



# Universidad **Mariana**

Propuesta de pacificación en la calle 18 entre  
las carreras 33 y 35 de la ciudad de Pasto, Nariño.

Juliana Araujo Revelo

Andrés Nicolás Barco Martínez

Yulieth Juliana García Pantoja

Universidad Mariana

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Civil

San Juan de Pasto

2024

Propuesta de pacificación en la calle 18 entre  
las carreras 33 y 35 de la ciudad de Pasto, Nariño.

Juliana Araujo Revelo

Andrés Nicolás Barco Martínez

Yulieth Juliana García Pantoja

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Civil

Mg. Magda Milena Martínez Ramos

Asesora

Universidad Mariana

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Civil

San Juan de Pasto

2024

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007

Universidad Mariana

## **Contenido**

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| Resumen .....   | 11          |
| Abstract .....  | 11          |
| Introducción .....  | 13          |
| 1. Resumen de la propuesta.....                             | 14          |
| 1.1.1 Descripción del problema.....                         | 14          |
| 1.1.2 Formulación del problema: .....                       | 15          |
| 1.2 Objetivos .....   | 15          |
| 1.2.1 Objetivo General: .....                               | 15          |
| 1.2.2 Objetivos Específicos: .....                          | 16          |
| 1.3 Marco Referencial .....                                 | 16          |
| 1.3.1 Marco contextual .....                                | 16          |
| Instituciones de educación y salud ubicadas en la zona..... | 17          |
| 1.4 Antecedentes .....                                      | 18          |
| 1.4.1 Internacionales.....                                  | 18          |
| 1.4.2 Nacionales .....                                      | 20          |
| 1.5 Metodología.....  | 20          |

|   |    |
|---|----|
| 1.5.1 Identificar los factores que impiden a los peatones movilizarse de una manera cómoda y segura. ....                 | 21 |
| 1.5.2 Capacitación en el programa Vissim.....   | 39 |
| 1.5.3 Simular diferentes escenarios de la infraestructura peatonal empleando el concepto de pacificación de tránsito..... | 43 |
| 1.5.4 Micro simulación de tráfico .....   | 43 |
| 2. Resultados .....   | 46 |
| 2.1 Resultados – objetivo 1 .....   | 46 |
| 2.1.1 Recolección de datos de siniestros que incluyan a peatones en el sector.....  | 46 |
| Recolección de datos en campo: .....  | 49 |
| 2.1.2 Inventario Señales de Tránsito en Zona de Intervención .....  | 50 |
| Resultados Gráficos de Trabajo de Investigación .....   | 51 |
| 2.1.3 Conteo Vehicular.....   | 51 |
| 2.1.4 Conteo peatonal .....   | 52 |
| 2.1.5 Capacidad y nivel de servicio.....  | 53 |
| 2.1.6 Estudio de velocidades .....  | 53 |
| 2.1.7 Longitud de la cola .....   | 54 |
| 2.1.8 Longitud máxima de la cola .....  | 55 |

|  |    |
|--|----|
| 2.1.9 Nivel de servicio de la acera.....         | 55 |
| 2.2 Resultados – objetivo 2 .....                | 55 |
| 2.2.1 Modelación de la situación actual .....    | 55 |
| 2.2.2 Escenario – Cruces seguros .....           | 57 |
| 2.2.3 Escenario – Trafico reducido .....         | 59 |
| 2.2.4 Escenario – infraestructura peatonal ..... | 61 |
| 3. Conclusiones .....                            | 63 |
| 4. Recomendaciones .....                         | 66 |
| Referencias bibliográficas .....                 | 67 |

## **Índice de Figuras**

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Figura 1. Mapa de la ciudad de Pasto, Nariño. ....                                     | 17          |
| Figura 2. Ubicación geográfica. ....   | 18          |
| Figura 3. Plano en AutoCAD calle 18, Cra 33 - 35 .....                                 | 40          |
| Figura 4. Intersecciones del tramo vial .....  | 44          |
| Figura 5. Tasa de siniestralidad vial.....   | 47          |
| Figura 16. Aforo vehicular motorizado y no motorizado (UND) .....                      | 51          |
| Figura 7. Aforo peatonal de niños, adolescentes, adultos y movilidad reducida (UND)... | 52          |

## **Índice de Ecuaciones**

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| Ecuación 1. Velocidad de punto.....                             | 22          |
| Ecuación 2. Factor de capacidad.....                            | 25          |
| Ecuación 3. Capacidad e los factores de corrección.....         | 25          |
| Ecuación 4. Velocidad 1.....                                    | 28          |
| Ecuación 5. Factor de corrección – vehículos pesados.....       | 29          |
| Ecuación 6. Velocidad del tramo.....                            | 30          |
| Ecuación 7 duración de congestionamiento.....                   | 31          |
| Ecuación 8 longitud máxima de la cola.....                      | 31          |
| Ecuación 9 Capacidad de la acera.....                           | 32          |
| Ecuación 10 Espacio peatonal promedio.....                      | 33          |
| Ecuación 11 Factor de ajuste por edad y género.....             | 33          |
| Ecuación 12 Factor de ajuste para acompañante.....              | 36          |
| Ecuación 13 Factor de ajuste para el transporte de objetos..... | 37          |

## **Índice de Tablas**

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Tabla 1. Factor de corrección a la capacidad por pendiente .....                     | 23          |
| Tabla 2. Factor de corrección a la capacidad por distribución por sentido .....      | 23          |
| Tabla 3. Factor de corrección por efecto del ancho de carril y berma. ....           | 24          |
| Tabla 4. Equivalentes camión .....   | 24          |
| Tabla 5. Velocidad ideal de automóviles el flujo libre. ....                         | 26          |
| Tabla 6. Factor de corrección por el efecto del factor de utilización. ....          | 27          |
| Tabla 7. Factor de corrección por efecto combinado del ancho de carril y berma. .... | 27          |
| Tabla 8. Factor de corrección por la presencia de vehículos pesado. ....             | 28          |
| Tabla 9. Factor de corrección por tortuosidad.....                                   | 29          |
| Tabla 10. Nivel de servicio. ....  | 30          |
| Tabla 11. Nivel de servicio de aceras.....   | 32          |
| Tabla 12. Valores equivalentes por edad y género.....                                | 34          |
| Tabla 13. Ajuste para grado de pendiente y condición de la acera .....               | 35          |
| Tabla 14. Ajuste para división direccional.....                                      | 35          |
| Tabla 15. Ajuste para capacidad de uso .....   | 36          |
| Tabla 16. Valores equivalentes para peatones con objetos .....                       | 37          |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 17. Ajuste para tipo de zona.....  | 38 |
| Tabla 18. Ajuste para ancho restringido.....   | 38 |
| Tabla 19. Matriz de colisión del municipio de Pasto 2023 - víctimas .....              | 48 |
| Tabla 20. Encuesta de percepción a la comunidad estudiantil - Universidad Mariana..... | 49 |
| Tabla 21. Inventario .....   | 50 |
| Tabla 22. Velocidad de punto .....   | 54 |
| Tabla 23. Nodos ubicados en zonas estratégicas de la ciudad de Pasto.....              | 56 |
| Tabla 24. Escenario base.....  | 57 |
| Tabla 25. Caracterización y requerimientos - Cruces seguros .....                      | 58 |
| Tabla 26. Escenario - cruces seguros .....   | 59 |
| Tabla 27. Caracterización y requerimientos - Tráfico reducido.....                     | 60 |
| Tabla 28. Escenario - Tráfico reducido.....  | 60 |
| Tabla 29. Caracterización y requerimientos Mejora de Iluminación .....                 | 61 |
| Tabla 30. Caracterización y requerimientos - resaltos .....                            | 62 |
| Tabla 31. Escenario Infraestructura Peatonal.....                                      | 62 |
| Tabla 32. Ventajas escenario cruces seguros .....                                      | 65 |

## **Resumen**

El crecimiento de las áreas urbanas ha generado un aumento significativo en la movilidad urbana, lo que plantea desafíos considerables para la seguridad vial y la calidad de vida. Entre los actores vulnerables, los peatones y usuarios de vehículos no motorizados enfrentan obstáculos diarios. La siniestralidad vial se ha convertido en un problema crítico, y el diseño de infraestructuras peatonales es esencial para abordar este desafío y promover modos de transporte sostenibles. Este proyecto de investigación se enfoca en diseñar una infraestructura peatonal innovadora para mejorar la movilidad y seguridad de los peatones, utilizando el software de simulación VISSIM. Se analizan datos de tráfico y se modelan diferentes escenarios para evaluar la eficacia de posibles soluciones. Tras una evaluación detallada, se concluye que la implementación de cruces seguros es la opción óptima para mejorar la movilidad y reducir la congestión vehicular en la calle 18 entre las carreras 33 y 35 de Pasto, Nariño.

Palabras clave: Movilidad urbana, Seguridad vial, Siniestralidad vial, Transporte sostenible, Software de simulación VISSIM, Peatón.

## **Abstract**

The growth of urban areas has led to a significant increase in urban mobility, posing considerable challenges for road safety and quality of life. Vulnerable actors, such as pedestrians and non-motorized vehicle users, face daily obstacles. Road traffic accidents have become a critical issue, and the design of pedestrian infrastructure is essential to address this challenge and promote sustainable transportation modes. This research project focuses on designing innovative pedestrian infrastructure to improve pedestrian mobility and safety, using the VISSIM simulation software. Traffic data is analyzed, and different scenarios are modeled to evaluate the effectiveness of potential solutions. After a detailed assessment, it is concluded that the implementation of safe crossings is the optimal option to enhance mobility and reduce traffic congestion on street 18 between careers 33 and 35 in Pasto, Nariño.

Key words: Urban Mobility, Road Safety, Traffic Accidents, Sustainable Transportation, pedestrian, VISSIM Simulation Software, Pedestrian.

## **Introducción**

De acuerdo con el artículo "Ideas y buenas prácticas para la movilidad sostenible (2017)". En los últimos años, el crecimiento de las áreas urbanas ha ocasionado un notable aumento en la movilidad urbana, planteando desafíos significativos para la seguridad vial y la calidad de vida de la población. Durante este período, los peatones y los usuarios de vehículos no motorizados se han enfrentado a obstáculos diarios que impactaron directamente en su movilidad. La incidencia de siniestros viales emergió como una preocupación crítica, destacando la importancia del diseño de infraestructuras peatonales como elemento clave para abordar este problema y promover modos de transporte activos y sostenibles.

El objetivo de este proyecto de investigación tuvo como propósito abordar el problema con el diseño de una infraestructura peatonal innovadora que ayude a la movilidad cómoda y segura de los peatones y promueva el uso de vehículos no motorizados. El objetivo general consistió en diseñar, a través del programa VISSIM, una infraestructura que contribuyera a la reducción de la siniestralidad vial. Se enfocó en la creación de entornos seguros y cómodos para los peatones, con especial atención en los usuarios vulnerables

El software de simulación VISSIM se utilizó como herramienta para obtener y visualizar parámetros relevantes, proporcionando un análisis detallado de las condiciones en el sector modelado. Se recopilieron datos primarios, incluyendo estudios de tráfico que contenían aforos vehiculares y peatonales. Estos datos fueron fundamentales para la carga en VISSIM. Además, se llevaron a cabo mediciones de velocidad de los vehículos, se calculó la capacidad y nivel de servicio de la calle 18 entre las carreras 33 y 35 de Pasto, Nariño.

A partir de la modelación del escenario base se procederá a evaluar los parámetros arrojados por el software y crear nuevas alternativas en dicho programa, para dar una posible solución al problema planteado inicialmente.

## **1. Resumen de la propuesta**

### ***1.1.1 Descripción del problema***

El objetivo de este capítulo es examinar en profundidad las diversas problemáticas relacionadas con los siniestros viales, según lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), en América Latina y el Caribe ocasionan la muerte de 1.35 millones de personas y lesionan a cerca de 50 millones de individuos (Implementación de medidas de seguridad vial prioritarias en América Latina y el Caribe, 2023). En la ciudad de Pasto de los siniestros totales ocurridos en el año 2023 el 22% de los afectados fueron peatones (Agencia nacional de seguridad vial, 2024). La calle 18, ubicada entre las carreras 33 y 35 en la ciudad de Pasto, se destaca por albergar un flujo diario de aproximadamente 9000 personas, en su mayoría estudiantes, que transitan por esta área. Este tramo forma parte de una zona educativa crucial y sirve como vía de conexión con varias universidades importantes de la ciudad, como la Universidad de Nariño, Mariana, Cooperativa, Fundación Universitaria San Martín, Fundación Universitaria Católica del Sur y Corporación Universitaria Remington. Sin embargo, a pesar de su relevancia como corredor educativo, esta área enfrenta una serie de problemas que van desde la falta de seguridad vial hasta el deterioro de la infraestructura peatonal. El análisis detallado de estos desafíos busca identificar los elementos clave que requieren una intervención urgente para lograr una pacificación urbana efectiva en esta zona.

Durante sus actividades diarias, todas las personas eventualmente se convierten en peatones y se ven obligadas a utilizar infraestructuras peatonales en gran parte, si no la totalidad, de sus desplazamientos hacia el trabajo, la escuela u otras actividades cotidianas. Por tanto, resulta esencial que las comunidades dispongan de espacios peatonales atractivos, seguros e inclusivos que faciliten la movilidad cómoda y segura de los individuos.

En 2013, la (OMS) publicó un documento titulado "Seguridad peatonal: manual de seguridad vial para instancias decisorias y profesionales". En él se establecen los niveles de muertes y lesiones de los peatones, factores de riesgo, métodos de estudio y determinación de la seguridad peatonal.

Se propuso una reestructuración del enfoque hacia los incidentes viales en el trabajo de grado, adoptando una perspectiva en tercera persona y utilizando tiempos verbales pasados para mejorar la fluidez del texto. En este sentido, se desarrolló un plan de acción y procedimientos eficaces para abordar los puntos con alta incidencia de siniestros. Se hizo hincapié en la relevancia de establecer y ejecutar disposiciones tanto técnicas como legales destinadas a la seguridad de los peatones, junto con medidas para garantizar su cumplimiento. El documento también subraya los beneficios del tránsito peatonal, haciendo énfasis en la necesidad de promoverlo a nivel mundial como medio de transporte que tiene un impacto positivo en la salud y contribuye a la protección del medio ambiente

En el año 2015 la (OMS) publicó un informe nombrado “Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial” en el cual se decreta las metas de seguridad vial y los objetivos de desarrollo sostenible, además se establece que la mitad de todas las víctimas mortales ocasionadas por los accidentes de tránsito son peatones en un (22%), ciclistas en un (4%) y motociclistas en un (23%) por lo tanto se concluye que muchos países deben mejorar su legislación sobre seguridad vial.

### ***1.1.2 Formulación del problema:***

¿Cómo mejorar las condiciones de seguridad de los peatones la calle 18 entre las carreras 33 y 35 de Pasto, Nariño?

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo General:***

Diseñar una infraestructura peatonal que fomente la movilidad activa de los peatones y los vehículos no motorizados para reducir la siniestralidad vial.

### **1.2.2 *Objetivos Específicos:***

- Identificar los factores que impiden a los peatones movilizarse de una manera cómoda y segura.
- Simular diferentes escenarios usando el concepto de pacificación de tránsito, para seleccionar al más adecuado para implementarse en el diseño final.

## **1.3 Marco Referencial**

Este capítulo comprende las bases conceptuales de la investigación al explorar las dimensiones teóricas y el contexto referencial en el que se desarrollará la investigación. La comprensión detallada de estas dimensiones resulta crucial para situar la propuesta dentro del amplio panorama de conocimientos.

### **1.3.1 *Marco contextual***

El proyecto se desarrollará en San Juan de Pasto, capital del Departamento de Nariño, está ubicada al suroccidente del país, se encuentra a 2,527 metros sobre el nivel mar, cuenta con una extensión territorial aproximada de 1.181 km<sup>2</sup>, político-administrativamente se divide en 17 corregimientos y 12 comunas, en las cuales se encuentran 415 barrios. En el municipio de Pasto, según las proyecciones del censo de población y vivienda del DANE (2018), para 2023 su población es de unos 393.476 habitantes, de los cuales 183.962 son hombres (46.75%) y 209.514 mujeres (52.25%), de esta población un 77.81 % se concentran en el área urbana. (Ver Figura 1.)

**Figura 1.**

*Mapa de la ciudad de Pasto, Nariño.*



Fuente: Secretaría de salud de la ciudad de Pasto, 2021.

Según la distribución por comunas del Municipio de Pasto, solo se tomó un segmento de la calle 18 entre las carreras 33 y la carrera 35, donde se realizará el proyecto, el tramo que se analizó tiene una distancia de aproximadamente 400 metros.

***Instituciones de educación y salud ubicadas en la zona***

En la comuna 9 se encuentran los centros educativos religiosos como Betlemitas, Franciscanas, Liceo de la Merced Maridiaz, También se ubican las principales instituciones de educación superior públicas y privadas del municipio de Pasto, tales como la Universidad de Nariño, Mariana, Cooperativa, Fundación Universitaria San Martín, Fundación Universitaria Católica del Sur y Corporación Universitaria Remington.

En cuanto a las entidades prestadoras del servicio de salud se identifica: el Hospital Infantil los Ángeles, La Clínica Valle de Atriz, Hispanoamérica, Cardioquirúrgica, Unidad Médica el Bosque, Medinuclear, Centro de Estética Bellatrix, Centro de Salud Pandiaco, entre otros.

## **Ubicación**

En la figura 2 se muestra la ubicación geográfica del sector en el cual se encuentra el objeto de estudio de esta investigación.

### **Figura 2.**

*Ubicación geográfica.*



Fuente: Google Earth pro, 2023.

## **1.4 Antecedentes**

A Continuación, se indican diferentes investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional sobre la peatonalización y los diversos factores que inciden en los siniestros viales

### **1.4.1 Internacionales**

López Fernando Alonso (2015) realizó la investigación “Utilización de pavimentos táctiles en la ciudad: elementos y consideraciones para una señalización universal” se abordó el tema de los pavimentos táctiles los cuales se emplearon como herramienta fundamental para proporcionar orientación y seguridad a individuos con discapacidades visuales o movilidad reducida en los

espacios públicos. Estos elementos, a través de su diseño específico y tacto diferenciado, permitían a las personas con discapacidad visual desplazarse de manera autónoma y segura. La variedad de pavimentos táctiles disponibles contribuía significativamente a mejorar la accesibilidad y la seguridad para este grupo demográfico, facilitando así su integración en la vida cotidiana.

José Ignacio Nazif, Gabriel Pérez Salas (2013) realizaron un estudio llamado “Siniestralidad vial en América Latina y el Caribe: desempeño reciente y desafíos futuros”, en el cual se abordó el significativo desafío que enfrenta América Latina y el Caribe en relación con los índices de siniestralidad vial. Según los hallazgos del estudio, en promedio fallecieron 17.8 personas por cada 100.000 habitantes, lo que representó el 31% de los casos de decesos. Estas cifras contrastan notablemente con las experimentadas en Estados Unidos y Canadá, donde apenas se registró el 12% de los decesos. Este contraste pretende resaltar la alta tasa de siniestros viales en América Latina y el Caribe en comparación con otras regiones, y subraya la necesidad de abordar este problema desde diferentes perspectivas, incluyendo aspectos como la edad, el género y el nivel socioeconómico. Además, se destaca la importancia de implementar medidas de seguridad vial cada vez más efectivas para mitigar estos riesgos.

Claudia GARCÍA HERNÁNDEZ, Carlos Alberto MIRÓN JUÁREZ, Eneida OCHOA AVILA, Giovanna Rocío DÍAZ GRIJALVA (2021) Se llevó a cabo un estudio titulado "Características de los siniestros viales en adultos mayores mexicanos durante 2015 a 2019", centrado en la problemática de los accidentes de tránsito, que se han convertido en una verdadera pandemia en la actualidad, especialmente en naciones en vías de desarrollo. Los grupos más afectados por estos incidentes suelen ser los adultos mayores y jóvenes de entre 5 y 29 años.

Los hallazgos revelaron que los siniestros viales protagonizados por adultos mayores ocurrieron principalmente entre la 1 am y las 5 am, períodos en los que la fatiga y la falta de iluminación juegan un papel crucial. Esto sugiere una mayor vulnerabilidad de este grupo demográfico en comparación con otros sectores de la población.

### **1.4.2 Nacionales**

Julián David Jaramillo Vásquez (2020) realizó una investigación acerca de “El municipio de Itagüí como eje de movilidad sostenible” donde habla de la movilidad sostenible, mencionando el gran reto que es para las ciudades en vía de desarrollo en Latinoamérica, donde se deben realizar campañas con los diferentes actores viales (peatón, ciclista, motociclista, conductor), con el ánimo de crear conciencia sobre los problemas medio ambientales y sociales.

J Betancur, Manuel; Garcés, Beatriz. (2018) llevaron a cabo una investigación titulada “Derechos Peatonales y App Yo Peatón” donde hablan de cómo en Colombia, los peatones enfrentan muchos desafíos para transitar con seguridad. A menudo hay una falta de infraestructura adecuada para caminar, como aceras en mal estado o la falta de pasos peatonales seguros. Además, los conductores frecuentemente no están conscientes de la presencia de los peatones en la vía pública y no les brindan el espacio necesario para transitar con seguridad, se puede concluir que el artículo se enfoca en la importancia de proteger los derechos de los peatones en Colombia y abordar los desafíos que enfrentan en términos de seguridad en la vía pública. Propone soluciones concretas para mejorar la movilidad peatonal y garantizar que los derechos de los peatones sean respetados y protegidos.

## **1.5 Metodología**

A Continuación, se describe cada una de las actividades llevadas a cabo para poder cumplir los objetivos propuestos:

### **1.5.1 Identificar los factores que impiden a los peatones movilizarse de una manera cómoda y segura.**

**1.5.1.1 Actividad 1: Recolección de datos de siniestros que incluyan a peatones en el sector.** Se realizó la recopilación de datos de siniestros viales en los que se hubieran visto afectados los peatones en los últimos años en la calle 18 entre las carreras 33 hasta la carrera 35 de la ciudad de Pasto.

**1.5.1.2 Actividad 2: Recolección de datos en campo:** Se llevó a cabo un estudio de campo, mediante el cual se evaluó la velocidad promedio de los conductores haciendo uso del método del cronómetro. Asimismo, se determinó el volumen de tráfico en diferentes secciones de la calle realizando un estudio de aforos manuales tanto de vehículos como de peatones, el cual se realizó durante un mes y medio, en un tiempo promedio de 8 horas diarias donde se estudió horas pico y horas valle. Además, se elaboró un inventario de la señalización vial existente.

A continuación, se describe una guía paso a paso para identificar la velocidad de punto de los diferentes vehículos que transitaban por la calle 18 entre las carreras 33 y 35 de la ciudad de Pasto, Nariño.

Se obtuvo la velocidad de punto a través del método del cronómetro, el cual consistía en registrar el tiempo que los vehículos tardaban en recorrer una distancia determinada por dos puntos específicos. El observador A se situaba en un lugar estratégico. Cuando el vehículo pasaba y sus ruedas delanteras cruzaban la primera marca, el observador realizaba una señal al observador B para que iniciara el cronómetro. Al llegar el vehículo a la segunda marca con las ruedas delanteras, se detenía el cronómetro. La velocidad se calculaba dividiendo la distancia predefinida entre el tiempo necesario para recorrerla. Se realizó la toma de datos anteriormente descrita para una muestra de 40 buses, 40 camiones, 40 vehículos, 40 motocicletas y 40 bicicletas, arrojando una muestra total de 200 vehículos.

$$V = \frac{D}{t}$$

*Ecuación 1. Velocidad de punto*

Donde:

D: Distancia en metros

t: Tiempo en segundos

**1.5.1.3 Actividad 3: Determinar el tipo y el nivel de servicio de la vía.** Para determinar el tipo de vía vehicular en la calle 18 entre las carreras 33 y 35 de la ciudad de Pasto, Nariño, se llevaron a cabo evaluaciones basadas en varios factores. Estos incluyeron el ancho de la calzada, el número de carriles, la velocidad máxima permitida, el flujo de tráfico, y la presencia de peatones o ciclistas. Mediante esta evaluación, se logró establecer una guía paso a paso para identificar la capacidad y nivel de servicio de dicha vía.

1. En este estudio, se abordó la influencia de las pendientes en la velocidad de los vehículos, en contraste con su velocidad potencial en terrenos horizontales. Se llevó a cabo la determinación del factor de corrección a la capacidad por pendiente (Fpe) utilizando la figura 3 como referencia, considerando tanto la pendiente como su longitud correspondiente.

**Tabla 1.***Factor de corrección a la capacidad por pendiente*

| Pendiente | Longitud de la pendiente (Km) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|           | 0.5                           | 1    | 1.5  | 2    | 2.5  | 3    | 3.5  | 4    | 4.5  | 5    | 5.5  | 6    |      |
| 0         | 1                             | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| 1         | 0.99                          | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 |
| 2         | 0.99                          | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 |
| 3         | 0.98                          | 0.97 | 0.96 | 0.96 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 |

Fuente: Manual de Capacidad y nivel de servicio de dos carriles, Colombia (2022)

2. A partir de los datos obtenidos en campo se establece el porcentaje de distribución vehicular por sentidos, así como el porcentaje de zonas de no rebase para poder determinar el factor de corrección a la capacidad por distribución por sentidos **F<sub>d</sub>** a partir de la tabla 1.

**Tabla 2.***Factor de corrección a la capacidad por distribución por sentido*

| Distribución por sentidos (% en ascenso) | % de zonas de no rebase |      |      |      |      |      |
|--|-------------------------|------|------|------|------|------|
|  | 0                       | 20   | 40   | 60   | 80   | 100  |
| 50                                       | 1                       | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| 70                                       | 0.82                    | 0.8  | 0.78 | 0.76 | 0.74 | 0.71 |
| 100                                      | 0.64                    | 0.61 | 0.58 | 0.56 | 0.53 | 0.5  |

Fuente: Manual de Capacidad y nivel de servicio de dos carriles, Colombia (2022)

3. El factor de corrección a la capacidad fue establecido mediante el análisis combinado del ancho de carril y la berma. Este análisis se basó en la tabla 2.

**Tabla 3.**

*Factor de corrección por efecto del ancho de carril y berma.*

| Ancho de carril (m) |      |      |      |      |
|---------------------|------|------|------|------|
| Berma               | 3.7  | 3.5  | 3.3  | 3    |
| 1.8                 | 1.00 | 0.99 | 0.98 | 0.96 |
| 1.2                 | 0.99 | 0.98 | 0.97 | 0.95 |
| 0                   | 0.97 | 0.96 | 0.95 | 0.92 |

Fuente: Manual de Capacidad y nivel de servicio de dos carriles, Colombia (2022)

4. El efecto de la reducción en la capacidad causada por los vehículos pesados fue objeto de estudio en el presente trabajo. Este efecto se describe mediante el factor **F<sub>p</sub>**, el cual se determinaba previamente encontrando el equivalente de camión **E<sub>c</sub>** a partir de la tabla 3. Una vez obtenido este valor, se procedió a aplicar las ecuaciones pertinentes para analizar dicho efecto en detalle.

**Tabla 4.**

*Equivalentes camión*

| Equivalentes camión factor de corrección a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (EC) |                               |  |      |      |      |      |      |
|--|-------------------------------|--|------|------|------|------|------|
| Pendiente ascendente %   | Longitud de la pendiente (km) | Porcentaje de vehículos pesados (buses más camiones) |      |      |      |      |      |
|  |                               | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   |
| 0  | 1                             | 1.53   | 1.56 | 1.5  | 1.48 | 1.47 | 1.47 |
| 1  | 1                             | 1.64   | 1.62 | 1.54 | 1.51 | 1.5  | 1.5  |
| 2  | 1                             | 1.75   | 1.68 | 1.59 | 1.55 | 1.53 | 1.53 |
| 3  | 1                             | 1.87   | 1.75 | 1.68 | 1.63 | 1.6  | 1.56 |
| 4  | 1                             | 2.24   | 2.02 | 1.83 | 1.75 | 1.7  | 1.68 |

Fuente: Manual de Capacidad y nivel de servicio de dos carriles, Colombia (2022)

El presente estudio se enfocó en la evaluación de la ecuación 2, la cual se utilizaba para calcular el factor de capacidad, considerando el porcentaje de autobuses y camiones. La ecuación en cuestión se aplicaba como un método fundamental para determinar la capacidad de carga de determinadas infraestructuras viales.

$$Fp = \frac{1}{1 + Pc}$$

*Ecuación 2. Factor de capacidad*

Dónde:

Pc= % Buses + %Camiones

5. Para el cálculo de la capacidad de la vía, se aplicaron simultáneamente los factores de corrección presentados en las tablas anteriores, utilizando la siguiente ecuación como base.

$$C60 = 3200 \cdot Fpe \cdot Fd \cdot Fcb \cdot Fp$$

*Ecuación 3. Capacidad e los factores de corrección*

### **Determinar el nivel de servicio de la vía**

1. Se determinó la velocidad ideal de los automóviles en flujo libre **V1** a partir de la siguiente tabla, teniendo en cuenta la pendiente ascendente en estudio y su longitud.

**Tabla 5.***Velocidad ideal de automóviles el flujo libre*

| PEND. ASC<br>% | Longitud de la pendiente (km) |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |
|----------------|-------------------------------|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|
|                | 0.5                           | 1  | 1.5 | 2  | 2.5 | 3  | 3.5 | 4  | 4.5 | 5  | 5.5 | 6  |
| <b>0</b>       | 90                            | 90 | 90  | 90 | 90  | 90 | 90  | 90 | 90  | 90 | 90  | 90 |
| <b>1</b>       | 88                            | 86 | 86  | 86 | 85  | 85 | 85  | 85 | 85  | 85 | 85  | 85 |
| <b>2</b>       | 86                            | 82 | 81  | 81 | 80  | 80 | 80  | 80 | 80  | 80 | 80  | 80 |
| <b>3</b>       | 83                            | 79 | 77  | 76 | 75  | 75 | 75  | 75 | 75  | 75 | 75  | 75 |
| <b>4</b>       | 82                            | 77 | 74  | 72 | 72  | 70 | 70  | 69 | 69  | 69 | 68  | 68 |
| <b>5</b>       | 81                            | 74 | 70  | 68 | 66  | 66 | 65  | 65 | 64  | 64 | 64  | 64 |

Fuente: Manual de Capacidad y nivel de servicio de dos carriles, Colombia (2022)

2. Se determinó el factor de corrección por el efecto del factor de utilización **Fu** a partir de la relación volumen/capacidad, que se determina a partir de la siguiente tabla.

**Tabla 6.***Factor de corrección por el efecto del factor de utilización*

| <b>Relación volumen-<br/>Capacidad Q/C60</b> | <b>Factor de corrección fu</b> |
|--|--------------------------------|
| <b>0.1</b>                                   | 0.99                           |
| <b>0.2</b>                                   | 0.98                           |
| <b>0.3</b>                                   | 0.96                           |
| <b>0.4</b>                                   | 0.92                           |
| <b>0.5</b>                                   | 0.87                           |
| <b>0.6</b>                                   | 0.82                           |

Fuente: Manual de Capacidad y nivel de servicio de dos carriles, Colombia (2022)

3. Se determinó el factor de corrección por efecto combinado del ancho de carril y berma **Fcb**.

**Tabla 7.***Factor de corrección por efecto combinado del ancho de carril y berma.*

|                           | <b>Ancho de carril (m)</b> |      |      |      |      |
|---------------------------|----------------------------|------|------|------|------|
| <b>Ancho de berma (m)</b> | 3.65                       | 3.5  | 3.3  | 3    | 2.7  |
| <b>1.8</b>                | 1                          | 0.97 | 0.93 | 0.85 | 0.73 |
| <b>1.5</b>                | 0.98                       | 0.95 | 0.91 | 0.83 | 0.71 |
| <b>1.2</b>                | 0.96                       | 0.93 | 0.89 | 0.81 | 0.7  |
| <b>1</b>                  | 0.95                       | 0.92 | 0.88 | 0.8  | 0.69 |
| <b>0.5</b>                | 0.91                       | 0.88 | 0.84 | 0.76 | 0.66 |
| <b>0</b>                  | 0.88                       | 0.85 | 0.81 | 0.73 | 0.63 |

Fuente: Manual de Capacidad y nivel de servicio de dos carriles, Colombia (2022)

4. Se calcula la velocidad 1 a partir de la siguiente ecuación.

$$V1 = Vi \cdot Fu \cdot Fcb$$

## Ecuación 4. Velocidad 1

Donde:

$V_i$  = Velocidad ideal

$F_u$  = Factor de utilización

$F_{cb}$  = Factor de corrección carril berma

5. Se calculó el valor del factor de corrección por la presencia de vehículos pesados, en este caso solo camiones **Fp**, revisando los parámetros de la figura 10 y luego haciendo uso de la ecuación.

**Tabla 8.**

*Factor de corrección por la presencia de vehículos pesado.*

| Tipo de terreno                     | longitud de la pendiente (km) | Velocidad de autos (V2) (km/h) | 10   | 30   | 50   | 70   | 90   |
|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|
|                                     |                               |                                |      |      |      |      |      |
| Plano (pendiente longitudinal <3 %) | 0.5                           | 40                             | 1.00 | 1.04 | 1.12 | 1.14 | 1.14 |
|                                     | 0.5                           | 50                             | 1.00 | 1.00 | 1.12 | 1.14 | 1.14 |
|                                     | 1                             | 40                             | 1.00 | 1.04 | 1.12 | 1.14 | 1.14 |
|                                     | 1                             | 50                             | 1.00 | 1.04 | 1.12 | 1.14 | 1.14 |
|                                     | 1.5                           | 40                             | 1.00 | 1.04 | 1.12 | 1.14 | 1.14 |
|                                     | 1.5                           | 50                             | 1.00 | 1.05 | 1.13 | 1.14 | 1.14 |

Fuente: Manual de Capacidad y nivel de servicio de dos carriles, Colombia (2022)

Se presenta la siguiente ecuación, donde FP representaba el factor de corrección por la presencia de vehículos, %C denotaba el porcentaje de camiones y Ec representaba la equivalencia de

camiones. Esta ecuación fue utilizada para calcular el impacto de la presencia de camiones en el flujo vehicular durante el estudio.

$$fp = \frac{1}{1 + \%C(Ec - 1)}$$

*Ecuación 5. Factor de corrección – vehículos pesados*

6. Se establece el factor de corrección por tortuosidad del tramo en estudio de acuerdo con la siguiente figura.

**Tabla 9.**

*Factor de corrección por tortuosidad.*

| <b>Pendiente (%)</b> | <b>Tortuosidad (°/km)</b> | <b>ft</b> |
|----------------------|---------------------------|-----------|
| <b>0</b>             | <40                       | 1.00      |
| <b>&lt;2.5</b>       | <110                      | 0.99      |
| <b>&lt;4</b>         | <200                      | 0.99      |
| <b>&lt;6</b>         | <400                      | 0.98      |
| <b>&lt;8</b>         | <800                      | 0.97      |

Fuente: Manual de Capacidad y nivel de servicio de dos carriles, Colombia (2022)

7. El presente estudio presentó una ecuación que incorporó varios factores relevantes. Entre estos factores, se destacó el factor de corrección por la presencia de vehículos (Fp), el cual fue extraído de la ecuación 5. Asimismo, se incluyó la velocidad inicial (V1), descrita por la ecuación

4, y el factor de corrección por tortuosidad (Ft), el cual fue detallado en la figura 11. La integración de estos elementos permitió obtener una representación más precisa de los fenómenos estudiados.

$$V2 = V1 \cdot fp \cdot ft$$

*Ecuación 6. Velocidad del tramo*

8. Para determinar el nivel de servicio, se calculó el porcentaje que se ha perdido con respecto a la velocidad ideal, la cual es de 90 km/h “Manual de capacidad y nivel de servicio de dos carriles, INVIAS, 2022” (p.37). Haciendo uso de la figura 12 y teniendo en cuenta el tipo de terreno.

**Tabla 10.**

*Nivel de servicio.*

| Tipo de terreno  | Nivel de Servicio |             |            |             |             |        |
|------------------|-------------------|-------------|------------|-------------|-------------|--------|
|                  | A                 | B           | C          | D           | E           | F      |
| <b>Plano</b>     | >92 %             | 92 % - 80 % | 80 % - 69% | 69 % - 58 % | 58 % - 47 % | < 47 % |
| <b>Ondulado</b>  | >76 %             | 76 % - 66 % | 66 % - 57% | 57 % - 48 % | 48 % - 38 % | < 38 % |
| <b>Montañoso</b> | >58 %             | 58 % - 50 % | 50 % - 43% | 43 % - 37 % | 37 % - 29 % | < 29 % |
| <b>Escarpado</b> | >40 %             | 40 % - 34 % | 34 % - 30% | 30 % - 26 % | 26 % - 20 % | < 20 % |

Fuente: Manual de Capacidad y nivel de servicio de dos carriles, Colombia (2022)

**Longitud de la cola**

Para determinar la longitud de la cola en una vía, fue necesario considerar varios factores, incluido el número de vehículos contados durante el aforo de vehículos, la capacidad de la vía y el tiempo de disipación. Para este propósito, el primer paso consistía en aplicar la siguiente ecuación:

$$td = t_2 + \frac{(\lambda_2 - \mu)t_2}{\mu - \lambda_4}$$

*Ecuación 7 duración de congestionamiento*

Donde:

td= tiempo de disipación

$\lambda_n$  = número de vehículo en un lapso de tiempo

$\mu$  = capacidad

### **Longitud maxima de la cola**

Una vez obtenido el tiempo de disipación, se procedió a calcular la longitud máxima de la cola utilizando la siguiente ecuación.

$$Q_m = ((\lambda_2 - \mu)t_2$$

*Ecuación 8 longitud máxima de la cola*

Donde:

Qm= longitud máxima de la cola

$\lambda_2$  = número de vehículo en ese lapso de tiempo

$\mu$  = capacidad

### **Capacidad y nivel de servicio de acera**

La metodología propuesta por Guío, Dueñas & Díaz (2014). incluye una ecuación destinada a calcular la capacidad de una acera, expresada en términos de peatones por unidad de espacio durante un intervalo de tiempo específico. Además, se proporciona una clasificación de los niveles de servicio que se aplican a la infraestructura peatonal en Colombia.

$$C = Cb * We * fag * fgc * fd * fc$$

## Ecuación 9 Capacidad de la acera

Donde:

$C$  = Capacidad de la acera, expresada en p/m/hora.

$Cb$  = Flujo máximo en condiciones base, obtenido por modelos de datos locales.

$We$  = Ancho efectivo de la acera, expresado en m.

$fag$  = Factor de ajuste por edad y género.

$fgc$  = Factor de ajuste para el grado y condiciones de la acera.

$fd$  = Factor de ajuste para división direccional.

$fc$  = Factor de ajuste para acompañante.

A continuación, se presenta la tabla 11 que muestra el nivel de servicio del peatón, clasificado de la categoría A como el mejor hasta la categoría F como el peor.

**Tabla 11.**

*Nivel de servicio de aceras*

| Nivel de Servicio | Espacio peatonal medio (m <sup>2</sup> /p) | Tasa de flujo (p/h/m) | Velocidad media (m/s) | v/c a        |
|-------------------|--|-----------------------|-----------------------|--------------|
| A                 | >5.3                                       | ≤810                  | >1.20                 | ≤ 0.21       |
| B                 | >3.5 - 5.3                                 | >810 - 1200           | >1.17 - 1.20          | >0.21 - 0.31 |
| C                 | > 2.4 - 3.5                                | >1200 - 1700          | >1.12 - 1.17          | >0.31 - 0.44 |
| D                 | > 1.5 - 2.4                                | >1700 - 2500          | >1.05 - 1.12          | >0.44 - 0.65 |
| E                 | >0.65 - 1.5                                | >2500 - 3850          | >0.70 - 1.05          | >0.65 - 1.00 |
| F                 | ≤0.65                                      | Variable              | ≤0.70                 | Variable     |

Adaptado de Guío, Dueñas & Díaz (2014).

La velocidad es un indicador bastante subjetivo y su medición en el terreno implica realizar múltiples observaciones. No obstante, según Guido Dueñas y Diaz (como se citó en Bañón y Beviá (2000)), se sugiere adoptar una velocidad peatonal promedio de 1,35 m/s. Esto se debe a la dificultad de obtener el valor real de la velocidad del grupo estudiado, ya que los grupos de peatones que circulan por una acera están compuestos por hombres, mujeres y niños.

$$S = \frac{\delta PHF}{V}$$

*Ecuación 10 Espacio peatonal promedio*

Donde:

$S$  = Espacio peatonal promedio expresado en  $m^2 / p$ .

$\delta$  = velocidad media de caminata expresada en  $m / s$ .

$PHF$  = Factor de hora pico considerando períodos de 15 minutos

$v$  = Flujo peatonal, expresado en  $p / h / m$

*Factor de ajuste por edad y género.*

El estudio para determinar el nivel de servicio de la acera requería la consideración de un factor de ajuste por edad y género, tal como se presentó en la ecuación 11.

$$fag = \frac{1}{1 + [pc(Ec - 1) + py(Ey - 1) + pa(Ea - 1) + ps(Es - 1)]}$$

*Ecuación 11 Factor de ajuste por edad y género*

Donde:

$pc$  = Proporción de niños (entre 3 y 10 años).

$Ec$  = Equivalente joven por niño.

$py$  = Proporción de jóvenes (entre 11 y 25 años).

$Ey$  = Equivalente de joven por joven.

$pa$  = Proporción de adultos (entre 26 y 60 años).

$Ea$  = Equivalente de jóvenes por adultos.

$ps$  = Proporción de personas mayores (mayores de 60 años).

$Es$  = Equivalente de jóvenes por personas mayores.

La Tabla 12 fue utilizada para obtener los valores equivalentes por edad y género que fueron empleados en la ecuación 11. Este recurso permitió calcular de manera precisa los parámetros necesarios para sus análisis.

**Tabla 12.**

*Valores equivalentes por edad y género*

| Género    | Edad         | Equivalente |
|-----------|--------------|-------------|
| Masculino | Niño         | 1.21        |
|           | Joven        | 1.00        |
|           | Adulto       | 1.12        |
|           | Adulto mayor | 1.224       |
| Femenino  | Niño         | 1.29        |
|           | Joven        | 1.061       |
|           | Adulto       | 1.197       |
|           | Adulto mayor | 1.317       |

Adaptado de Guío, Dueñas & Díaz (2014).

*Factor de ajuste para el grado y condiciones de la acera*

Seguidamente, se presenta la tabla 3, la cual indicaba los ajustes realizados para el grado de pendiente y la condición de la acera, clasificando desde "bueno" hasta "regular".

**Tabla 13.***Ajuste para grado de pendiente y condición de la acera*

| <b>Grado</b>  | <b>Condición de la acera</b> |                |             |
|---------------|------------------------------|----------------|-------------|
|               | <b>Bueno</b>                 | <b>Regular</b> | <b>Malo</b> |
| Nivel < 3%    | 1                            | 0.965          | 0.931       |
| Medio 3 - 7 % | 0.929                        | 0.894          | 0.859       |
| Alto > 7 %    | 0.857                        | 0.823          | 0.788       |

Adaptado de Guío, Dueñas &amp; Díaz (2014).

*Factor de ajuste para división direccional*A continuación, se presenta la tabla 4, donde se detalla el ajuste por división direccional  $f_d$ .**Tabla 14.***Ajuste para división direccional*

| <b>División direccional</b> | <b><math>f_d</math></b> |
|-----------------------------|-------------------------|
| 50 / 50                     | 1.0                     |
| 60 / 40                     | 0.87                    |
| 70 / 40                     | 0.78                    |
| 80 / 20                     | 0.7                     |
| 90/10                       | 0.64                    |
| 100/0                       | 0.58                    |

Adaptado de Guío, Dueñas &amp; Díaz (2014).

*Factor de ajuste para acompañante*

Caminar acompañado reduce la capacidad de la acera porque se altera el comportamiento grupal de los peatones, principalmente en lo que respectaba a la velocidad. Se evaluó el impacto del tamaño del grupo peatonal y se encontró que su efecto era similar al de caminar con un compañero,

por lo que se propuso el uso de la ecuación.

$$F_c = \frac{1}{1 + [pa(Ea - 1)]}$$

*Ecuación 12 Factor de ajuste para acompañante*

Donde

*pa* = Proporción de peatones caminando acompañados.

*Ea* = Equivalente para estar acompañado a condiciones de base = 1.078

*Factor de ajuste para capacidad de uso*

En la tabla 15 se presentaron los datos relacionados con el factor de ajuste para la capacidad de uso.

**Tabla 15.**

*Ajuste para capacidad de uso*

|      |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| V/C  | ≤ 0.05 | 0.1  | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.8  | 0.9  | 0.95 | >1.0 |
| Fv/c | 1.0    | 0.99 | 0.98 | 0.95 | 0.92 | 0.87 | 0.82 | 0.75 | 0.68 | 0.59 | 0.55 | 0.50 |

Adaptado de Guío, Dueñas & Díaz (2014).

*Factor de ajuste para el transporte de objetos*

A continuación, se presenta la ecuación 13, la cual permitía calcular el ajuste necesario para el transporte de objetos.

$$F_c = \frac{1}{1 + [p_o(E_o - 1)]}$$

*Ecuación 13 Factor de ajuste para el transporte de objetos*

Donde

Po= Proporción de peatones con objetos

Eo = Equivalente para peatones con objetos.

La tabla 16 proporcionó a los investigadores la capacidad de identificar los equivalentes para peatones con objetos, clasificados en niveles que iban desde bajo hasta alto.

**Tabla 16.**

*Valores equivalentes para peatones con objetos*

| <b>Nivel</b>  | <b>Eo</b> |
|---------------|-----------|
| Bajo < 3%     | 1.045     |
| Medio 3 - 7 % | 1.286     |
| Alto > 7 %    | 1.543     |

Adaptado de Guío, Dueñas & Díaz (2014).

*Factor de ajuste para el tipo de zona*

La tabla 7 proporcionó información sobre el ajuste según el tipo de zona, que incluyó aspectos como educación, transporte y otros.

**Tabla 17.***Ajuste para tipo de zona*

| <b>Tipo de Zona</b> | <b><i>fz</i></b> |
|---------------------|------------------|
| CBD*                | 1.000            |
| Educacional         | 1.266            |
| Transporte          | 1.139            |
| Otros               | 1.063            |

Adaptado de Guío, Dueñas &amp; Díaz (2014).

*Factor de ajuste para ancho restringido*

La tabla 8 indicaba el factor de ajuste para el ancho restringido, teniendo en cuenta el ancho efectivo de la acera.

**Tabla 18.***Ajuste para ancho restringido*

| <b>Ancho efectivo<br/>(m)</b> | <b><i>Factor</i></b> | <b>Ancho efectivo<br/>(m)</b> | <b><i>Factor</i></b> |
|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|
| ≥ 1.2                         | 1.000                | 1.2                           | 0.741                |
| 2.0                           | 0.987                | 1.1                           | 0.683                |
| 1.9                           | 0.978                | 1.0                           | 0.619                |
| 1.8                           | 0.962                | 0.9                           | 0.550                |
| 1.7                           | 0.940                | 0.8                           | 0.474                |
| 1.6                           | 0.912                | 0.7                           | 0.392                |
| 1.5                           | 0.879                | 0.6                           | 0.304                |
| 1.4                           | 0.839                | 0.5                           | 0.210                |
| 1.3                           | 0.793                | ≤ 0.4                         | 0.110                |

Adaptado de: Guío, Dueñas &amp; Díaz (2014).

### **1.5.2 Capacitación en el programa Vissim**

Durante el mes de agosto, se impartió una capacitación en el programa Vissim, enfocada en el uso esencial de dicho software. El propósito principal era adquirir las habilidades necesarias para llevar a cabo simulaciones de tráfico de manera efectiva.

Se elaboró la siguiente guía paso a paso para la creación del croquis de la calle 18, entre las carreras 33 y 35 de la ciudad de Pasto, Nariño. Para dar inicio al proceso de creación del croquis, se realizó un reconocimiento de campo. Este reconocimiento permitió ubicarse adecuadamente en los tramos de vía donde se llevaría a cabo la propuesta de peatonalización. Además, se identificaron cada una de las intersecciones sobre las cuales se llevarían a cabo estudios posteriores de volumen de tráfico y velocidad de punto.

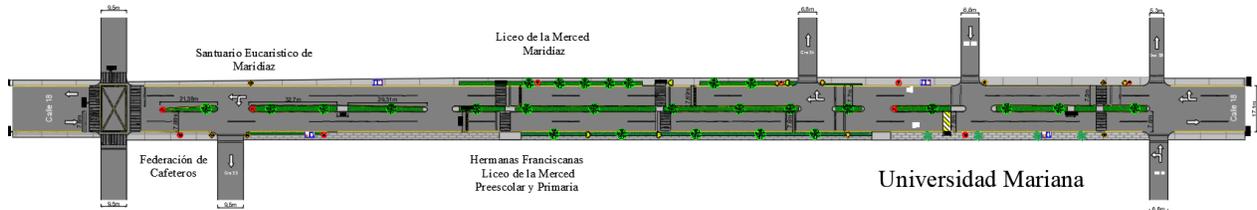
Para realizar el levantamiento en Civil 3D, se utilizó Google Earth, que ayudó a identificar de manera precisa la zona donde se trabajaba, brindando medidas precisas para la creación del plano.

1. Iniciar Civil 3D: Se abre el programa Civil 3D y simultáneamente se debe abrir Google Earth.
2. Crear un nuevo proyecto: Se procedió a crear un nuevo proyecto y configurar la ubicación y las unidades de medida según fuera necesario.
3. Importar datos topográficos: Se importaron datos topográficos y de terreno si era necesario para obtener una vista precisa de la ubicación de la intersección vial. Sin embargo, en este caso, se utilizó Google Earth para realizar las mediciones de cada intersección y de todo el tramo vial que se estudiaría.
4. Crear una superficie: Crea una superficie de diseño que represente el terreno en las intersecciones y se comienza a realizar el trazado para tener una base del proyecto.

5. Generar un plano de croquis: Genera un plano de croquis que muestre la intersección vial completa con todos los detalles de diseño donde se indique la dirección y las dimensiones de cada vía. (ver figura 3).

### Figura 3.

Plano en AutoCAD calle 18, Cra 33 - 35



Fuente: AutoCAD, 2023.

6. Guardar y exportar: Guarda el proyecto y exporta el plano de croquis en el formato deseado.

Se describe el procedimiento para realizar la simulación en VISSIM

1. Iniciar VISSIM: abre el software VISSIM en tu computadora.

2. Crear un nuevo proyecto: se inició un nuevo proyecto en VISSIM y se definieron las configuraciones de simulación necesarias, incluyendo la ubicación y los parámetros iniciales para establecer las condiciones iniciales.

3. Importar el croquis: se importó el plano de croquis de la intersección creado en Civil 3D como fondo en VISSIM. VISSIM. Esto te proporcionará una referencia visual para la simulación.

4. Creación de vías: para la creación de vías y las intersecciones, se emplea la opción de tramo, teniendo en cuenta una serie de consideraciones como dirección de las vías y la medida del carril.

5. Composición vehicular: para realizar la tarea de determinar la composición vehicular, se accedió a la opción de Tráfico ubicada en la esquina superior derecha y se seleccionó la

función de composición de vehículos. Luego, se procedió a ingresar los datos recolectados en el terreno sobre la composición de vehículos en el tramo de la vía. Por ejemplo, en la calle 18, en dirección de norte a sur, se observó que el 50% eran automóviles, el 3% eran autobuses y el 1% eran camiones, según se detalla a continuación.

Asimismo, se repitió este proceso para cada cruce peatonal, registrando el porcentaje de hombres y mujeres que transitaban por cada uno de ellos. Posteriormente, se introdujo la estimación de la demanda vehicular que circularía por nuestras vías. Para esto, se accedió a la opción de Entradas de Vehículos y se ingresó el valor correspondiente para cada vía, ya sea para vehículos o peatones, utilizando los datos obtenidos en estudios de tráfico previos.

6. Rutas estáticas: en rutas estáticas se definió la posible ruta que tomarían los vehículos que pasaban por un determinado punto. Para esto, se dirigió a la parte izquierda de su ordenador y se seleccionó la opción Vehicle Rutes y con ayuda de estudios previos se puede saber por donde pasan las rutas que cada vehículo va a realizar

7. Reglas de prioridad y áreas de conflicto: el siguiente paso consistió en la creación de las reglas de prioridad, las cuales se desarrollaron para cada intersección. En estas reglas se definía el comportamiento que debía seguir un vehículo al pasar de una calle a una carrera o viceversa. Para agregar estas reglas, el usuario tenía que dirigirse a la parte izquierda de su computadora y hacer clic en "Priority Rules". Una vez allí, se definía la ubicación deseada para el otro vehículo con el fin de permitir el cruce del vehículo en cuestión.

Para visualizar las áreas de conflicto, el usuario debía dirigirse a la sección de "áreas conflictivas". En esta sección, se mostraban todos los conflictos presentes en cada una de las intersecciones. Posteriormente, se le otorgaba al usuario la libertad de elección para determinar la configuración óptima que permitiría llevar a cabo la simulación de manera eficiente.

8. Establecer parámetros de simulación: los parámetros de simulación se podían agregar, incluyendo el periodo de la simulación, el número de semilla y demás. Para ello, se debió dar clic en la parte superior en simulación, luego en parámetros y ajustar según fuera necesario.

9. Colocar parámetros de eficiencia: se implementó un contador de cola de vehículos dentro de los parámetros establecidos. Para ello, se procedió a seleccionar la opción "*Queue counters*" y luego se identificó la ubicación adecuada para colocar el contador, según la necesidad identificada en ese momento.

Otro parámetro considerado fue el "*Vehicle Travel*", el cual tenía como función principal medir el tiempo de viaje en tramos específicos de la vía.

Adicionalmente, se instalaron dispositivos en ciertos nodos con el fin de monitorizar los parámetros relacionados con la contaminación ambiental.

10. Generación de video: después de llegar al área de trabajo en 3D, se posicionaron correctamente para iniciar sus labores. Luego, se dirigieron a la cámara para seleccionar el punto de grabación de su simulación y evaluar la perspectiva que deseaban obtener.

### ***1.5.3 Simular diferentes escenarios de la infraestructura peatonal empleando el concepto de pacificación de tránsito.***

**1.5.3.1 Actividad 1: Analizar la información obtenida.** Con base a la información que se obtuvo anteriormente de los puntos que se eligieron para realizar la investigación, se procede a hacer un análisis de los datos por medio de gráficos para poder conocer el volumen y la velocidad vehicular y peatonal, este indicador se calcula en cada punto en específico, se elaboran las gráficas correspondientes y al final lo que se busca con esto es determinar en qué lugar hay mayor flujo vehicular y cuál es la velocidad promedio para llevar a cabo el proyecto. Además, la recolección de datos también sirve de ayuda para saber cómo es el comportamiento de los peatones en el sector y así definir qué soluciones se pueden implementar para el mejoramiento de la infraestructura peatonal.

**1.5.3.2 Actividad 2: Pacificación de tránsito.** Tras llevar a cabo el análisis pertinente, se examinaron las intersecciones presentes en la zona de estudio. Se identificaron las propuestas de señalización y demarcación requeridas para la calle 18, abarcando desde las carreras 33 hasta la 35. Además de las medidas de señalización convencionales, se consideró la posibilidad de implementar estrategias adicionales para la gestión de la velocidad vehicular.

Este tipo de estrategias se podrían implementar en diferentes puntos para alertar a los conductores sobre la velocidad a la que se desplazan y disuadirlos de conducir de manera peligrosa, resultan muy útiles en áreas residenciales y especialmente en zonas escolares, incluyendo la calle considerada.

### ***1.5.4 Micro simulación de tráfico***

Los datos recopilados de los aforos vehiculares y peatonales en las intersecciones que se presentan en la figura 14 fueron incorporados en el programa de micro simulación de tráfico (VISSIM). Esto permitió la visualización tridimensional de las diversas situaciones de tráfico que podrían surgir en

los escenarios subsecuentes. Una vez establecido el escenario base, se utilizó este conjunto de datos para calibrar y validar el modelo de simulación.

**Figura 4.**

*Intersecciones del tramo vial*



Fuente: Google Earth Pro, 2023.

**1.5.4.1 Actividad 1: Escenario Base.** Para tener una base de comparación, es importante simular el escenario actual de la zona en la que se quiere estudiar la infraestructura peatonal. Esto permitió identificar los problemas actuales de la movilidad peatonal, ciclista y las zonas de riesgo vial.

**1.5.4.2 Actividad 2: Escenario con infraestructura peatonal.** Una vez que se tiene un conocimiento del escenario actual, se puede simular el escenario con la infraestructura peatonal propuesta con el concepto de pacificación de tránsito. Se pueden incluir elementos como pasos de peatones, reductores de velocidad, iluminación, entre otros.

**1.5.4.3 Actividad 3: Escenario con tráfico reducido.** Otro posible escenario podría ser reduciendo el tráfico vehicular en ciertas zonas de la calle 18 entre las carreras 33 hasta la carrera 35, la reducción del tráfico vehicular mejora la seguridad vial y puede llegar a fomentar el uso de la movilidad activa. Se puede incluir ciclovías y reducir los carriles de acuerdo con el "Plan de ordenamiento territorial (2015)" de la ciudad de Pasto.

**1.5.4.4 Actividad 4: Escenario con cruces seguros.** Uno de los mejores escenarios que se pudo simular se logró con cruces seguros, considerando que uno de los mayores riesgos para los peatones es cruzar la calle. En este escenario, se prohibieron los giros a la izquierda para los vehículos de manera permanente, cerrando los cruces posibles uniendo los separadores que se encontraban a lo largo de la calle 18.

**1.5.4.5 Actividad 5: toma de decisiones.** Una vez simulados todos los escenarios posibles, se escogió el más adecuado en base a las estadísticas entregadas por el programa VISSIM para que fuera implementado en el diseño definitivo.

## **2. Resultados**

Los resultados presentados en este capítulo fueron el producto de un proceso riguroso de recopilación. Durante dicho proceso, se identificaron los factores que afectan la movilidad del peatón mediante diversas encuestas. Se analizaron las velocidades medias de los vehículos, el aforo de peatones y vehículos, además se evaluó cuál escenario resultaba óptimo según el programa de Vissim. Se consideraron aspectos como reducciones de longitud de la cola, disminución del consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>.

Al exponer de manera clara y detallada estos resultados, el objetivo fue comunicar de manera precisa los objetivos planteados en el trabajo de grado, así como profundizar en las contribuciones significativas que esta investigación aporta al ámbito de estudio.

### **2.1 Resultados – objetivo 1**

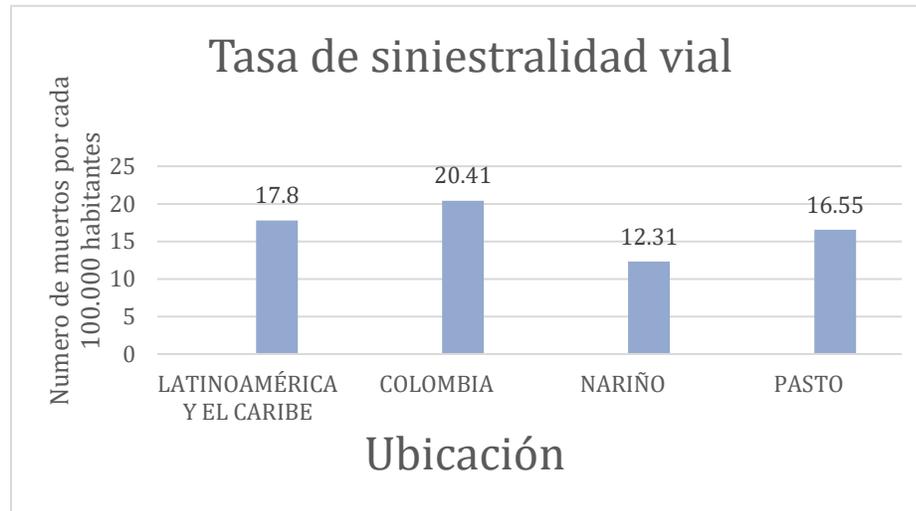
Se describieron los resultados del objetivo específico de identificar los factores que impedían a los peatones movilizarse de manera cómoda y segura. Se encontró que diversos elementos contribuyeron a esta problemática, entre los cuales se destacaron la falta de infraestructura adecuada, como aceras en mal estado o ausencia de pasos peatonales.

#### ***2.1.1 Recolección de datos de siniestros que incluyan a peatones en el sector***

El diagrama de barras presentado ha sido generado utilizando la información recopilada del artículo "Siniestralidad vial en América Latina y el Caribe: desempeño reciente y desafíos futuros" del año 2013, así como los datos obtenidos de la página web de la Agencia Nacional de Seguridad Vial en su informe del año 2023. Estos datos son de suma importancia para analizar y comprender las tasas de siniestralidad vial en nuestra área de estudio, proporcionando una base sólida para la investigación de tesis en curso.

**Figura 5.**

*Tasa de siniestralidad vial*



Fuente: Agencia nacional de seguridad vial, 2024.

En el año 2023, la Agencia Nacional de Seguridad Vial proporcionó datos relevantes sobre incidentes viales en el municipio de Pasto. La Tabla 9 muestra el número de víctimas, tanto lesionadas como fallecidas, durante ese período. Los datos recopilados ofrecen una visión precisa de la magnitud de los eventos relacionados con la seguridad vial en esa localidad durante ese año.

**Tabla 19.***Matriz de colisión del municipio de Pasto 2023 - víctimas*

| <b>Usuario Via</b>              | <b>Motos</b> | <b>N A</b> | <b>Objeto fijo</b> | <b>Otros</b> | <b>Transporte de Carga</b> | <b>Transporte individual</b> | <b>Total</b> |
|---------------------------------|--------------|------------|--------------------|--------------|----------------------------|------------------------------|--------------|
| <b>Peatón</b>                   | 11           |            |                    | 3            | 1                          | 4                            | 19           |
| <b>Usuario de Bicicleta</b>     | 1            | 1          |                    |              |                            |                              | 2            |
| <b>Usuario de Moto</b>          | 4            | 3          | 8                  | 1            | 5                          | 16                           | 37           |
| <b>Usuario de V. Individual</b> |              | 1          | 2                  |              | 2                          |                              | 5            |
| <b>Usuario T. Carga</b>         |              | 2          |                    |              |                            |                              | 2            |
| <b>TOTAL</b>                    | 16           | 7          | 10                 | 4            | 8                          | 20                           | <b>65</b>    |

Fuente: Agencia nacional de seguridad vial (2024)

Además, se hizo uso de los formularios de Google forms donde se recolecto datos por medio de encuesta dirigida a la comunidad estudiantil y a personas que transitan diariamente por este sector. Se realizo con el propósito de recopilar información y datos relevantes sobre la seguridad en la calle 18 entre las carreras 33 y 35, los resultados de esta encuesta sirvieron para identificar los factores que impiden a los peatones movilizarse de una manera cómoda y segura.

En general, la encuesta indica que existe una necesidad de mejorar la seguridad vial en la calle 18 del sector Universidad Mariana. La implementación de las medidas mencionadas anteriormente contribuiría a crear un entorno vial más seguro para todos los usuarios.

Cabe destacar que la encuesta se realizó a una pequeña muestra de personas (100), al haber tomado más de los 30 datos recomendados por la prueba t de Student, se garantizó la calidad y la validez de los resultados, lo que fortaleció la credibilidad de la investigación y las conclusiones que se pudieron extraer de ella, proporcionando información valiosa sobre las principales preocupaciones de los usuarios de la vía en este sector (Ver tabla 10).

**Tabla 20.***Encuesta de percepción a la comunidad estudiantil - Universidad Mariana*

| <b>Preguntas</b>   | <b>Respuestas</b>  |
|--|--|
| Sexo   | - Masculino: 50%<br>- Femenino: 50%  |
| ¿Cómo consideras que es la seguridad vial en la calle 18 - sector Universidad Mariana?                           | - Regular: 76%<br>- Mala: 13%<br>- Buena: 11%  |
| Indique qué participación tiene usted en la vía de manera permanente   | - Peatón: 69%<br>- Pasajero: 8%<br>- Conductor: 23%  |
| ¿Cómo crees que se podría mejorar la seguridad peatonal en este sector para garantizar una mayor seguridad vial? | - Mejorar las aceras y los pasos de peatones: 70%<br>- Reducir la velocidad del tráfico: 42%<br>- Educación vial y concientización: 65%<br>- Mejorar la iluminación y la visibilidad: 34%<br>- Fomentar el uso de transporte público y compartido: 16% |

***Recolección de datos en campo:***

Durante la fase de recolección de datos, se llevaron a cabo diversas actividades en varios campos clave, incluyendo la verificación de la infraestructura peatonal y la toma de aforos vehiculares y de peatones. Estas actividades se ejecutaron meticulosamente para garantizar la precisión y la exhaustividad de los datos recopilados. En el caso de la infraestructura peatonal, se realizó una inspección detallada para evaluar su estado y su adecuación para el tránsito seguro de los peatones. Además, se llevaron a cabo tomas de aforos vehiculares y de peatones en diferentes momentos del día y de la semana para capturar patrones de tráfico y comportamientos de los usuarios de la vía. Estos datos proporcionaron una base sólida para el análisis posterior y la formulación de conclusiones en la investigación.

### 2.1.2 *Inventario Señales de Tránsito en Zona de Intervención*

Estado Señalizaciones que se encuentran en la calle 18 entre las carreras 33 y 35

- Señales de tránsito informativas
- Señales preventivas
- Señales reglamentarias
- Bolardo

#### **Inventario**

**Tabla 21.**

*Inventario*

| Señal                          | Cantidad | Estado  |
|--------------------------------|----------|---------|
| Nomenclatura urbana            | 1        | Bueno   |
| Zona estudiantil               | 8        | Regular |
| Velocidad mínima<br>(30km)     | 5        | Regular |
| Resalto                        | 1        | Malo    |
| Prohibido girar en “u”         | 3        | Regular |
| Prohibido parquear             | 2        | Regular |
| Paradero de buses              | 4        | Regular |
| Postes de alumbrado<br>publico | 13       | Malo    |
| Reductores de<br>velocidad     | 2        | Malo    |
| Bolardos                       | 1        | Bueno   |

|                    |   |         |
|--------------------|---|---------|
| Semáforo vehicular | 2 | Regular |
| Semáforo peatonal  | 3 | Regular |

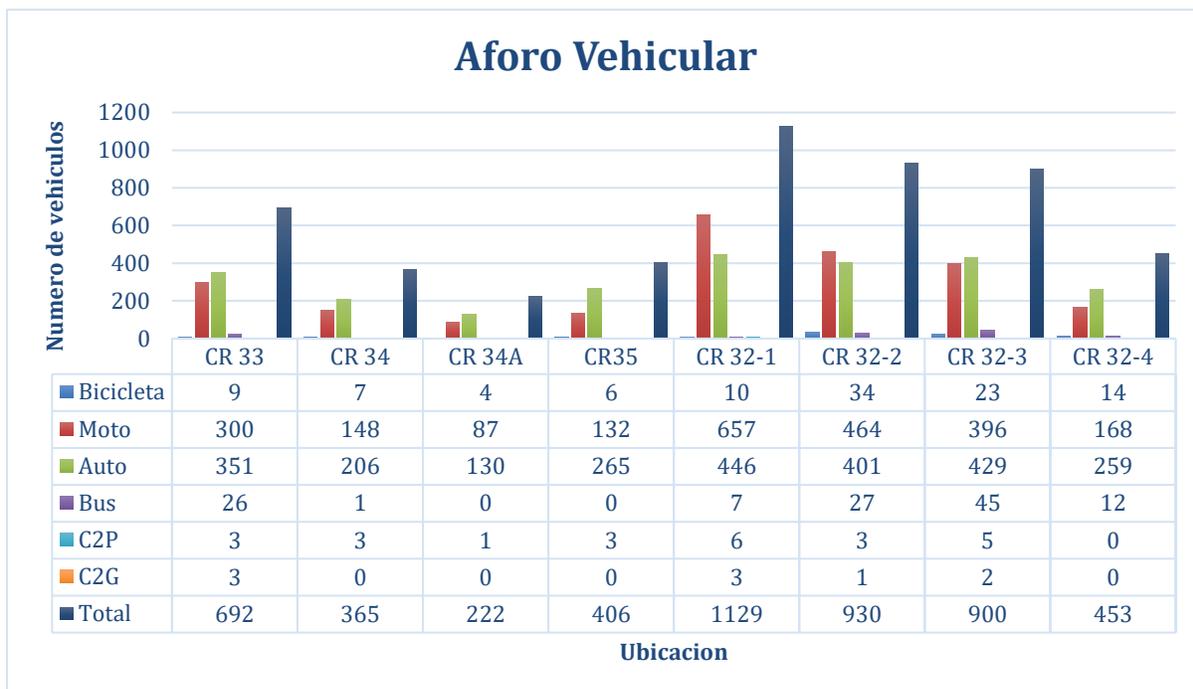
## Resultados Gráficos de Trabajo de Investigación

### 2.1.3 Conteo Vehicular

Tomando los registros de Aforo Vehicular en Calle 18, entre CRA 32 y CRA 35 (ver figura 6), se generó un gráfico que resume el volumen de tráfico vehicular en diferentes franjas horarias y ubicaciones a lo largo de la Calle. Estos conteos se centran en los siguientes horarios: de 6:30 a 9:30, de 11:30 a 2:30 y de 5:30 a 7:30 donde se identificó una alta afluencia vehicular, tales como:

#### Figura 6.

Aforo vehicular motorizado y no motorizado (UND)



Esta visualización proporciona una comprensión clara de los patrones de tráfico en la zona, destacando los momentos de mayor y menor afluencia vehicular, así como los tipos de vehículos predominantes en cada período

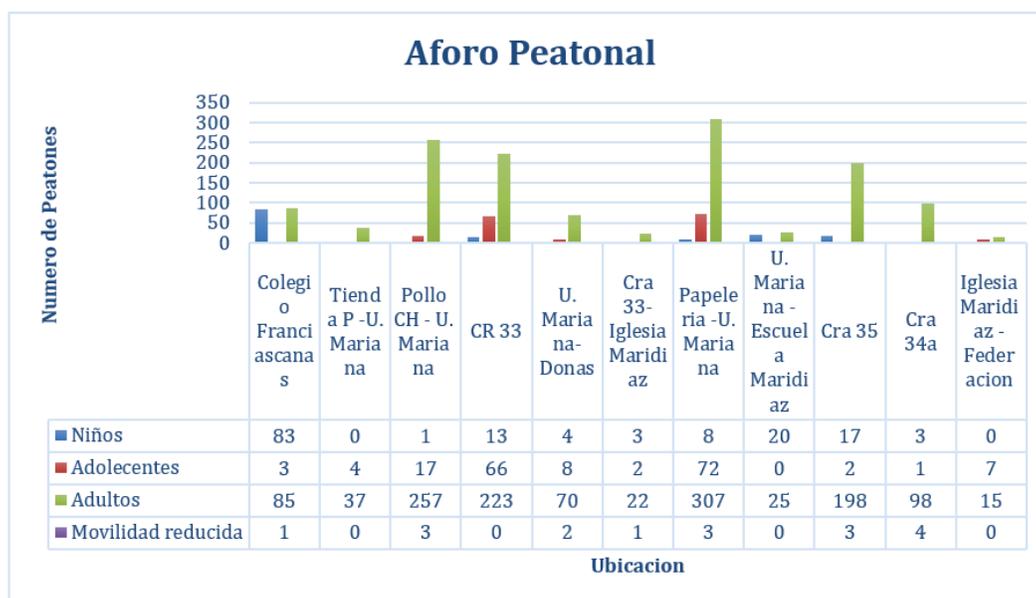
### 2.1.4 Conteo peatonal

Según el análisis del aforo peatonal en las intersecciones de la calle 18 desde la carrera 33 a 35, se determinó que la franja horaria de 12:30 a 1:30 pm es la más transitada del día, Se contabilizó a 938 peatones movilizándose en esa área específica durante ese tiempo.

Es importante resaltar que, dentro de esta franja horaria, se identificó un pico notable en peatones de sexo femenino, alcanzando un total de 528 mujeres transitando por esa zona. Este dato específico puede ser crucial para entender la distribución demográfica y los patrones de movimiento en este lugar durante el mediodía (Ver Figura 7).

**Figura 7.**

*Aforo peatonal de niños, adolescentes, adultos y movilidad reducida (UND)*



### **2.1.5 Capacidad y nivel de servicio.**

La capacidad de la calle 18 entre las carreras 33 y 35 de la ciudad de Pasto, Nariño, se estimó en 1125 vehículos (ADES) por hora, lo que indicaba la cantidad máxima de vehículos que podía manejar de manera eficiente en un lapso de una hora. Es importante destacar que, a partir de esta capacidad y el análisis de datos, la calle ya mencionada se asoció con un nivel de servicio clasificado como D. En la escala de niveles de servicio de *Highway Capacity Manual (2016)*, la categoría D sugiere condiciones en las que la capacidad de la calle está alcanzando su límite, lo que puede traducirse en un flujo vehicular que experimenta restricciones y ciertas limitaciones, por lo tanto, requiere una atención especial para poder implementar estrategias adecuadas en busca de mejorar su rendimiento.

### **2.1.6 Estudio de velocidades**

Para llevar a cabo el estudio de velocidades, se identificó la población objetivo de 1125 vehículos que transitan en los 400 metros estudiados, a partir de la cual se calculó la muestra representativa con un porcentaje de confianza del 96%, dando como resultado 200 vehículos.

Para el análisis de la muestra se empleó el método del cronometro, calculando la velocidad de punto. Consistió en registrar el tiempo que los vehículos, incluyendo motocicletas, autobuses, camiones y bicicletas, tardaron en recorrer una distancia específica de 30 metros, desde un punto A hasta un punto B. Este proceso se replicó con una muestra representativa de 200 vehículos, durante los tres horarios pico en la calle 18 de la ciudad de Pasto.

El propósito principal fue obtener un panorama amplio y detallado de las velocidades en esa zona. A partir de los datos recopilados, se aplicaron métodos estadísticos y ecuaciones de velocidad de punto para analizar los resultados. Estos cálculos permitieron determinar y precisar las velocidades promedio alcanzadas por los distintos tipos de vehículos en ese contexto específico. (ver tabla 22).

**Tabla 22.***Velocidad de punto*

| Tipo de vehículo | Velocidad media de punto (Km/h) | Desviación estándar (Km/h) | Error estándar de la media (Km/h) | Velocidad media verdadera (Km/h) |        | Error máximo (Km/h) |
|------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------|---------------------|
|                  |                                 |                            |                                   | Mínima                           | Máxima |                     |
| <b>Carros</b>    | 43.40                           | 9.82                       | 1.39                              | 40.62                            | 46.18  | 2.78                |
| <b>Motos</b>     | 47.88                           | 7.76                       | 1.10                              | 45.68                            | 50.08  | 2.20                |
| <b>Bus</b>       | 35.04                           | 4.11                       | 0.58                              | 33.88                            | 36.20  | 1.16                |
| <b>Camión</b>    | 7.84                            | 6.35                       | 0.90                              | 6.04                             | 9.64   | 1.80                |
| <b>Bicicleta</b> | 28.60                           | 7.33                       | 1.04                              | 26.53                            | 30.67  | 2.07 <sup>i</sup>   |

### 2.1.7 Longitud de la cola

El propósito del estudio consistió en realizar un análisis del cuello de botella en el tramo de la calle 18, que se extendía entre la carrera 33 y la carrera 35. Para ello, se determinó previamente la capacidad y el nivel de servicio, obteniendo un resultado de 1125 vehículos (ADES) por hora. Estos parámetros se evaluaron durante la hora pico, definida como el intervalo temporal con el flujo vehicular más alto en la arteria vial analizada, como se muestra en la figura 16 y basándose en la ecuación 7.

- $\lambda_1 = 453 \frac{veh}{h}$
- $\lambda_2 = 1129 \frac{veh}{h}$
- $\lambda_3 = 930 \frac{veh}{h}$
- $\lambda_4 = 900 \frac{veh}{h}$

A continuación, Se calculó la duración del congestionamiento con la ecuación 7 y el valor obtenido es de 1.02 horas o 61 minutos. La disipación de la cola se observó aproximadamente una hora después, momento en el cual se evidenció un retorno al flujo vehicular considerado normal durante las horas pico.

### ***2.1.8 Longitud máxima de la cola***

El máximo número de vehículos en la cola ocurre al final de periodo  $t_2$  y será aquella demanda acumulada que no es servida durante este periodo de mayor demanda. Donde se obtuvo según la ecuación 8 una longitud máxima de la cola de 4 vehículos.

### ***2.1.9 Nivel de servicio de la acera***

La acera de la calle 18 entre las carreras 33 y 35 de la ciudad de Pasto, Nariño, se encuentra en un nivel de servicio D, lo que indica que, en general, proporciona una capacidad aceptable para el flujo peatonal, pero con ciertas limitaciones y desafíos. Los peatones pueden experimentar congestión y retrasos en momentos de mayor actividad, lo que puede dificultar el movimiento fluido y cómodo especialmente en horas pico o áreas con alta concentración de personas.

## **2.2 Resultados – objetivo 2**

Se describieron los procedimientos utilizados para cumplir el objetivo específico de simular diversos escenarios utilizando el concepto de pacificación del tránsito. El propósito era seleccionar el escenario más adecuado para su implementación en el diseño final.

### ***2.2.1 Modelación de la situación actual***

La comprensión detallada de la movilidad urbana era esencial para el desarrollo de estrategias de transporte eficientes y la planificación urbana sostenible. Las herramientas de simulación de

tráfico, como VISSIM, jugaban un papel fundamental al permitir la recreación precisa de entornos urbanos, lo que facilitaba el análisis y comprensión del comportamiento del tráfico vehicular.

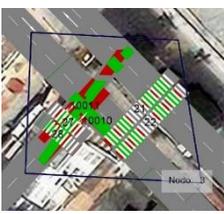
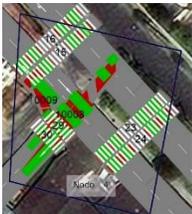
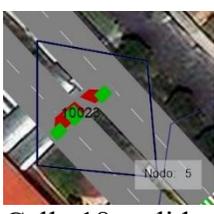
En este contexto, se optó por realizar una simulación utilizando VISSIM para modelar la situación actual en la calle 18 entre las carreras 33 y 35. Para llevar a cabo esta simulación, fue necesario recopilar datos específicos que garantizaran la precisión y veracidad del modelo. Esto incluyó aforos vehiculares, conteos de peatones, información detallada sobre la composición vehicular, así como datos de velocidad para cada tipo de vehículo.

La decisión se fundamentó en la importancia de comprender el flujo vehicular y peatonal en esa área específica, para obtener información relevante para futuras mejoras en la infraestructura vial y en la gestión del tráfico en la ciudad.

Se decidió establecer puntos de observación donde se analizaría el flujo vehicular, el consumo de combustible, la longitud de las colas, entre otros aspectos. Se eligió examinar estos puntos de intersección para identificar las zonas de mayor conflicto, considerando tanto el entorno real como los datos proporcionados por el programa. Estos puntos se encontraban principalmente en las entradas de colegios y universidades de la zona, donde había una alta concentración de peatones. (Ver Tabla 23).

**Tabla 23.**

*Nodos ubicados en zonas estratégicas de la ciudad de Pasto*

| 1   | 2   | 3   | 4  | 5   |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
| Calle 18 – CRA<br>33  | Calle 18-cra 35   | Calle 18- CRA<br>34 <sup>a</sup>  | Calle 18- 34   | Calle 18- salida<br>Escuela Maridiaz  |

**Resultados Escenario Base**

En el desarrollo de la tesis, se presentó la Tabla 14, la cual describía los resultados obtenidos del programa VISSIM tras llevar a cabo la micro simulación.

**Tabla 24.***Escenario base*

| Ítems \ Nodos                      | Escenario – Base |       |       |       |       |
|------------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                    | 1                | 2     | 3     | 4     | 5     |
| Longitud de Cola (m)               | 2,95             | 0,21  | 0,03  | 2,73  | 0     |
| Longitud máxima de Cola (m)        | 49,43            | 23,79 | 21,69 | 57,99 | 10,86 |
| Nº de Vehículos                    | 259              | 269   | 269   | 294   | 253   |
| Nivel de servicio                  | B                | B     | A     | C     | A     |
| Nivel de servicio (Valor numérico) | 2                | 2     | 1     | 3     | 1     |
| Retraso (seg)                      | 2,88             | 0,30  | 0,37  | 1,48  | 0,05  |
| Nº de paradas                      | 0,26             | 0,18  | 0,16  | 0,27  | 0,02  |
| Emisión de CO2 (g)                 | 70,50            | 59,76 | 60,04 | 91,63 | 41,15 |
| Emisión de NOX (g)                 | 13,72            | 11,63 | 11,68 | 17,83 | 8,01  |
| Emisión de VOC (g)                 | 16,34            | 13,85 | 13,91 | 21,24 | 9,54  |
| Consumo de combustible (GAL)       | 1,01             | 0,86  | 0,86  | 1,31  | 0,59  |

**2.2.2 Escenario – Cruces seguros**

Un escenario de cruces seguros se define como un entorno vial diseñado específicamente para priorizar la seguridad de los usuarios más vulnerables de las vías, como peatones y ciclistas, al cruzar las calles. En ese escenario, se planeó cerrar todos los cruces a lo largo de la vía donde los

vehículos solían realizar giros a la izquierda, dejando un único separador vial desde la carrera 33 hasta la carrera 35.

La ampliación de ese separador vial no solo contribuyó a proteger el medio ambiente al permitir la creación de zonas verdes o jardineras, sino que también aumentó la cobertura vegetal en el área urbana, mejorando así la calidad del aire y la estética del entorno. Además, la decisión de prohibir giros a la izquierda en las intersecciones tenía como objetivo principal optimizar el flujo vehicular y mejorar la seguridad vial. Aunque esa medida pudo haber generado controversia, ofrecía varias ventajas (ver tabla 25) que la convertían en una opción viable para mejorar la movilidad urbana.

**Tabla 25.**

*Caracterización y requerimientos - Cruces seguros*

| <b>Característica</b>                       | <b>Requerimiento</b>   |
|---|--|
| <b>Priorización de la seguridad vial</b>    | Diseñar un entorno vial que priorice la seguridad de los peatones y ciclistas al cruzar las calles.  |
| <b>Cierre de cruces</b>                     | Cerrar todos los cruces a lo largo de la vía donde los vehículos suelen hacer giros a la izquierda, dejando un único separador vial desde la carrera 33 hasta la carrera 35.     |
| <b>Ampliación del separador vial</b>        | Ampliar el separador vial para crear zonas verdes o jardineras, aumentando la cobertura vegetal en la zona urbana y mejorando la calidad del aire y la estética del entorno.     |
| <b>Protección del medio ambiente</b>        | Contribuir a la protección del medio ambiente mediante la creación de áreas verdes y el aumento de la cobertura vegetal.   |
| <b>Optimización del flujo vehicular</b>     | Prohibir giros a la izquierda en las intersecciones para optimizar el flujo vehicular y mejorar la seguridad vial.   |
| <b>Controversia y ventajas de la medida</b> | Reconocer que la prohibición de giros a la izquierda puede generar controversia, pero que ofrece ventajas significativas en términos de mejora de la movilidad y seguridad vial. |

En el desarrollo de la tesis, se presentó la Tabla 26, la cual describía los resultados obtenidos del programa VISSIM tras llevar a cabo la microsimulación.

**Tabla 26.**

*Escenario - cruces seguros*

| ITEMS\ NODOS                       | Escenario - Cruces seguros |       |       |       |       |
|------------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                    | 1                          | 2     | 3     | 4     | 5     |
| Longitud de Cola (m)               | 1,29                       | 1,47  | 0,11  | 0,11  | 0     |
| Longitud máxima de Cola (m)        | 69,03                      | 39,55 | 13,47 | 13,21 | 0     |
| N° de Vehículos                    | 234                        | 281   | 287   | 309   | 236   |
| Nivel de servicio                  | A                          | A     | A     | A     | A     |
| Nivel de servicio (Valor numérico) | 1                          | 1     | 1     | 1     | 1     |
| Retraso (seg)                      | 3,88                       | 0,48  | 0,08  | 0,11  | 0,01  |
| N° de paradas                      | 0,20                       | 0,10  | 0,04  | 0,05  | 0     |
| Emisión de CO2 (g)                 | 62,48                      | 52,66 | 40,36 | 54,69 | 34,17 |
| Emisión de NOX (g)                 | 12,16                      | 10,25 | 7,85  | 10,64 | 6,65  |
| Emisión de VOC (g)                 | 14,48                      | 12,20 | 9,35  | 12,67 | 7,92  |
| Consumo de combustible (GAL)       | 0,89                       | 0,75  | 0,58  | 0,78  | 0,49  |

### 2.2.3 Escenario – Trafico reducido

El objetivo de este estudio es evaluar el impacto de las medidas de pacificación de tráfico, como la reducción de carril y la creación de ciclovías en la calle 18 entre la carrera 33 y la carrera 35 en Pasto (Municipio de Pasto, 2015, p. 162). Se busca analizar cómo estas acciones afectan diversos aspectos del tráfico urbano, incluida la fluidez del tránsito, los tiempos de viaje, la seguridad vial y la calidad del aire. Los resultados obtenidos se utilizarán para proporcionar información valiosa a los planificadores urbanos y autoridades de tránsito, facilitando la toma de decisiones relacionadas con la gestión del transporte y la planificación de la infraestructura vial. (ver tabla 27)

**Tabla 27.***Caracterización y requerimientos - Tráfico reducido*

| <b>Característica</b>                        | <b>Requerimiento</b>   |
|--|--|
| <b>Reducción de carril</b>                   | Implementar una reducción de carril en la calle 18 entre la carrera 33 y la carrera 35.  |
| <b>Creación de ciclovías</b>                 | Establecer nuevas ciclovías en la misma área mencionada.   |
| <b>Evaluación del impacto</b>                | Evaluar el impacto de estas medidas en varios aspectos del tráfico urbano, como la fluidez del tránsito, los tiempos de viaje, la seguridad vial y la calidad del aire.  |
| <b>Información para planificación urbana</b> | Proporcionar datos y resultados que sean útiles para los planificadores urbanos y las autoridades de tránsito en la toma de decisiones relacionadas con la gestión del transporte y la planificación de la infraestructura vial. |

En el desarrollo de la tesis, se presentó la Tabla 28, la cual describía los resultados obtenidos del programa VISSIM tras llevar a cabo la micro simulación.

**Tabla 28.***Escenario - Tráfico reducido*

| <b>Ítems\ Nodos</b>                | <b>Escenario - Trafico Reducido</b> |          |          |          |          |
|------------------------------------|-------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
|                                    | <b>1</b>                            | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
| Longitud de Cola (m)               | 4,08                                | 0,53     | 0,30     | 3,39     | 0,27     |
| Longitud máxima de Cola (m)        | 50,77                               | 28,80    | 36,16    | 61,69    | 22,69    |
| N° de Vehículos                    | 226                                 | 278      | 303      | 341      | 258      |
| Nivel de servicio                  | A                                   | B        | A        | D        | A        |
| Nivel de servicio (Valor numérico) | 1                                   | 2        | 1        | 4        | 1        |
| Retraso (seg)                      | 4,63                                | 0,26     | 0,27     | 3,44     | 0,41     |
| N° de paradas                      | 0,37                                | 0,21     | 0,11     | 0,66     | 0,07     |
| Emisión de CO2 (g)                 | 82,90                               | 66,13    | 52,02    | 149,92   | 50,93    |
| Emisión de NOX (g)                 | 16,13                               | 12,87    | 10,12    | 29,17    | 9,91     |
| Emisión de VOC (g)                 | 19,21                               | 15,33    | 12,06    | 34,75    | 11,80    |
| Consumo de combustible (GAL)       | 1,19                                | 0,95     | 0,74     | 2,15     | 0,73     |

#### 2.2.4 Escenario – infraestructura peatonal

En el escenario propuesto, se han implementado medidas de infraestructura peatonal destinadas a proporcionar un entorno seguro para los peatones, reduciendo así el riesgo de accidentes y mejorando la seguridad vial tanto para peatones como para conductores. Además, estas medidas fomentan un estilo de vida activo al promover la caminata como una forma de transporte. Se demostró que caminar regularmente podía contribuir significativamente a mejorar la salud física y mental, lo que a su vez podía mejorar la calidad de vida de la población.

En el escenario propuesto se implementó:

##### *Mejora de la Iluminación:*

A continuación, se presenta la tabla 19 que hace referencia a la caracterización y requerimientos de iluminación.

**Tabla 29.**

*Caracterización y requerimientos Mejora de Iluminación*

| <b>Elemento</b>                  | <b>Mejora de la Iluminación</b>   |
|----------------------------------|---|
| <b>Objetivo</b>                  | Fomentar el uso peatonal de áreas urbanas durante la noche, contribuyendo a la vitalidad y actividad de la comunidad, y mejorando la calidad de vida de los peatones.   |
| <b>Requisitos de instalación</b> | De acuerdo con la Ley 697 de 2001 del Ministerio de Minas y Energía, los postes de iluminación deben instalarse a una distancia mayor o igual a 0,6 m de la orilla del sardinel y con una distancia entre postes de 20 a 45 metros. |

*Resaltos:*

A continuación, se presenta la tabla 20 que hace referencia a la caracterización y requerimientos de resaltos.

**Tabla 30.***Caracterización y requerimientos - resaltos*

| <b>Elemento</b>                  | <b>Resaltos</b>  |
|----------------------------------|--|
| <b>Objetivo</b>                  | Reducir la velocidad del tráfico vehicular y mejorar la seguridad de los peatones en zonas de cruce.   |
| <b>Requisitos de instalación</b> | Identificar áreas críticas de la intersección donde la velocidad del tráfico sea alta y el riesgo de colisión con peatones sea mayor. Instalar resaltos en estas ubicaciones para desacelerar automáticamente a los conductores y proporcionar un entorno más seguro para los peatones al cruzar la calle. |

En el desarrollo de la tesis, se presentó la Tabla 21, la cual describía los resultados obtenidos del programa VISSIM tras llevar a cabo la microsimulación.

**Tabla 31.***Escenario Infraestructura Peatonal*

| <b>ITEMS\ NODOS</b>                | <b>Escenario - Infraestructura peatonal</b> |          |          |          |          |
|------------------------------------|---|----------|----------|----------|----------|
|                                    | <b>1</b>                                    | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
| Longitud de Cola (m)               | 4,28  | 0,47     | 0,85     | 0,91     | 0        |
| Longitud máxima de Cola (m)        | 49,43                                       | 30,05    | 23,09    | 25,40    | 0        |
| N° de Vehículos                    | 255   | 264      | 287      | 351      | 245      |
| Nivel de servicio                  | B   | B        | B        | C        | A        |
| Nivel de servicio (Valor numérico) | 2   | 2        | 2        | 3        | 1        |
| Retraso (seg)                      | 3,50  | 0,51     | 1,04     | 1,19     | 0,09     |
| N° de paradas                      | 0,27  | 0,22     | 0,32     | 0,30     | 0,03     |
| Emisión de CO2 (g)                 | 75,25                                       | 65,29    | 73,87    | 89,78    | 44,81    |
| Emisión de NOX (g)                 | 14,64                                       | 12,70    | 14,37    | 17,47    | 8,72     |
| Emisión de VOC (g)                 | 17,44                                       | 15,13    | 17,12    | 20,81    | 10,38    |
| Consumo de combustible (GAL)       | 1,08  | 0,93     | 1,06     | 1,28     | 0,64     |

### **3. Conclusiones**

Teniendo en cuenta que la longitud de la cola era un indicador clave para medir la congestión, según los resultados obtenidos en los tres escenarios, se pudo inferir que el escenario con la menor longitud de la cola se presentaba en el escenario de cruces seguros con el 0,52%. Esto contrastaba con los escenarios de tráfico reducido, infraestructura peatonal y el escenario base, los cuales tenían un porcentaje de 1.8%, 1.67% y 1.5% de longitud de cola respectivamente. Este porcentaje se obtuvo analizando los resultados de cada nodo, lo que indicaba que había una menor cantidad de vehículos esperando para avanzar.

Luego de realizar la reducción de los carriles y la implementación de la ciclovía, es evidente la gran reducción del volumen vehicular, la cual se redujo hasta en un 13%. Con la información obtenida del programa, se pudo identificar que en el nodo uno, el volumen vehicular pasó de 259 a 226 vehículos con respecto al escenario base en el escenario de tráfico reducido.

Tomando como referencia el escenario base, el cual según el programa arrojaba que el nivel de servicio era de tipo C, lo que significaba que en ciertos tramos la velocidad de operación y la capacidad de la vía se acercaban a su máximo, era importante tener en cuenta que este nivel podía ser objeto de mejora continua.

Gracias a la simulación de los tres escenarios y según los criterios en los que se basaba VISSIM (velocidad de los vehículos, tiempo de retraso, longitud de las colas y densidad del tráfico), se encontró una mejora significativa en el escenario de cruces seguros. Esto se reflejó en cada nodo evaluado con un nivel de servicio tipo A, lo que significaba que había un flujo vehicular libre, con una velocidad de operación alta, sin restricciones, sin retrasos y, por lo tanto, sin congestión.

En el escenario de cruces seguros, al presentar un flujo libre donde hay menos paradas y arranques de los vehículos, se observa que hay menos consumo de combustible, lo que conlleva a una reducción considerable de emisión de CO<sub>2</sub>. Se pudo evidenciar que los resultados arrojados

por el programa indicaban que, en promedio, se obtuvo una reducción del 23% en el consumo de combustible con respecto al escenario base.

Con respecto a la encuesta de percepción realizada a la comunidad estudiantil de la Universidad Mariana, se pudo observar que había un equilibrio de género, ya que el 50% de la muestra eran mujeres y el 50% eran hombres. Esto significaba que no había un sesgo significativo hacia ningún género. También se mostró que la mayoría de los estudiantes de la Universidad Mariana participaban en la vía de manera permanente como peatones. Esto podría deberse a que algunos estudiantes vivían cerca de la universidad.

En función de los objetivos planteados en este trabajo de investigación, el escenario que fue implementado en el diseño final cumplió con las expectativas previamente establecidas. Los resultados obtenidos a través de la simulación de cruces seguros evidenciaron una reducción significativa del flujo vehicular. Esto implicó una disminución considerable de la congestión vehicular, la contaminación del aire y el ruido excesivo que se generaba en algunas ocasiones. Estos aspectos beneficiaron directamente al peatón, ofreciéndole una mayor seguridad vial. Las personas que transitaban por este sector estaban menos expuestas a presenciar siniestros viales. Por otro lado, la reducción del tráfico vehicular contribuyó a mejorar la calidad del aire, generando un ambiente más saludable para los peatones, especialmente para niños, adultos mayores y personas con problemas respiratorios. Otro aspecto muy importante a tener en cuenta es que con la reducción del flujo vehicular se esperaba que las personas se incentivaran a optar por caminar como medio de transporte, lo que se traduciría en un aumento de la actividad física y la adopción de hábitos de vida más saludables.

En conclusión, tras un análisis detallado y considerando cada ítem evaluado en el programa, se decidió que el escenario óptimo para implementar en el diseño final de la calle 18 entre la carrera 33 y 35 era el escenario de cruces seguros. Este escenario presentaba las siguientes ventajas (ver tabla 32):

**Tabla 32.**

*Ventajas escenario cruces seguros*

| <b>Ventajas</b>                           |  |
|---|--|
| <b>1. Reducción de Congestión:</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elimina los puntos de conflicto donde los vehículos que giran a la izquierda esperan un espacio en el tráfico contrario, lo que agiliza el flujo vehicular.</li> <li>• Disminuye el tiempo de espera en los semáforos, optimizando la sincronización y el movimiento general de los vehículos.</li> </ul>   |
| <b>2. Mejora de la Seguridad Vial:</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce significativamente el riesgo de siniestralidad por colisiones entre vehículos que giran a la izquierda y los que circulan en sentido contrario.</li> <li>• Disminuye las posibilidades de choques con peatones o ciclistas que cruzan la intersección.</li> <li>• Minimiza los riesgos asociados a la imprudencia de conductores que intentan giros en espacios reducidos o con alta velocidad.</li> </ul> |
| <b>3. Mayor Eficiencia en el Tráfico:</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite un flujo vehicular más continuo y fluido, especialmente en intersecciones con alto volumen de tráfico.</li> <li>• Aumenta la capacidad de la intersección al eliminar los puntos de espera y congestión.</li> <li>• Facilita el desplazamiento de vehículos de emergencia y transporte público.</li> </ul>  |
| <b>4. Impacto Ambiental Positivo:</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce las emisiones de gases contaminantes al disminuir el tiempo de espera y la congestión vehicular.</li> <li>• Optimiza el consumo de combustible al evitar arranques y paradas constantes.</li> <li>• Promueve la movilidad sostenible al incentivar el uso de medios de transporte alternativos como el transporte público o la bicicleta.</li> </ul>   |

#### **4. Recomendaciones**

Se recomendará mejorar las modelaciones en VISSIM para obtener datos más precisos y simular nuevos escenarios, como la inclusión de transporte público y carriles exclusivos para bicicletas. Se sugerirá que la ampliación del área de estudio para abarcar zonas aledañas permitirá evaluar de manera más holística el impacto de las intervenciones propuestas. La incorporación de variables adicionales, tales como el impacto económico y la percepción de seguridad, será identificada como una forma de enriquecer la comprensión integral de las dinámicas urbanas y sus efectos.

Adicionalmente, se destacará la importancia de realizar estudios longitudinales para observar los efectos a largo plazo de las intervenciones, permitiendo así una evaluación más robusta de su sostenibilidad y eficacia en el tiempo. Estas recomendaciones estarán orientadas a contribuir a una planificación urbana más eficiente y sostenible.

Se propondrá también brindar a los estudiantes capacitación específica y acceso a licencias del programa PTV VISSIM. Esta iniciativa tendrá como objetivo facilitar la creación de escenarios con una mayor calibración, asegurando que los futuros profesionales estén mejor preparados para enfrentar desafíos reales.

Finalmente, se considerará beneficioso que la validación de los modelos de simulación se lleve a cabo mediante pruebas piloto en la vida real. Esta práctica permitirá contrastar las predicciones del software con resultados empíricos, fortaleciendo la confianza en las modelaciones y mejorando la precisión de las intervenciones urbanas. En conjunto, estas recomendaciones buscarán promover un enfoque más riguroso y comprehensivo en la planificación y gestión del espacio urbano.

## **Referencias bibliográficas**

- Burgos, F. A. G. (2008). Recomendaciones de diseño para infraestructura peatonal en Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería*, 17(25).
- Cepal. (2013). Siniestralidad vial en América Latina y el Caribe: desempeño reciente y desafíos futuros. Recuperado 19 de febrero de 2023.
- Constitución Política de Colombia. (1991). Constitución política de 1991. Obtenido de <http://www.constitucioncolombia.com/titulo-2/capitulo-2/articulo-53>
- Ecologistas en Acción. (2017). Ideas y buenas prácticas para la movilidad sostenible. Madrid: Ecologistas en Acción.
- Hernández, C. G., Juárez, C. A. M., Avila, E. O., & Grijalva, G. R. D. (2021, 7 diciembre). Características de los siniestros viales en adultos mayores mexicanos durante 2015 a 2019. *Trayectorias Humanas Transcontinentales*. <https://www.unilim.fr/trahs/4328>
- Manual de señalización INVIAS. (2015).
- Matiz, E. I. C. (2013). Impacto socio espacial de la peatonalización de la carrera séptima. *Revista De Investigación*, 6(2), 227-236.
- Organización Mundial de la Salud, Banco Mundial, & Federación Internacional del Automóvil. (2013). Seguridad peatonal: manual de seguridad vial para instancias decisorias y profesionales.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS). (2023, 7 noviembre). Implementación de medidas de seguridad vial prioritarias en América Latina y el Caribe. Organización Panamericana de la Salud. <https://www.paho.org/es/documentos/implementacion-medidas-seguridad-vial-prioritarias-america-latina-caribe>

Propuesta de Pacificación en la ciudad de Pasto. (s.f.). LA, E. H. D. P. A. Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial.

Secretaría de Movilidad de Bogotá. (2022).

Tinumbia, N., Meutia, W., & Suryaatmaja, G. (2022). The evaluation of pedestrian facilities in Universitas Pancasila area. *Jurnal Infrastruktur*, 8(1), 61-69.

AESA-Agencia Estatal de Seguridad Aérea - Ministerio de Fomento. (2023).

Ahorra Seguros México. (2023).

---