	13.36	13.48	9
Demora Promedio	Seg	46.25	45.54	71.38	56.41	54.38	138
Demanda Latente	No.	0.00	0.00	-300.16	-97.16	-129.16	-961.00
Tiempo de viaje Promedio	Seg	318.98	316.65	428.01	375.63	365.85	629

Fuente: Elaboración propia.

Se evidencia la disminución de la velocidad a través del tiempo en la red vial modelada, al comparar el escenario actual con el escenario base, se pasa de 18,38 km/h a 14,86 km/h, una disminución aceptable considerando la implementación de los cruces semaforizados. Entre el escenario base y escenario año 5, la reducción de la velocidad se presenta principalmente por la mala configuración de la operación de la Calle 41 y 40, lo cual se soluciona con la reconfiguración de la operación en las alternativas 1 y 2. De estas la alternativa 2 muestra leve mejoría frente a la alternativa 1. Finalmente, para el año 10, la velocidad de operación de la red se ve gravemente afectada por el crecimiento del tránsito. Será necesario evaluar alternativas como pasos a desnivel o propuestas de transporte que desincentiven el uso del vehículo particular.

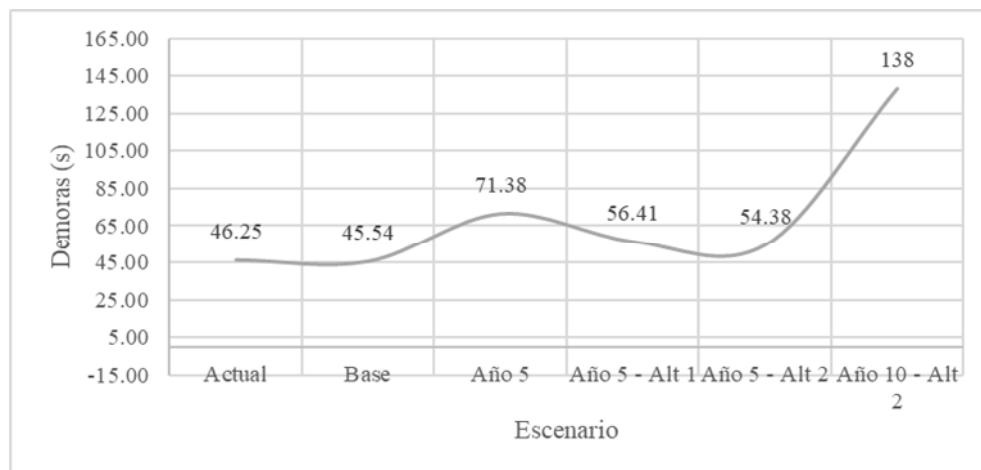
Figura 40. Variación de la velocidad de operación en la red vial



Fuente: Elaboración propia

Las demoras a través de los escenarios son inversamente proporcionales al crecimiento del tráfico, En el escenario año 5 las demoras son superiores con respecto a las alternativas 1 y 2 del mismo año. Para el escenario año 10 las demoras superan los 138 segundos, es decir un incremento de más del 100% con respecto al año 5.

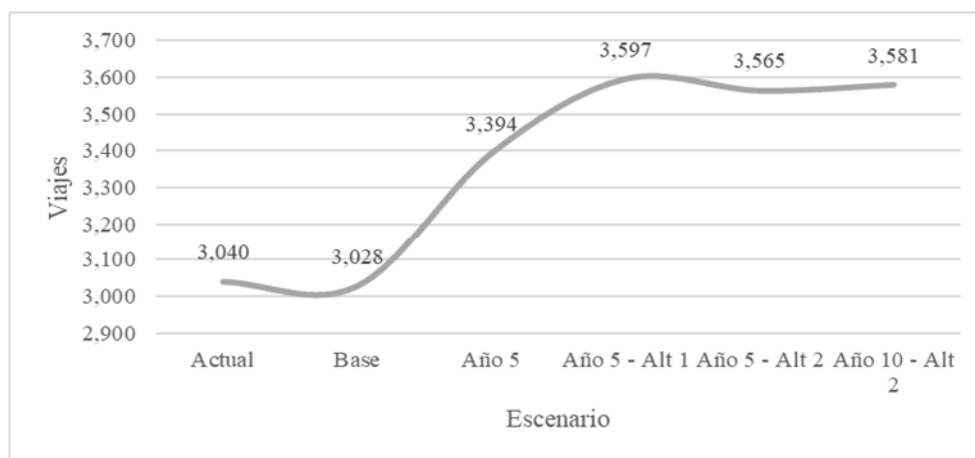
Figura 42. Variación de las demoras en la red vial



Fuente: Elaboración propia

El crecimiento esperado del tránsito se refleja en los viajes completados en la simulación, si bien, se evidencia un aumento general con respecto al año base, la demanda latente de los escenarios crece a medida que las congestiones y desempeño de la red desmejora. En el escenario año 10 la demanda latente representa un 27%, es decir no se logran completar más de 900 viajes.

Figura 43. Variación de los viajes completados en la red vial



Fuente: Elaboración propia

De manera general las propuestas de mejoramiento de la operación e la malla vial comprende 2 aspectos importantes, mejoras en la seguridad y regulación de los usuarios motorizados y no motorizados y la reconfiguración de la red vial.

El cruce semaforizado propuesto para el cruce de peatones en el acceso al campus universitario garantiza la seguridad y se viabiliza por los niveles de servicio presentados en los diferentes escenarios de evaluación. Por otra parte, las propuestas de mejoramiento de la infraestructura peatonal garantizando un ancho efectivo de 2.0 m permite a los peatones condiciones de circulación óptimas en las cuales los usuarios eligen su velocidad y trayectoria.

Por otra parte, el desempeño general de la de vial presenta desmejoras con el paso de los años y crecimiento esperado del tránsito, si bien la reconfiguración de la malla vial mejora los niveles de servicio y congestiones en el año 5, para el año 10 estas medidas son insuficientes, para lo cual se deberán evaluar cambios sustanciales de infraestructura para garantizar unos niveles aceptables de desempeño.

8 Conclusiones y recomendaciones

El incremento del tráfico en la ciudad de Tunja repercute directamente en las condiciones operacionales de sus corredores arteriales, a su vez, el crecimiento y expansión de las instituciones de educación superior como la Universidad Santo Tomás genera condiciones de inseguridad vial para los peatones al circular desde y hacia el equipamiento.

La recopilación de información primaria se realizó los días 16 de Julio de 2021 y 8 de Agosto de 2021, en 5 estaciones de conteo para modos motorizados y 3 estaciones de conteo para modos no motorizados.

La hora de máxima demanda vehicular de la red vial se presentó entre las 17:15 y 18:15 horas, con un volumen de 4.118 vehículos mixtos y 3.453 vehículos equivalentes, con una composición de Autos: 53,9%, Buses: 1,2%, Camiones: 2,3% y Motos: 42,6%.

La hora de máxima demanda de modos no motorizados para la estación de la Av. Universitaria por Calle 49 se presentó entre las 17:45 a 18:45 con 302 peatones equivalentes, para la Av. Universitaria por Calle 45 se presentó entre las 17:15 y 18:15 con 333 peatones equivalentes y para la Av. Universitaria por Calle 41 se presentó entre las 18:00 y 19:00 con 280 peatones equivalentes.

Según los tiempos de recorrido registrados en campo, la Avenida Universitaria entre Calles 41 y 49 presenta una velocidad promedio de 13,27 km/h para el sentido Norte – Sur y 17,22 km/h para el sentido Sur – Norte.

Con base en los flujos motorizados y no motorizados de la hora de máxima demanda se realizó la evaluación de conflictos conforme a la metodología de tiempos de brechas para cruce no controlado. El cruce de peatones en la Avenida Universitaria por Calle 45 presenta un nivel de

servicio F, lo cual indica que los peatones no cuentan con los tiempos de brecha adecuados para realizar las maniobras de manera segura, por lo cual se generan condiciones de inseguridad vial.

Se presentan niveles de servicio F para la infraestructura peatonal en los tramos de la malla vial en la cual no se cuenta con una infraestructura adecuada y los peatones deben circular por la calzada vehicular exponiéndose a riesgos de accidentes fatales. El tramo de la Avenida Universitaria entre Calles 41 y 47 costado oriental, presenta niveles de servicio A, lo cual indica que las condiciones de transitabilidad de los peatones se da de manera adecuada, es decir, los peatones pueden elegir libremente la trayectoria y velocidad de recorrido.

La operación en el acceso a la Universidad Santo Tomás de Tunja por la Avenida Universitaria no genera afectaciones en la malla vial arterial toda vez que se presenta un vehículo en cola para el acceso y la longitud de acumulación tiene la capacidad de albergar 4 vehículos en cola.

Para la evaluación de capacidad y nivel de servicio de los modos no motorizados se empleó el software de microsimulación TransModeler 6.0, en el cual se establecieron las condiciones de oferta y demanda además de la parametrización de los modelos de seguimiento de vehículo de tal manera que representaran las condiciones evidenciadas en campo.

Se incorporaron los viajes para la micorsimulación mediante asignación dinámica, en el cual se asigna un origen y un destino a cada viaje y mediante un proceso iterativo se evalúan las diferentes rutas que pueden tomar los usuarios para realizar su recorrido hasta determinar la ruta más óptima. En este caso se busca que la convergencia o evaluación de cambios de ruta sea inferior al 0.5%.

Para la validación de la calibración del modelo se obtuvo un GEH del 1.14, un error del 2% y una diferencia entre las velocidades modeladas y registradas en campo inferior al 15%. Se

obtuvo una validación por cuatro parámetros de aceptación del modelo; Flujo de arcos individuales, suma de todos los flujos por arco, GEH para flujos por arco individual y GEH para suma sobre flujos de arcos.

Para la situación actual el número total de viajes atendidos fue de 3.040 y una velocidad promedio de 18,38 km/h y el promedio de demoras de 46,25 segundos. Así mismo, el nivel de servicio para la Avenida Universitaria entre Calles 41 y 49 fue de F.

Las intersecciones de la Avenida Universitaria por Calle 49 y Calle 41 presenta nivel de servicio D, además se evidencia que el conflicto entre los vehículos en la intersección de la Calle 49 genera longitudes de cola superiores a 90 metros. Para el acceso Norte de la Avenida Universitaria por Calle 49 se presenta una longitud de colas de 162 metros y 119 metros para el acceso Sur.

En el acceso al campus de la Universidad Santo Tomás de Tunja, se evidencia un flujo continuo de vehículos imposibilitando el cruce de peatones, sin embargo, la situación presentada en campo, evidencia que los usuarios realizan esta maniobra a riesgo, aun cuando los niveles de servicio y resultados de la microsimulación demuestran que esta acción no es posible.

De acuerdo con la validación de dispositivos para la regulación del tráfico, en la Avenida Universitaria por Calle 49 y Avenida Universitaria por Calle 41 se requiere la implementación de un semáforo para regular los flujos vehiculares y peatonales.

Para garantizar los niveles de servicio de la infraestructura peatonal, se recomienda la adecuación de la infraestructura peatonal con un ancho mínimo de 2.0 m para los costados Oriental y Occidental de la Avenida Universitaria entre Calles 41 y 49.

Las tasas de crecimiento empleadas para la proyección del tránsito peatonal y vehicular se establecieron con el análisis de las variables macroeconómicas, indicadores de tráfico a nivel nacional, datos históricos y proyecciones de la población definidas por el DANE y registro de matrículas y crecimiento en el acceso a la educación superior del Ministerio de Transporte. Para los modos motorizados se definió una tasa del 3,29%, para los modos motorizados del 0,80% y para el crecimiento de estudiantes del 6,4 %.

La operación del acceso a la Universidad Santo Tomás de Tunja presenta una longitud de cola de 21 metros para el año 5 de evaluación y de 84 metros para el año 10. Se deberá reevaluar el número de accesos o el tiempo de espera en las talanqueras de tal manera que los vehículos no lleguen a afectar la malla vial adyacente ni la seguridad de los peatones.

Con la inclusión del semáforo en la Calle 49 y Calle 45, el número total de viajes se mantienen en 3.028, las velocidades en 14,86 km/h y las demoras promedio de la red en 45,54 segundos en el escenario base. Lo cual indica que la priorización de la seguridad vial no repercute sobre las velocidades y tiempos de recorrido de la red vial.

Para minimizar las desmejoras en los niveles de servicio y operación vial en general, se presentan dos alternativas de reordenamiento vial y cambios en los planeamientos semaforicos. En la alternativa 1, se propone el cambio a único sentido W-E de la Calle 41 y E-W de la Calle 40 además de la regulación con dispositivo semaforico en la Avenida Universitaria por Calle 40. En la alternativa 2, se propone el cambio a único sentido E-W de la Calle 41 y W-E de la Calle 40 además de la regulación con dispositivo semaforico de la Avenida Universitaria por Calle 40.

Según la evaluación de las 2 alternativas para el año 5, la alternativa 2, presenta mejores indicadores de desempeño de la red vial, además de una menor congestión vehicular para los

accesos Norte y Sur de la Avenida Universitaria. En total se presentan 3.565 viajes completados, una velocidad de 13,48 km/h y demoras de 54,38 segundos.

En el año 10 las condiciones operacionales desmejoran a causa del crecimiento normal del tráfico, en este escenario se presentan un total de 3.581 viajes, velocidad de 8,56 km/h y demoras de 137,92 segundos.

Los resultados operacionales del escenario año 10, dan una alerta sobre el análisis riguroso que se debe dar desde las entidades de control de tránsito, planeación de ciudad y comunidad en general. La Calle 41 y Calle 49 son puntos críticos en este escenario en el cual se debe llegar a pensar en pasos a desnivel o mejoras en la infraestructura vial. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las condiciones de seguridad para los modos no motorizados deben tener prelación sobre la operación del tránsito vehicular.

El corredor de la Avenida Universitaria debe proveer espacios seguros para la operación de modos motorizados y no motorizados, este análisis se debe ampliar con la evaluación de infraestructura para ciclistas y mejoras en las franjas de circulación peatonal y paisajismo, las cuales quedan fuera del alcance de este proyecto.

9 Glosario

Accidentalidad: “Se refiere al conjunto de eventos o sucesos no deseados que resultan en accidentes de tránsito. Estos accidentes pueden involucrar vehículos, peatones u otros usuarios de la vía y pueden ser causados por diversos factores, como el exceso de velocidad, la conducción distraída, la falta de cumplimiento de las normas de tránsito, las condiciones de la vía, entre otros.” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 460)

Ancho efectivo: “Se refiere a porción de esa zona que puede utilizarse efectivamente para los movimientos peatonales” (Secretaría de Transito y Transporte, Bogotá, 2005)

Asignación dinámica de tráfico (DTA): “Es una metodología utilizada para simular y modelar el flujo de tráfico en tiempo real, teniendo en cuenta la interacción entre los vehículos y las condiciones variables de la vía, los modelos de asignación dinámica de tráfico (DTA) tienen como objetivo describir dicha red variable en el tiempo y demandar interacción usando un comportamiento sólido acercarse” (Transportation Network Modeling Committee, 2011, p. 6)

Brecha crítica: “Se define como el tiempo medido transcurrido en segundos entre dos vehículos sucesivos en la corriente del tránsito de la vía principal” (Secretaría de Transito y Transporte, Bogotá, 2005)

Capacidad: “Se define como la tasa máxima de flujo que puede soportar una carretera o calle. De manera particular, la capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos (peatones) que pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 327)

Ciclo: “Secuencia completa de indicaciones del semáforo” (Secretaría de Transito y Transporte, Bogotá, 2005)

Cola: “Se define la cola como el número de vehículos que esperan ser servidos, din incluir aquellos que están siendo atendidos” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 299)

Convergencia: “Se dice que el procedimiento ha convergido o alcanzado una aproximación aceptable cuando no hay un incentivo sustancial para que un usuario cambie de ruta, es decir, un viajero no mejorará su tiempo de viaje seleccionando otra ruta alternativa.” (Transportation Network Modeling Committee, 2011, p. 11)

Densidad o concentración (k): “Es el número, N, de vehículos que ocupan una longitud específica, d, de una vialidad en un momento dado. Generalmente se expresa en vehículos por kilómetro (veh/km), ya sea referido a un carril o a todos los carriles de una calzada” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 254)

Eficiencia: “Relación entre los costos totales (directos más indirectos) del transporte y su productividad” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 35)

Fase: “Parte del ciclo asignado a cualquier combinación de movimientos del tránsito no conflictivos entre sí que reciben derecho de vía simultáneamente durante uno o más intervalos” (Secretaría de Transito y Transporte, Bogotá, 2005)

Movilidad: “Cantidad de tránsito que puede acomodar el sistema (capacidad) y la rapidez con la que éste puede transportar” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 35)

Nivel de servicio: “Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los motoristas y/o pasajeros.” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 331)

Peatón: “Se puede considerar como peatón potencial a la población en general, desde personas de un año hasta de cien años” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 40)

Semáforos: “Los semáforos son dispositivos electromagnéticos y electrónicos proyectados específicamente para facilitar el control del tránsito de vehículos y peatones” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 386)

Señales informativas: “Las señales informativas, identificadas con el código SI, tienen como función guiar al usuario a lo largo de su itinerario por calles y carreteras e informarle sobre nombres y ubicación de poblaciones, lugares de interés, servicios, kilometrajes y ciertas recomendaciones que conviene observar” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 125)

Señales preventivas: “Las señales preventivas, identificadas con el código SP, tienen como función dar al usuario un aviso anticipado para prevenirlo de la existencia, sobre o a un lado de la carretera o calle, de un peligro potencial y su naturaleza” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 118)

Señales restrictivas: “Las señales restrictivas, identificadas con el código SR, tienen como función expresar en la carretera o calle alguna fase del Reglamento de Tránsito, para su cumplimiento por parte del usuario” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 124)

Tasa de flujo (q): “Es el número total de vehículos que pasan durante un periodo inferior a una hora” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 153)

Terminales: “Son aquellos puntos donde el viaje o embarque comienza y termina, o donde tiene lugar un cambio de unidad transportadora o modo de transporte” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 33)

Tiempo perdido: “Tiempo durante el cual la intersección no se utiliza por algún movimiento.”. (Secretaría de Transito y Transporte, Bogotá, 2005)

Tráfico: “Tránsito de personas y circulación de vehículos por calles, carreteras, caminos, etc.” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 29)

Transitar: “Ir o pasar de un punto a otro por vías, calles o parajes públicos” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 29)

Tránsito anual (TA): “Es el número total de vehículos que pasan durante un año” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 153)

Tránsito diario (TD): “Es el número total de vehículos que pasan durante un día” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 153)

Tránsito horario (TH): “Es el número total de vehículos que pasan durante una hora” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 153)

Tránsito mensual (TM): “Es el número total de vehículos que pasan durante un mes” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 153)

Tránsito semanal (TS): “Es el número total de vehículos que pasan durante una semana” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 153)

Transportar: “Llevar una cosa de un paraje o lugar a otro. Llevar de una parte a otra por el porte o precio convenido” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 29)

Transporte: “Acción y efecto de transportar o transportarse” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 29)

Ubicación: “Grado de accesibilidad al sistema, facilidad de rutas directas entre puntos extremos y facilidad para acomodar un tránsito variado” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 33)

Volumen horario de máxima demanda (VHMD): “Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o de una calzada durante 60 minutos consecutivos. Es el representativo de los periodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día en particular” (Cal-y-Mayor & Cárdenas, 1996, p. 155)

10 Referencias bibliográficas

- ¿Qué entendemos por movilidad? (2007). <https://www.ecologistasenaccion.org/9844/que-entendemos-por-movilidad/#:~:text=11%2F2007%20%7C%20Transporte.>
- Acevedo, J., Bocarejo, J., & Lleras, G. (2009). *El transporte como soporte al desarrollo de Colombia. Una visión al 2040*. Bogotá d.C: Ediciones Uniandes.
- Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2021). *Guía para la conformación y actualización de inventarios de señalización vial*. Bogotá D.c.: Ministerio de Transporte de Colombia. doi:<https://ansv.gov.co/sites/default/files/Gui%CC%81a%20para%20la%20conformacio%CC%81n%20y%20actualizacio%CC%81n%20de%20inventarios%20de%20sen%CC%83alizacio%CC%81n%20vial%202021-08-03%20%282%29.pdf>
- Alam, M., & Ahmed, F. (2013). Urban transport systems and congestion: a case study of indian cities. *Transport and Communications. Bulletin for Asia and the Pacific*, 33-43.
- Alba , M. A. (2017). *Colegio Buenos Aires. Un lugar de educación y encuentro ciudadano*. Bogota Colombia.
- Alonso, F., Estevan, C., Calatayud, C., & Alamar, B. (2009). *Los niños las ciudades y la seguridad vial. Una vision a partir de la investigación.Colección: Cuadernos de Reflexión Attitudes*. Valencia: Edita: Attitudes Con la colaboración del Instituto Universitario de Valencia.
- Balakrishna, R., Morgan, D., & Slavin, H. Y. (2009). Large-Scale Traffic Simulation Tools for Planning and Operations Management. *IFAC Symposium on Transportation Systems*, 1(1), 117-122. doi:<https://doi.org/10.3182/20090902-3-US-2007.0073>

Baptista, L., & Reyes, J. (2014). Los jóvenes y la educación para la cultura de la seguridad vial. *Revista panamericana de pedagogía saberes y quehaceres del pedagogo*, 1(21), 101-119.

doi:<https://scripta.up.edu.mx/bitstream/handle/20.500.12552/4335/R0010512.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bentley Ian. (1999). *Entornos Vitales, Hacia un Diseño Urbano y Arquitectónico más Humano* Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1999.[En línea][Citado el 10 de diciembre de 1015] Disponible en internet <http://teoriadelespacio.blogspot.com.co/2012/04/entornos-vitales.html>.

Bernal, C. (2016). *Metodología de la investigación, administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Bogotá D.C.: Pearson.

Blanco, R. &, & cogollo k. (2013). *Los espacios públicos en sectores populares de Cartagena: lugares de encuentro y desencuentro*. *Entramado*, 9(2), 176-190. [Links].

Borja, J. y. (2003). *El espacio público: Ciudad y ciudadanía*. España: Electa, Grupo Editor.

Borja, J., & Muxi, Z. (2003). *El espacio público: Ciudad y ciudadanía*. España: Electa, Grupo Editor.

Buchbinder, P. (2008). *La universidad: Breve introducción a su evolución histórica*. Santa Fe.: Universidad Nacional Del Litoral.

doi:http://23118.psi.uba.ar/academica/carrerasdegrado/musicoterapia/informacion_adicional/311_escuelas_psicologicas/docs/evolucion_historica_educ_sup.pdf

Burbano , A. (2014, p. 182). *La investigación sobre el espacio público en Colombia: su importancia para la gestión urbana*.

-
- Cal-y-Mayor, R., & Cárdenas, I. (1996). *Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones* (Sptima edición ed.). ALFAOMEGA.
- Cano, D., & Melchor, J. (2019). Regreso a clases del caos al orden. *Regreso a clases del caos al orden*. Mexico.
- CEAPAT. (1996). *Concepto europeo de accesibilidad basado en los principios de diseño universal*. España.
- Claval, P. (1985). *Le logique des villes*. Litec, París.
- Damsere, J., & Bawa, S. (2018). Bicyclists' accident pattern in northern Ghana. *IATSS Research*, 42(3), 138-142.
doi:<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0386111217300298?token=14389A7FEAA636DBC7496042803072E1F0216A8C150EEA0BA2EEB902C1D224486344C72BFC0F7118A09ED15D89962591&originRegion=us-east-1&originCreation=20230222094452>
- DANE. (2020). *Proyecciones de población municipales por edad*. Tunja.
- Decreto Municipal 0268, Decreto 0268 de 2014 (Alcaldía mayor de Tunja 20 de Octubre de 2014). Obtenido de https://alcaldiatunja.micolombiadigital.gov.co/sites/alcaldiatunja/content/files/000296/14756_2014decretono0268del20oct.pdf
- García, & L., & G, F. (2008). *Elementos para una política de recuperación del uso del espacio público barrial como soporte de la vida comunitaria*, Revista Notas n° 1, CPAU, C.A.B.A., Argentina.

-
- García, E. (2021). *Planificación estratégica del programa de movilidad*, . Bogotá D.C.: investigación sostenible.
- García, P. S., Pez, A. S., Leal, P. L., & Urda, L. P. (2017). *Micos. Guía de diseño en entornos escolares*. Organismo Autónomo Madrid Salud. Área de Gobierno de Salud, Seguridad. Madrid.
- Gehl Jan. (2013). “Ciudades para la gente” edición en español ONU-HABITAT/Ediciones infinito, 2014, [En línea] [Citado el 10 de Diciembre de 2015] Disponible en internet www.urbangateway.org.
- Gehl, J., Pozueta, J. y., & y Valcarce, M. . (2006). *La humanización del espacio urbano: la vida social entre los edificios*. Barcelona: Editorial Reverté.
- GIAP, G. d. (2000). “Conceptualización del espacio Público”” Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín disponible en: <http://www.unalmed.edu.co/~paisaje/doc4/concep.htm>, fecha última consulta: 10-09-2005.
- Guerrero, J., Jolly, J., Parada, G., Romero, D., & Serrano, R. (2016). *Sobre la movilidad y el espacio público: una reflexión como aporte para la promoción de la movilidad peatonal a partir del análisis de los instrumentos de planificación del*. Bogotá: Unuversidad Javeriana.
- Hanissa, N., Paramita, B., Megayanti, T., & Koerniawan, M. (2019). Pedestrian-Friendly for Redesign Leuwipanjang Integrated Terminal with Wayfinding Approach . *Series: Earth and Environmental Science*, 1088/1755-131.
- Hernandez, G. J. (2013). Construcción social de espacio público en barrios populares de Bogotá. *Revista INVI*, 143.
-

-
- Hernandez, R., Fernández, C., & Batipsta, L. (2010.). *Metodología de la Investigación*. (5 Edición. ed.). México: Mc Graw Hill.
- Jacobs, J. (1967). *La peculiar naturaleza de las ciudades*. En: *Muerte y vida de las grandes ciudades* (pp. 33–154). Madrid: Ediciones Península.
- Jacobs, J. (1967). *La peculiar naturaleza de las ciudades*. En: *Muerte y vida de las grandes ciudades* (pp. 33–154). Madrid:.
- Jaramillo, J. C., & Beltrán, G. (1998). *El lugar donde todo sucede. Las aventuras de los caballeros del Mandala. El ciudadano y su papel*. Bogotá: Ed. Norma Comunicaciones S. A.
- Kitchenham, B. (2004). *Procedures for Performing Systematic Reviews* (Vols. Vols. TR/SE-0401). Keele University Technical Report.
- Lara, P., & Antúnez, Á. (2014). *La historia oral como alternativa metodológica para las ciencias sociales* *Revista de Teoría y Didáctica de las Ciencias Sociales*, núm. 20, enero-diciembre, 2014, pp. 45-62 Universidad de los Andes Mérida, Venezuela.
- Lee Nájera, J. L. (1994). *El barrio, espacio y tiempo. Síntesis*, 19, 34-40. [Links].
- Lizárraga, C. (2006). Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI. *Economía, Sociedad y Territorio*. (A. El Colegio Mexiquense, Ed.) *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal* , 6(22), 1-35. Obtenido de [en línea]. 2006, VI(22),
- low carbon city. (2015). *Low Carbon City*: <https://lowcarbon.city/es/guia-de-urbanismo-tactico>.
- Lynch, K. (2008). *La imagen de la ciudad*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
-

-
- Martínez, J., Sánchez, F., Abellán, J., & Pinto, J. (2015). La valoración monetaria de los costes humanos de la siniestralidad vial en España. *Gaceta Sanitaria*, 1(29), 76-78.
doi:<https://login.craiusadigital.usantotomas.edu.co/login?qurl=https://doi.org%2f10.1016%2fj.gaceta.2015.02.001>
- Mayorga, M. C., & Pia, M. F. (6 de junio de 2017). *En el artículo, La ciudad educadora, “llenar de vida los entornos escolares” Estrategias y acciones entorno a un artefacto efímero en el espacio urbano*. Obtenido de universidad Oberta de Cataluña:
<https://ciudad.blogs.uoc.edu/la-ciudad-educadora-llenar-de-vida-los-entornos/>
- Miles, M. (2000). *The uses of decoration. Essays in the architecture everyday*. Wiley-Academy, 2000.
- Ministerio de Transporte. (2018). *Transporte en Cifras – Estadísticas 2018*. Bogotá D.C.: Gobierno de Colombia.
- Ministerio de Transporte. (2021). *Transporte en Cifras – Estadísticas 2021*. Bogotá D.C.: Gobierno de Colombia.
- MinTransporte. (2015). *Manual de señalización Vial, Dispositivos uniformes para regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorutas de Colombia*. Bogotá D.C: Diseñum Tremens.
doi:https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T_NORMA_ARCHIVO&p_NORMFIL_ID=16507&f_NORMFIL_FILE=X&inputfileext=NORMFIL_FILENAME
-

-
- Moreno Bermudez, L. N. (2017). *Colegio Toberin, Plan de movilidad escolar bienestar alegría y paz*. Bogota Colombia.
- Muñoz, N. (2018). *El espacio público como elemento integrador del sistema de movilidad: consideraciones desde la planeación del sistema integrado de transporte público de Bogotá*. Bogotá: Facultad de arquitectura y diseño, universidad Javeriana.
- OMS. (2015). *Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2015, Resumen*. (I. Communication, Ed.) Organización mundial de la salud. doi:<https://www.afro.who.int/sites/default/files/2017-06/summary%20spa.pdf>
- ONU-HABITAT . (2012). *Estado de las Ciudades de América Latina y el Caribe, rumbo a una nueva transición urbana*. Instituto mexicano de tecnología del agua.
- Ortúzar, J., & Willumsen, L. (2011). *Modelling Transport* (4th Edition ed.). Bogotá D.C.
- Otero, D. I. (2014). La bicicleta como movilidad urbana en crecimiento. Centro De Estudios De Transporte Del Área Metropolitana , . *Facultad De Arquitectura, Diseño Y Urbanismo*, 1, 44.
- Pedroso, E., Angriman, F., Bellows, A., & Taylor, K. (2016). Bicycle use and cyclist safety following boston's bicycle infrastructure expansion. *American Journal of Public Health*, 2009–2012, 12(106), 2171-2177.
- Quintero, J. (2017). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. *Ambiente Y Desarrollo*. 21(40), 57-72. Obtenido de <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/ambienteydesarrollo/article/view/19999>

-
- Quiroga, V. N. (2016). Propuesta de un Terminal de Transporte para el Municipio de Barbosa Santander. *Trabajo de grado para optar al título de profesional en Arquitectura*. Universidad Santo Tomás, Bucaramanga.
- Ramirez, A. G. (2013). La fragmentación urbana y la segregación social una aproximación. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño, núm. 14, julio-diciembre, 2013, pp. 41-55*.
- real academia, e. (2015). *Anden [En línea][Citado el 10 de Diciembre de 2015] Disponible en internet <http://buscon.rae.es/drae/srv/search?val=and%E9n> 2*.
- Roberti, E. (2016). *El espacio barrial y sus límites. Experiencias, interacciones y conflictos de jóvenes de la periferia de La Plata. Ensenada, 5, 6 y 7 de diciembre*.
- Roman , M. R., & Salís, I. C. (2010). *Camino escolar Pasos hacia la autonomía infantil. Ministerio de Fomento. Gobierno de España*. Madrid: España.
- Secretaría de Transito y Transporte, Bogotá. (2005). *Manual de Planeación para la administración del tránsito y el transporte (Vol. II)*. Bogota, D.C: Cal y Mayor Asociados.
- Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá D.C. (2017). *Concepto Técnico No. 16 Procedimiento para gestionar los planes de manejo de tránsito (PMT)*. Bogotá D.C.: Alcaldía Mayor de Bogotá.
doi:https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/19-05-2020/actualizacion_concepto_16_11_mayo_17_.pdf
- Serrano, R. (2018). *Movilidad urbana y espacio público, reflexiones, métodos y contextos*. (U. P. Dirección de investigaciones, Ed.) DGP Editores, SAS.
-

-
- Silva, R. P. (2018). *Los proyectos de caminar rumbo a la escuela para el conocimiento del entorno y favorecer actitudes y hábitos saludables desde educación infantil*. España: Universidad de Vigo.
- Soria, J., & Valenzuela, L. (2015). Dimensiones relevantes para la evaluación ambiental proactiva de la movilidad urbana. *Investigaciones Geográficas : Boletín* -, 22. doi:10.14350/rig.34416
- Sotomayor, J. (2018). *Tus buenas noticias*. Obtenido de <http://tusbuenasnoticias.com/artes-educacion-y-cultura/invierten-urbanismo-tactico-escuelas-culiacan/>
- Space, C. (2003). / e value of public space. How high quality parks and public spaces create economic, social and environmental value.
- Thomson, I., & Bull, A. (Abril de 2002). La congestión del tránsito urbano: Causas y consecuencias económicas y sociales. 2002(76), 109-121. doi:. *Revista de La CEPAL*, 76, 109 - 121. Obtenido de <https://doi.org/10.18356/fd4a1f83-es>
- Torres, C., Cottrill, C., & Beecroft, M. (2020). *Spatial inequalities and media representation of cycling safety in bogotá, colombia*. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. doi:<https://doi-org.craiu-stadigital.usantotomas.edu.co/10.1016/j.trip.2020.100208>
- Transportation Network Modeling Committee. (2011). *Dynamic Traffic Assignment*. Washington, DC: Transportation Research Board.
- Urquiza, U. (2017). *Gestión de la movilidad urbana sostenible y su incidencia en el desarrollo turístico del distrito de Cajamarca* .
-

-
- Vasconcellos, E. A. (2019). *Contribuciones a un gran impulso ambiental para américa latina y el caribe: Movilidad urbana sostenible*. Movilidad urbana sostenible.
- Velasques, C. (2015). *Guia de movilidad urbana sostenible, un reto energético ambiental*. Bogotá D-C.
- Velásquez M., C. V. (2015). Espacio público y movilidad urbana Sistemas Integrados de Transporte Masivo (SITM). Tesis Doctoral Presentada para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Barcelona.
- Villalón, G., Torres, M., & Flores, M. (2017). Sistema de detección de señales de tráfico para la localización de intersecciones viales y frenado anticipado. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática*, 14(4), 152–162.
doi:<https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/143515/Villal%3%b3n%3bTorres%3bFlores%20-%20Sistema%20de%20detecci%3%b3n%20de%20se%3%b1ales%20de%20tr%3%b1fico%20para%20la%20localizaci%3%b3n%20de%20inter....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Zarate, G. G. (2010). El Espacio público como problema y asunto de las políticas públicas. Una reflexión sobre el espacio público en Bogotá durante el gobierno de Luis Eduardo Garzón (2004-2008). *MONOGRAFÍA*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogota, Colombia.

11 Anexos

Anexo 1 – Información primaria y secundaria

Anexo 2 – Análisis de conflictos

Anexo 3 – Modelo de microsimulación

Anexo 4 – Diseño de señalización