

# DISEÑAR UNA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA PARA LA SEGURIDAD VIAL EN LA RUTA CAJICÁ – ZIPAQUIRÁ PR23

Ing. Fabian Andrés Cedeño Manrique



Diseño y Construcción de Obras de Infraestructura y Edificaciones, Facultad de Ingenierías,

Programa de Ingeniería Civil

Universidad la Gran Colombia

Bogotá

2024

**Título del Trabajo de Grado: (DISEÑAR UNA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA  
INFRAESTRUCTURA PARA LA SEGURIDAD VIAL EN LA RUTA CAJICÁ – ZIPAQUIRÁ  
PR23)**

**Ing. Fabian Andrés Cedeño Manrique**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de (Especialista en  
Diseño y Construcción de Obras de Infraestructura y Edificaciones)**

**Asesor: Ing. Nancy Cifuentes Ospina**



**Diseño y Construcción de Obras de Infraestructura y Edificaciones, Facultad de  
Ingenierías, Facultad de Ingeniería Civil**

**Universidad la Gran Colombia**

**Bogotá**

**2024**

**Dedicatoria**

A mi esposa Jenny Patricia Manrique Farigua, por la incondicionalidad y apoyo en cada una de las etapas de mi vida, a mi hijo Andrés Jerónimo Cedeño Manrique como muestra de que los proyectos con dedicación y disciplina son posibles lograrlos.

**Agradecimientos**

A mi familia por el ánimo, la fortaleza y la inspiración de no desistir en la consecución de este logro.

A mi madre por ser la inspiración, el acompañamiento, apoyo emocional y económico.

A la ingeniera Nancy Cifuentes, por la paciencia y dedicación en cada una de las fases del proyecto, la guía y orientación brindada me llevaron a lograr los propósitos planteados, la universidad por la disposición en cada uno de los elementos necesarios para llegar al final de esta meta.

## Tabla de contenido

<b>RESUMEN</b> .....	<b>9</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>10</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>12</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
OBJETIVO GENERAL.....	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>16</b>
<b>MARCO REFERENCIAL</b> .....	<b>21</b>
MARCO NORMATIVO .....	21
MARCO GEOGRÁFICO.....	22
MARCO TEÓRICO .....	25
<i>Inspecciones de seguridad Vial</i> .....	26
<i>Diferencia entre una ASV y una Inspección de Seguridad Vial (ISV)</i> .....	26
<i>Tipos de Inspecciones Viales</i> .....	26
<i>Características de una ASV /ISV</i> .....	27
<i>Factores que Influyen en la Seguridad Vial</i> .....	28
<i>Diseño Geométrico de Vías</i> .....	28
<i>Indicadores de Mortalidad</i> .....	29
<i>Riesgos</i> .....	29
<i>Evaluación de Riesgos en Seguridad Vial</i> .....	30
<i>Diseño Seguro de Carreteras</i> .....	30
<i>Software para Modelación</i> .....	30

<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>32</b>
CARACTERIZACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS EN LA RUTA EN ESTUDIO.....	32
<i>Matriz de coalición para fallecidos.....</i>	33
<i>Mapa de calor fallecidos en el perímetro zona estudio.....</i>	38
<i>Geometría actual de la vía.....</i>	39
GEOMETRÍA Y DE RIESGOS DE LA VÍA EN LA ZONA DE ESTUDIO A PARTIR DE LA INSPECCIÓN DE SEGURIDAD VIAL .....	41
<i>Tramo vial sentido Cajicá - Zipaquirá .....</i>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Tramo vial sentido Zipaquirá - Cajicá .....</i>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Evaluación de velocidades en la zona estudio .....</i>	46
MODELACIÓN LA POSIBLE MEJORA DE INFRAESTRUCTURA DE LA GEOMETRÍA Y DEL TRÁNSITO DE LA VÍA .....	50
1. <i>Modelo de la mejora a la geometría de la vía, por medio del software CIVIL 3D:</i>	50
2. <i>Modelo de la mejora aplicada al tramo vial, por medio del software VISSIM .....</i>	52
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>54</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>LISTA DE REFERENCIA.....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>74</b>

**Lista de Figuras**

<b>Figura 1.</b> Infraestructura Vial Municipio de Cajicá Cundinamarca .....	23
<b>Figura 2.</b> Ubicación del tramo estudio ruta Cajicá-Zipaquirá PR23 .....	24
<b>Figura 3.</b> Sector crítico por velocidad identificado por el Observatorio Nacional de.....	34
<b>Figura 4.</b> Mapa de calor fallecidos en la zona estudio .....	38
<b>Figura 5.</b> Geometría y componentes de la vía .....	39
<b>Figura 6.</b> Composición de la vía detallada .....	40
<b>Figura 7.</b> Modelo civil 3D generado para la mejora de infraestructura.....	51
<b>Figura 8.</b> Modelación VISSIM.....	53
<b>Figura 9.</b> Mejora de la geometría y composición da la vía .....	55
<b>Figura 10.</b> Detalle de la geometría y composición de la vía aplicando las mejoras del presente proyecto.....	56
<b>Figura 11.</b> Detalle de la geometría vista 3D.....	57
<b>Figura 12.</b> Detalle de la geometría vista 3D.....	57
<b>Figura 13.</b> Detalle de la geometría vista 3D.....	58
<b>Figura 14.</b> Detalle de la geometría vista 3D.....	58
<b>Figura 15.</b> Detalle de la geometría vista 3D.....	59
<b>Figura 16.</b> Modelación VISSIM en la geometría del tramo estudio.....	59
<b>Figura 17.</b> Velocidad vs Flujo .....	62
<b>Figura 18.</b> Velocidad vs Flujo (50km/h) .....	63

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1.</b> Características AS/ISA fuente (ANSV Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2021).....	28
<b>Tabla 2.</b> Matriz de coalición Fallecidos 2023 Fuente: (Observatorio Nacional de Seguridad vial, Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2023).....	33
<b>Tabla 3.</b> Caracterización de siniestros en la zona de influencia.....	35
<b>Tabla 4.</b> Fallecidos en Zona Estudio.....	36
<b>Tabla 5.</b> Resultado indicador fallecidos y accidente en la zona estudio.....	37
<b>Tabla 6.</b> Clasificación y consolidación de hallazgos .....	44
<b>Tabla 7.</b> Resumen priorización de hallazgos.....	45
<b>Tabla 8.</b> Transito Promedio Diario – TPD ruta 45.....	47
<b>Tabla 9.</b> Aforo velocidades sentido Zipaquirá - Cajicá.....	47
<b>Tabla 10.</b> Aforo velocidades sentido Cajicá - Zipaquirá.....	48
<b>Tabla 11.</b> Niveles de servicio velocidad 80km/h.....	60
<b>Tabla 12.</b> Niveles de servicio velocidad 50km/h.....	60
<b>Tabla 13.</b> Tiempos de viaje modelo VISSIM .....	61

## RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo Diseñar una propuesta de mejora a la infraestructura para la seguridad vial en la ruta Cajicá – Zipaquirá PR23, abordando aspectos de geometría, señalización y operación, con base en la normatividad colombiana vigente. Para ello, se realiza una inspección detallada en la fase de operación mediante el uso de *la Metodología para El Desarrollo De Auditorías E Inspecciones De Seguridad Vial Para Colombia adoptado por la Agencia de Seguridad Vial - ANSV*. Este análisis se complementa con la aplicación de los lineamientos establecidos en la Ley 769 de 2002 (Código Nacional de Tránsito), el Manual de Señalización Vial de Colombia de 2024, las especificaciones se basan en el Manual de Diseño Geométrico del Instituto Nacional de Vías - INVÍAS y las estrategias de apaciguamiento de tráfico recomendadas por la Guía Nacional de Seguridad Vial.

Los resultados obtenidos se abordaron mediante propuestas técnicas, modeladas en Civil 3D, que incluyen ajustes en la geometría vial, señalización y dispositivos de control de tránsito. Estas intervenciones se evalúan a través de un modelo de simulación en VISSIM, donde se analizan indicadores clave como capacidad, velocidad de operación y puntos críticos de conflicto.

Palabras clave: Siniestros, Seguridad Vial, Modelación, Agencia Nacional de Seguridad Vial - ANSV, Observatorio Nacional de Seguridad vial - ONSV, Inspección Vial.

### ABSTRACT

The present study aims to design a proposal to improve the infrastructure for road safety on the Cajicá–Zipaquirá route (PR23), addressing aspects of geometry, signage, and operation based on current Colombian regulations. To achieve this, a detailed inspection is conducted during the operation phase using the Methodology for the Development of Road Safety Audits and Inspections for Colombia adopted by the Road Safety Agency (ANSV). This analysis is complemented by applying the guidelines established in Law 769 of 2002 (National Traffic Code), the 2024 Colombian Road Signage Manual, the Geometric Design Manual of the National Institute of Roads (INVÍAS), and traffic calming strategies recommended by the National Road Safety Guide.

The results are approached through technical proposals modeled in Civil 3D, including adjustments to road geometry, signage, and traffic control devices. These interventions are evaluated through a simulation model in VISSIM, analyzing key indicators such as capacity, operating speed, and critical conflict points.

Keywords: Accidents, Road Safety, Modeling, National Road Safety Agency (ANSV), National Road Safety Observatory (ONSV), Road Inspection.

## INTRODUCCIÓN

Los siniestros viales son una de las principales preocupaciones globales en términos de salud pública y seguridad, constituyendo una de las principales causas de mortalidad en diversos países. Según la (Organización Mundial de la Salud, OMS, 2023), más de 1.35 millones de personas pierden la vida anualmente debido a accidentes de tránsito, y millones más sufren lesiones graves. En Colombia, esta problemática es igualmente crítica, con más de 6,000 muertes promedio al año por accidentes viales, de acuerdo con la información reportada por la (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2024); de esta manera, es importante implementar estrategias efectivas que aborden la prevención de siniestros como la mejora de la infraestructura vial.

El tramo de la ruta Cajicá – Zipaquirá PR23, ubicado en el departamento de Cundinamarca, ha sido identificado como una zona de alta incidencia de siniestros viales, lo que ha motivado su análisis y seguimiento por parte del Observatorio Nacional de Seguridad Vial (ONSV). Este corredor ha mostrado un patrón preocupante de alta velocidad, y denominado punto crítico, lo que enmarca la necesidad de realizar y proponer intervenciones puntuales que mejoren su seguridad.

El presente estudio, se fundamenta en el desarrollo de una propuesta de infraestructura que permita mejorar las condiciones de seguridad vial en la ruta mencionada, a partir de un enfoque cuantitativo. Se partió de una identificación de puntos críticos para determinar las condiciones actuales de la geometría, y modelar las posibles mejoras en la infraestructura, con el fin de minimizar la ocurrencia de eventos viales y salvaguardar la integridad de los usuarios de la vía.

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los siniestros viales representan una gran preocupación global en materia de seguridad pública, siendo una de las principales causas de mortalidad en muchos lugares del mundo, según la Organización Mundial de la Salud (OMS). En Colombia, esta problemática no es ajena, evidenciando una tendencia preocupante que demanda acciones concretas para su mitigación y prevención.

La ruta Cajicá – Zipaquirá PR23, ubicada en el departamento de Cundinamarca, ha sido objeto de análisis por parte del Observatorio Nacional de Seguridad vial debido a su incidencia en siniestros viales durante los últimos años. En un contexto donde la seguridad vial es prioridad nacional, es imperativo abordar esta problemática desde una perspectiva integral que involucre tanto medidas de prevención como de infraestructura.

Siendo así, el estudio presentado se fundamenta en el desarrollo de una propuesta de infraestructura que permita mejorar las condiciones de seguridad vial en la ruta mencionada, haciendo uso de caracterización de la vía y aplicando herramientas de inspección de seguridad viales las cuales son clave para el diagnóstico y planificación. Para ello, lo anterior se logra por medio de la identificación de los puntos críticos de la infraestructura vial, determinar las condiciones actuales de la geometría, y modelar las posibles mejoras en la infraestructura teniendo en cuenta la problemática de accidentes en la zona de estudio, con el fin de minimizar la ocurrencia de eventos viales y salvaguardar la integridad de los usuarios de la vía.

## JUSTIFICACIÓN

La Organización Mundial de Naciones Unidas (ONU), a través de los objetivos de desarrollo sostenible plantea en el objetivo tres(3) y la meta 3.6 que “Para 2020, reducir a la mitad el número de muertes y lesiones causadas por accidentes de tráfico en el mundo; así mismo en el objetivo nueve (9) y la meta 9.1 “Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano” (ONU, 2015).

Con base en lo anterior, en Colombia el plan nacional de seguridad vial 2022-2031 es el principal instrumento de política pública del país en materia de seguridad vial, cuyo objetivo con las acciones y actividades plasmadas en el plan, disminuir la mortalidad en las vías. haciendo un llamado a todos los responsables de la seguridad vial a actuar en favor de la prevención, mitigación y superación de las afectaciones de la siniestralidad vial. (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2023). alineándose con la estrategia Visión Cero, implementada en Suecia, con un alto porcentaje de éxito en Europa Y Norte América, ya que su principal objetivo es mostrar que los lesionados y las muertes en las vías se pueden evitar, adaptando un enfoque proactivo y preventivo hacia la gestión de una movilidad segura, saludable y equitativa. (Ministerio de Transporte de Colombia, 2024)

Siguiendo esta línea de herramientas en pro de la seguridad vial, se evidencia Guía Técnica De Auditorías E Inspecciones De Seguridad Vial Para Colombia, cuyo propósito es identificar, conocer y mitigar los riesgos vinculados a la seguridad vial en las diferentes etapas o fases de un proyecto de infraestructura vial, incluyendo en el proceso de reingeniería la vulnerabilidad y el error humano, priorizando acciones preventivas para la reducción de las probabilidades de ocurrencia de siniestros viales. (ANSV, 2021) Siendo así, las Auditorias e

Inspecciones de Seguridad Vial Pueden ser viables en su aplicabilidad a todas las fases de un proyecto siempre y cuando se catalogue en infraestructura vial, logrando un seguimiento al sistema carretero orientado a la identificación de factores seguros que logren disminuir las acciones desacertadas dando respuesta a los errores humanos.

Teniendo en cuenta lo expuesto, es importante determinar una alternativa de infraestructura que se pueda implementar en la ruta Cajicá – Zipaquirá PR23 que contribuya a minimizar los riesgos de accidentes viales, aplicando el conocimiento desde la ingeniería civil con el propósito de contribuir a la infraestructura segura de la zona, generando una alternativa por medio de las inspecciones de seguridad vial identificando los riesgos potenciales, para el desarrollo de una modelación de software que genere soluciones desde el campo de la ingeniería en concordancia a los lineamientos y necesidades de seguridad vial del país.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Diseñar una propuesta de mejora a la infraestructura para la seguridad vial en la ruta Cajicá – Zipaquirá PR23 a partir del uso de software especializado de tránsito y la inspección de seguridad vial.

### Objetivos Específicos

- Caracterizar los puntos críticos de la infraestructura vial de la ruta en estudio, a partir de datos de accidentalidad.
- Determinar las condiciones actuales de la geometría y de riesgos de la vía a partir de la inspección de seguridad vial.
- Modelar las condiciones actuales y la posible mejora de infraestructura de la geometría y del tránsito de la vía.

## ANTECEDENTES

Las investigaciones realizadas a nivel internacional de interés para la presente investigación:

En Madrid España, se realizó por parte del Observatorio Nacional de Seguridad Vial a través del Ministerio De Interior de dicho país una guía de “Políticas Internacionales De Seguridad Vial Relevantes Para El Decenio 2021-2030” la cual enmarca las estrategias, planes y programas de los países que a nivel mundial gestionan la seguridad vial por medio de infraestructura, enseñanzas y normativas. (Ministerio del Interior Madrid España, 2020)

El estudio materializado en la Universidad Estatal del Sur MANABI “Auditoría de seguridad vial de la Avenida La Prensa en la ciudad de Jipijapa provincia de Manabi” por los autores Luis Moreno y Giovanna Sánchez, la investigación plantea por medio de una auditoria de seguridad vial buscar opciones optimas a partir de la nivelación topográfica, aforos vehiculares e inspección visual una solución a la circulación vehicular de la zona mencionada. (Moreno Ponce & Sánchez Tuárez, 2024)

Otro estudio, en la Universidad de Burgos la investigación “Influencia Del Gasto En Construcción Y Mantenimiento De Carreteras En La Seguridad Vial En El Contexto Europeo” nos muestran la importancia del mantenimiento de la red vial en contribución con la infraestructura y sus costos para la seguridad vial del país. (Navarro Moreno, Calvo Poyo, Garach Morcillo, & Oña López, 2021)

Adicionalmente, el Instituto Mexicano De Transporte llevo a cabo la investigación en el año 2015 titulada “Mejoras De Seguridad Vial De La Infraestructura De Un Tramo Carretero, A

Partir De Su Evaluación iRAP. Corredor México-Nuevo Laredo, Tramo Querétaro-San Luis Potosí”, la cual consistió en realizar una auditorías vial tomando como punto de partida las medias correctivas derivadas del uso de metodologías, con el fin de elaborar un programa de trabajo que permita el mejoramiento de la infraestructura y la seguridad vial. (SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, 2015)

Por otro lado, la investigación “Determinación de un tramo de concentración de accidentes del km 90 al km 130 de la carretera Central Lima – La Oroya y propuesta de mejoramiento en la señalización y seguridad vial para reducir la tasa de accidentes de tránsito” presentado en la universidad San Ignacio de Loyola, tiene la finalidad de determinar y evaluar en la zona de estudio el índice de accidentes, para surtir una propuesta de intervención a la infraestructura vial, enfatizando en la señalización y dispositivos de control, enmarcados en medidas de bajo costo para la solución de la problemática. (Quispealaya Solano, 2021)

Así mismo, el autor Quispe, desarrollo la investigación denominada “ Análisis de la capacidad, niveles de servicio y seguridad vial de la carretera Juliaca – Lampa de la Región Puno” echo en la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, empleando metodologías para el análisis de datos en cuanto a capacidad, niveles de servicio, propiedades geométricas y seguridad vial de la zona, busca identificar los puntos críticos con el fin de mejorar las condiciones de seguridad vial, proponiendo modificación de la geometría de la vía, el trazado de la misma, puntos de control y señalización. (Quispe Quispe, 2023)

Otro estudio, fue realizado en la Universitat Politècnica De València, “Introducción a la automatización de inspecciones de seguridad vial relativas a sistemas de contención y señalización. Aplicación práctica a la CV-31, PK 0,0 a 4,3 (T.M. Paterna y Godella, provincia de

Valencia)” busca por medio de la Inteligencia artificial y diferentes softwares de información geográfica, contemplando la ubicación de puntos críticos y la automatización de las problemáticas identificadas del análisis en cuanto a seguridad vial, como punto de partida para proponer soluciones de infraestructura a nivel de zonas laterales seguras, sistemas de contención seguros y señalización eficiente. (Abou Zahr, 2023)

A nivel nacional se presentan a continuación los siguientes estudios:

La Escuela Colombiana de Ingeniería se encuentra publicada la investigación denominada “Estudio De Seguridad Vial Para Determinar La Incidencia Del Diseño geométrico En La Accidentalidad Carretera Bogotá-Villavicencio A Partir De La Salida Del Túnel De Boquerón A Puente Quetame” realizado por la ingeniera Nancy Cifuentes Ospina, y el cual busca llevar a cabo la evaluación por medio de un modelo de auditoría en seguridad vial en la vía descrita tanto en la etapa de diseño como operación. (Cifuentes Ospina, 2014)

De igual forma otro estudio realizado por Mónica Chacón Gómez y Johanna Sáenz Umaña realizado en la Universidad Católica y denominado “Importancia De La Auditoría De Seguridad Vial – ASV- En Concesiones Viales De Colombia”, instruyen cual es la importancia de generar y realizar los auditorios viales en las diferentes vías nacionales independientemente de la etapa en que se encuentren, y llevan a cabo una comparación entre distintas ASV ejecutadas en las vías concesionadas del país. (Chacón Gómez Mónica, 2016)

Adicionalmente la Universidad Pedagógica y Tecnológica realiza la investigación titulada “Auditoría de seguridad vial en el tramo comprendido entre Tunja y el municipio de Tuta” de la autoría de Plazas Pulido, Stiven, por medio de la metodología de La Comisión Nacional de Seguridad del Tránsito de Chile para la ejecución de las ASV, identifica los parámetros

necesarios para verificar los niveles de seguridad de la vía y los adecua al sector mencionado para encontrar una metodología efectiva de las ASV. (Plazas Pulido, 2018)

Otro estudio fué realizado por Fernández y Torrado en la Universidad Francisco de Paula Santander denominado “*Estudio del estado del corredor vial y alternativas de mejoramiento para la operacionalizad de los primeros siete kilómetros que une el municipio de Gramalote - Lourdes Norte de Santander*”, partiendo del análisis de la zona, la evaluación de la condiciones tanto físicas, operativas y de seguridad vial, para identificar posibles deficiencias y así plantear acciones necesarias de mantenimiento y mejora de infraestructura a la red vial. (Fernández Palomino & Torrado Barreto, 2023)

De igual forma en la Universidad Nacional de Colombia, se llevó a cabo la investigación “*Evaluación de la seguridad vial en las vías nacionales de la zona centro-sur del departamento de Caldas y propuestas de mejoramiento con relación a la infraestructura vial*” en búsqueda de ejecutar un diagnóstico en las vías colombianas, correspondientes al departamento de caldas, partiendo del histórico de accidentalidad en la zona para así identificar los puntos críticos y así proponer soluciones de infraestructura en línea con el plan nacional de seguridad vial. (Gallego Zuluaga, 2020)

Así mismo, en la Universidad del Valle, se llevó a cabo el estudio “*Diseño de zonas laterales seguras para la vía Cali – Candelaria, caso de estudio: sector Domingo Largo - Zanjón Tortugas*” consiste en la estrategia de mitigación por medio de una zona lateral en el sitio de estudio, derivado del análisis de indicadores, revisión de datos de accidentalidad, una inspección visual y uso de elementos de una inspección de seguridad vial; pretendiendo mejorar las

condiciones de la vía en cuanto a infraestructura con el enfoque de seguridad vial. (FLÓREZ CASTRO, 2022)

De otra parte, el estudio “Modelación mediante Civil 3D y Programa Vissim de la intersección vial Calle 35 (Avenida Catama), con carrera 19 sector Cofrem en Villavicencio”, de la Universidad Cooperativa de Colombia, nos muestra como por medio de la modelación utilizando diferentes softwares, podemos generar desde la ingeniería un avance en desarrollo de soluciones más acertadas, basadas en el dimensionamiento de lo real a un modelo funcional, buscando la mejora de la red vial. (Mora Peña, Rodriguez Rincon, & Naranjo Nieto, 2021)

La investigación “Análisis del comportamiento vial modelado en Vissim PTV para la optimización de la intersección en la carrera 33 con calle 34 sector Unimeta en la ciudad de Villavicencio - meta.” Desarrollada en la Universidad Cooperativa de Colombia, por Tovar Gil y Zamudio Ortegón, tiene como objetivo la implementación de software como alternativa de solución de la mano de la ingeniería civil, optimizando la infraestructura vial de la zona caso estudio con medidas correctiva y mejora de la seguridad vial. (Tovar Gil & Zamudio Ortegón, 2022)

Los autores Serrano y Ochoa en la investigación “Estudios y diseño geométrico de la vía terciaria Labateca, La Laguna tramo (k0+000 a k1+070) del municipio Labateca, Norte de Santander” de la Universidad Francisco de Paula Santander, a través de programas de modelación como AutoCAD, Civil 3D realizaron el diseño geométrico y la estructuración de los componentes viales, con el fin de mejorar las condiciones de esa infraestructura. (Serrano Trigos & Ochoa Camargo, 2019)

## MARCO REFERENCIAL

### Marco normativo

#### **LEY 1702 DE 2013 Por la cual se crea la agencia nacional de seguridad vial y se dictan otras disposiciones**

Esta ley crea una unidad administrativa especial, Agencia Nacional de Seguridad vial adscrita al ministerio de transporte Quien fungirá como autoridad en aplicación de políticas y medidas de seguridad vial nacional, a través de la implementación de un plan de acción de la seguridad vial con el objetivo de prevenir y reducir los accidentes de tránsito. (Funcion Publica, 2013)

#### **DECRETO 1430 DE 2022 Por medio del cual se aprueba el "Plan Nacional de Seguridad Vial 2022-20231**

Es el principal instrumento de política pública del país en materia de seguridad vial, cuyo objetivo con las acciones y actividades plasmadas en el plan, es disminuir la mortalidad en las vías nacionales.

Este plan cuenta con 8 áreas de acción: 1. Velocidades Seguras; 2. vehículos seguros; 3. infraestructura segura; 4. comportamiento seguro; 5. cumplimiento de normas; 6. atención a víctimas; 7. Gobernanza; 8. gestión del conocimiento, cada uno de ellos aporta desde su área a contribuir con la disminución de la siniestralidad en Colombia; Cuenta con 16 objetivos generales, 45 objetivos específicos, 154 acciones y 754 actividades. (Funcion Publica, 2022)

**Resolución 20213040035705 del 17 de agosto de 2021** por la cual se adopta la Metodología para el desarrollo de auditorías e inspecciones de Seguridad vial en Colombia busca orientar a las entidades y profesionales interesados, en la realización de auditorías e

inspecciones de seguridad vial (ASV e ISV), considerando aspectos técnicos, metodológicos y procedimentales para su desarrollo.

Aclarar el procedimiento para el desarrollo de las ASV e ISV e incorporar diversos ejemplos de aplicación y textos técnicos explicativos sobre los aspectos por revisar y considerar en su realización. Así mismo, realizó una complementación a las listas de chequeo de auditorías / inspecciones especiales, a la caracterización de los hallazgos y a las visitas técnicas, entre otros aspectos. (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2022)

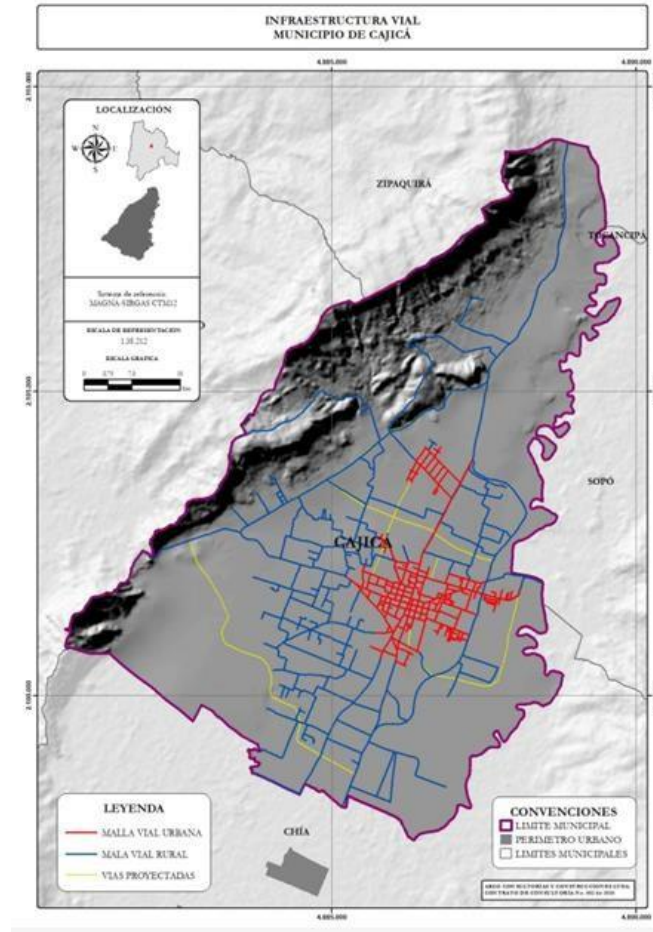
Manual de diseño de señalización vial, su objetivo es brindar lineamientos técnicos con las herramientas necesarias de incidir en aspectos y labores tendientes al diseño, construcción, ubicación, uso, mantenimiento, conservación, instalación, retiro, reparación entre otras en lo concerniente a la señalización vial en Colombia. (ANSV, 2024)

### **Marco Geográfico**

La zona se encuentra ubicada en el municipio de Cajicá, específicamente al noreste, terminando el área urbana e iniciando el área rural de la misma, encontrando influencia de zona agropecuarias, negocios agroindustriales, zonas de vivienda rural y una universidad privada. Esta vía está catalogada de primer orden con código de tramo 45ª04; por lo tanto, es uno de los accesos e intercomunicación hacia la capital del país, incluyendo el desarrollo y tránsito entre los municipios aledaños.

### **Figura 1**

*Infraestructura Vial Municipio de Cajicá Cundinamarca.*



**Nota:** La Figura 1 muestra la infraestructura vial del municipio de Cajicá Cundinamarca. Fuente: (Municipio de Cajica, s.f.)

El estudio de caso se llevó a cabo en la vía que conduce de Cajicá a Zipaquirá en la altura de la Universidad militar Nueva Granada - UMNG, entre el sector El Canelón y La Naveta como se evidencia a continuación:

**Figura 2**

*Ubicación del tramo estudio ruta Cajicá-Zipaquirá PR23.*



Nota: La Figura 2 muestra delineado de color amarillo el tramo en estudio, adaptado de Google Earth, ruta 45ª04 Cajicá – Zipaquirá. (Google Earth, 2024).

Este tramo, clasificado como punto crítico de velocidad por el Observatorio Nacional de Seguridad Vial (ONSV) en la ruta 45A04PR23, tal como se muestra en la Figura 3. La vía consta de dos calzadas, en ambos sentidos se conforma por dos carriles. Para los fines de este estudio, el área de intervención se limita a un tramo de 1 km en cada dirección, con el objetivo de evaluar y proponer mejoras específicas en las condiciones de seguridad vial en este segmento crítico.

## Marco Teórico

### Seguridad Vial

La seguridad vial es un aspecto crucial en la planificación, diseño y operación de infraestructuras viales. Se refiere a la reducción de riesgos de accidentes de tráfico y la minimización de sus consecuencias, tanto para los usuarios de la vía como para la comunidad en general. Cuando hablamos de seguridad, hablamos de bienestar y protección para todos los actores viales, es decir, el considerar todos los parámetros y herramientas desde un campo multidisciplinario enfocado a la prevención, disminución, control y mitigación del riesgo tanto para lesión como para muerte. (ANSV, 2024)

En Colombia a través de la Ley 1702 de 2013 se crea la Agencia Nacional de Seguridad Vial, con el objetivo de planificar, articular y gestionar la seguridad vial del país, haciendo ejecución, seguimiento y control de las distintas estrategias, planes y las acciones en concordancia de la política de seguridad vial. Para ello, en los instrumentos de planeación y en concordancia con las políticas nacionales e internacionales, se vincula el Plan Nacional de Seguridad Vial a través de ocho (8) áreas de acción:

1. Velocidades seguras
2. Vehículos seguros
3. Infraestructura segura
4. Comportamiento seguro
5. Cumplimiento de normas
6. Atención a víctimas
7. Gobernanza
8. Gestión del conocimiento

Buscando prevenir, disminuir y mitigar la mortalidad en las vías del país, bajo el enfoque de infraestructura, velocidad y vehículos seguros. (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2023)

### ***Inspecciones de seguridad Vial***

Facilitan herramientas sistemáticas de evaluación de la seguridad vial que permiten identificar riesgos potenciales en una infraestructura vial. Consiste en revisar la infraestructura vial y su entorno para identificar posibles peligros y áreas de mejora en términos de seguridad. Las etapas principales de una auditoría de seguridad vial incluyen la identificación de peligros, la evaluación de riesgos, la recomendación de medidas de mitigación y el seguimiento de su implementación. Estas auditorías pueden llevarse a cabo en diferentes etapas del ciclo de vida de una carretera, desde su planificación y diseño hasta su operación y mantenimiento.

### ***Diferencia entre una ASV y una Inspección de Seguridad Vial (ISV)***

La auditoría de Seguridad Vial (ASV), por medio de sus parámetros, es funcional o está destinada para la etapa de diseño (Prefactibilidad, Factibilidad y diseño) así mismo para la etapa de construcción (ejecución y preapertura); por otro lado, la Inspección de Seguridad Vial (ISV), se lleva cabo en la etapa de operación de la red vial.

### ***Tipos de Inspecciones Viales***

Inspección de Seguridad Vial en Operación: Análisis de la seguridad vial en la infraestructura existente, con el fin de identificar riesgos y proponer medidas correctivas para mejorar la seguridad de la vía en su fase operativa.

**Características de una ASV /ISV****Tabla 1***Características de las Auditorías de Seguridad Vial e Inspecciones de Seguridad Vial*

Sistemático	Documenta todos los aspectos relacionados con la seguridad de un proyecto vial
Confiable	El equipo auditor tiene la formación y experiencia idónea para desarrollar la auditoría de seguridad vial
Independiente	Los integrantes del equipo auditor deben ser independientes del equipo de diseño e interventoría
Enfocado	La ASV e ISV deben enfocarse en temas relacionados con la seguridad vial del proyecto
Inclusivo	Las ASV e ISV consideran todos los posibles usuarios del proyecto, incluyendo las personas con y/o en situación de discapacidad
Integral	Las ASV deben hacerse en las fases de planificación, diseño y/o construcción los proyectos viales. Las ISV se desarrollan en la fase de operación de los proyectos viales
Cualitativo	Las ASV e ISV identifican los problemas potenciales de seguridad de un proyecto vial
Contextualizado	Las ASV e ISV incluyen visitas de campo en todas las fases del proyecto, en diferentes periodos del día y condiciones meteorológicas

Continuo	El equipo auditor estará presente en toda la ejecución de la auditoria, con el propósito de brindar trazabilidad al proceso
Articulado	El cronograma de ejecución de la ASV e ISV se armonizará con el cronograma de ejecución de las diferentes fases del proyecto vial
Eficiente	El desarrollo de las acciones se desarrollará en busca de calidad, agilidad y trazabilidad

**Nota:** Se evidencian las Características de una Auditoria de Seguridad Vial – ASV e Inspección de Seguridad Vial – ISV, (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2021)

### ***Factores que Influyen en la Seguridad Vial***

Geometría de la Vía: La geometría de la carretera, incluyendo curvas, pendientes y visibilidad, puede influir en la ocurrencia de accidentes.

Señalización Vial: La presencia y calidad de la señalización vial es crucial para guiar a los conductores y advertir sobre posibles peligros en la vía.

Densidad de Tráfico.

Condiciones Climáticas.

Comportamiento del Usuario

### ***Diseño Geométrico de Vías***

El diseño geométrico de vías se refiere a la configuración física de una carretera, incluyendo su trazado, curvas, pendientes, intersecciones y otros elementos. Un diseño

geométrico adecuado es fundamental para garantizar la seguridad vial, minimizando los riesgos de accidentes y proporcionando un entorno de conducción cómodo y eficiente para los usuarios de la vía. Para Colombia este aspecto se reglamenta por medio del Manual de diseño de vías por parte del Instituto Nacional de Vías-INVIAS, el cual brinda el marco regulatorio y los aspectos a tener en cuenta al momento de generar infraestructura vial. (INVIAS, 2013)

### ***Indicadores de Mortalidad***

Los indicadores de mortalidad son medidas utilizadas para evaluar la incidencia de accidentes de tráfico y sus consecuencias fatales. Algunos de los indicadores más comunes incluyen la tasa de mortalidad en accidentes de tráfico por cada cierto número de habitantes, la tasa de mortalidad es por cada cierta cantidad de vehículos registrados y otra tasa de mortalidad se saca por cierto número de kilómetros. (ANSV - Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2023)

### ***Riesgos***

Los riesgos en seguridad vial pueden estar asociados a diversos factores, como:

- Condiciones de la carretera: estado del pavimento, señalización, tipos de curvas, estado de la Infraestructura, mantenimiento de la vía, etc.
- Comportamiento del conductor:
- Condiciones climáticas.
- Tipo de vehículo.
- Presencia de usuarios vulnerables: peatones, ciclistas y motociclistas que comparten la vía con vehículos motorizados.

### ***Evaluación de Riesgos en Seguridad Vial***

La evaluación de riesgos es un proceso fundamental en la identificación y mitigación de peligros en la seguridad vial. Consiste en analizar los posibles escenarios de accidentes, sus causas subyacentes y las consecuencias asociadas. Esta evaluación puede realizarse mediante técnicas como el análisis de riesgos, la simulación de accidentes y la revisión de datos históricos de accidentes. (ANSV, 2024)

### ***Diseño Seguro de Carreteras***

El diseño seguro de carreteras se enfoca en integrar principios de seguridad vial en todas las etapas del proceso de diseño de infraestructuras viales. Esto incluye considerar elementos como la separación de flujos de tráfico, la adecuada visibilidad en intersecciones, la inclusión de áreas de escape y la implementación de medidas de protección para usuarios vulnerables como peatones y ciclistas. (INVIAS, 2013)

### ***Software para Modelación***

El uso de software de diseño geométrico de vías facilita la evaluación y planificación de infraestructuras viales más seguras y eficientes. Para ello mencionamos algunas:

**AutoCAD Civil 3D:** Esta herramienta de diseño asistido por computadora (CAD) permite realizar diseños geométricos detallados de carreteras, incluyendo la generación de perfiles longitudinales y transversales, diseño de alineamientos horizontales y verticales, y análisis de drenaje. (AutoDesk, 2024)

**VISSIM:** Es una herramienta de simulación de tráfico que permite modelar el comportamiento de conductores y peatones en una red vial, evaluar el impacto de señalización

vial y semáforos en la fluidez del tráfico, y simular escenarios de accidentes para identificar áreas de riesgo. (PVT GROUP, 2024)

## METODOLOGÍA

En el marco de este proyecto se desarrolla un enfoque cuantitativo - descriptivo, integrando herramientas analíticas y técnicas de inspección en campo. Este enfoque permite abordar de manera integral los problemas de seguridad vial, identificando los factores críticos que contribuyen a los siniestros en el tramo 45A04PR23, reconocido como punto crítico por el *Observatorio Nacional de Seguridad Vial (ONSV)*.

Realizando un análisis estadístico basado en datos oficiales proporcionados por la *Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV)* y el *Registro Nacional de Accidentes de Tránsito (RNAT)* del Ministerio de Transporte. Estas bases de datos revelaron que, en 2023, los fallecimientos en siniestros viales en Colombia superaron los 8.546 casos, siendo la velocidad un factor determinante en un 27% de estos eventos. (Observatorio Nacional de Seguridad Vial, 2024)

### **Caracterización de puntos críticos en la ruta en estudio**

A nivel nacional, para el año 2023 se reportaron 8.546 fallecidos en siniestros viales, de los cuales los departamentos con mayor número de fallecidos fueron: Bogotá con un valor de 629, Antioquia con 1.116, Valle del Cauca con 872 y Cundinamarca con 687 fallecidos.

El tipo de accidente más alto de acuerdo con el Registro Nacional de Accidentes de Tránsito – RNAT fue por:

- Choque 5.335 (62,4%)
- Atropello 1.819 (21,3%)
- Volcamiento 805 (9,4%)

**Matriz de coalición para fallecidos****Tabla 2***Cifras coalición fallecidos 2023*

Usuario Vía	Bicicleta	Maquina Agrícola	Maquina Industrial	Motocicleta	No Aplica	Objeto Fijo	Otros	Sin Información	Transporte de Carga	Transporte Pasajeros	Transporte Individual	Total
Peatón	11	4	1	814			5	185	222	103	474	1819
Usuario Bicicleta	3			131	34	42	1	20	91	39	101	462
Usuario Motocicleta	16	6	3	782	735	1291	88	226	944	252	948	5291
Usuario Otros				6	11	6		9	8	3	6	49
Usuario Vehículo Individual				13	237	169		8	89	21	68	605
Usuario Transporte de Carga	1			3	115	37		6	29	3	7	201
Usuario Transporte de Pasajeros				3	73	13			28	2		119
Total	31	10	4	1752	1205	1558	94	454	1411	423	1604	8546

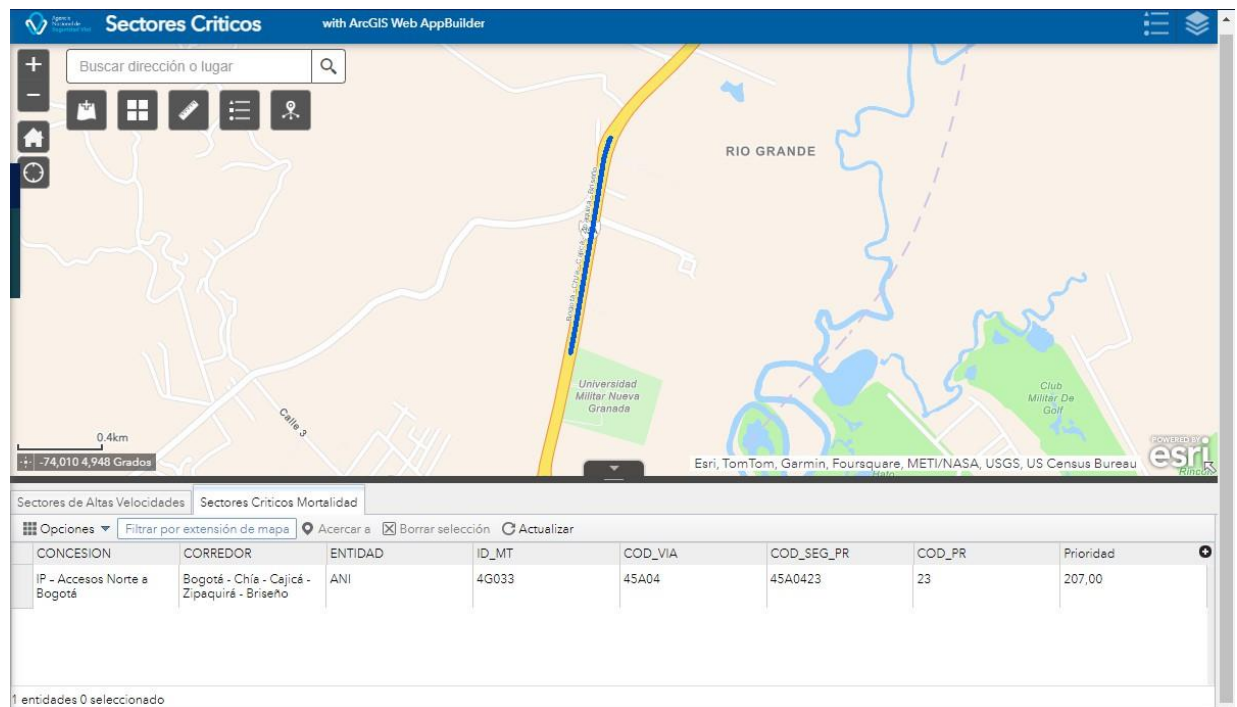
**Nota:** Matriz con cifras de coalición Fallecidos 2023, esta presenta un análisis de la cantidad de fallecidos en 2023 en Colombia, categorizados por usuarios de vía y vehículos que interactuaron, por

medio de una gradación de colores. Tonos oscuros: Representan las zonas de mayor criticidad, donde la incidencia de accidentes es más alta. Tonos claros: Indican áreas de menor criticidad, con un impacto significativamente reducido en términos de fallecidos. Fuente: (Observatorio Nacional de Seguridad Vial, ONSV, 2023)

La Agencia Nacional de Seguridad Vial, desde el Observatorio Nacional de Seguridad Vial establece sectores de alta velocidades en vías nacionales, las cuales superan la velocidad de operación; de esta manera, en la Figura No. 3 se evidencia el corredor vial Bogotá- Chía – Cajicá – Zipaquirá - Briceño con el código de vía 45<sup>a</sup>04 y se identifica el PR23 para el cual la velocidad de operación es de 60Km/h.

**Figura 3**

*Sector crítico por velocidad identificado por el Observatorio Nacional de Seguridad Vial*



**Nota:** La Figura 3 muestra la información del sector crítico, categorizado por el ONSV Con el código 45<sup>a</sup>04PR23, demarcado en color azul sobre la red vial. Fuente: (ONSV, 2023)

Partiendo de la identificación del sector, y de acuerdo con la información que suministra el Registro Nacional de Accidentes de Tránsito – RNAT se evidencia en la Tabla 3 los siniestros viales ocurridos en la zona estudio:

**Tabla 3**

*Caracterización de siniestros en la zona estudio.*

Municipio - Clase siniestro	2021	2022	2023	2024	Total, general
<b>CAJICA</b>	<b>321</b>	<b>265</b>	<b>65</b>	<b>63</b>	<b>774</b>
Atropello	9	17	11	3	40
Choque	290	259	84	59	692
Otro	10	10			20
Volcamiento	12	9		1	22
<b>CAJICA - AGUANICA</b>	<b>1</b>				<b>1</b>
Volcamiento	1				1
<b>CAJICA - CANELON</b>		<b>4</b>			<b>4</b>
Otro		4			4
<b>ZIPAQUIRA</b>	<b>15</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>37</b>
Atropello	5			1	6
Choque	10	8	8	4	30
Volcamiento				1	1
<b>Total, general</b>	<b>337</b>	<b>307</b>	<b>103</b>	<b>66</b>	<b>816</b>

**Nota:** La Tabla 3 caracteriza los siniestros en la zona estudio, por tipo de siniestro y año de ocurrencia, generado por el Ministerio de Transporte – Registro Nacional de Accidentes de Tránsito  
Fuente: (Ministerio de Transporte, 2024)

En la tabla 4, se identifican el número de fallecidos en la zona de estudio

**Tabla 4**

*Fallecidos en la zona de estudio*

Municipio	2021	2022	2023	2024
CAJICA	30	23	21	16
ZIPAQUIRA	4		2	
Total, general	34	23	23	16

**Nota:** La Tabla 4 brinda información de siniestros en los municipios afluencia a la zona estudio, caracterizado por tipo municipio y año de ocurrencia, generado por el Ministerio de Transporte – Registro Nacional de Accidentes de Tránsito Fuente: (Ministerio de Transporte, 2024)

En el análisis de la seguridad vial, es importante ejecutar una evaluación de la severidad de los siniestros para identificar patrones, que puedan encaminar la toma de decisiones. Por esto, con base en las Tablas 3 y 4 se presenta un indicador en relación con la severidad, el cual mide la proporción de fallecidos por cada 100 accidentes reportados.

**Fórmula:**

$$\frac{\text{Numero de Fallecidos}}{100} \left( \frac{\text{Numero Total de Accidentes}}{\text{Numero Total de Accidentes}} \right) \times \text{Indicador Ajustado} =$$

Clasificación ajustada:

- Bajo:  $\leq 9$
- Moderado: 10 - 19

- Crítico: > 20

### Cálculos por año

**2021:**

$$\text{Indicador 2021} = \left(\frac{34}{337}\right) \times 100 = 10.09$$

**2022:**

$$\text{Indicador 2022} = \left(\frac{23}{307}\right) \times 100 = 7.49$$

**2023:**

$$\text{Indicador 2023} = \left(\frac{23}{103}\right) \times 100 = 22.33$$

**2024:**

$$\text{Indicador 2024} = \left(\frac{16}{69}\right) \times 100 = 23.19$$

De acuerdo con los indicadores evaluados para cada año se demuestra lo siguiente:

**Tabla 5**

*Resultado indicador fallecidos y accidente en la zona estudio*

<b>Año</b>	<b>Accidentes</b>	<b>Fallecidos</b>	<b>Indicador Ajustado</b>
2023	103	23	22.33
2024	69	16	23.19
2022	307	23	7.49
2021	337	34	10.09

**Nota:** La Tabla 5 brinda información de siniestros en los municipios afluencia a la zona estudio,

Fuente: Elaboración propia

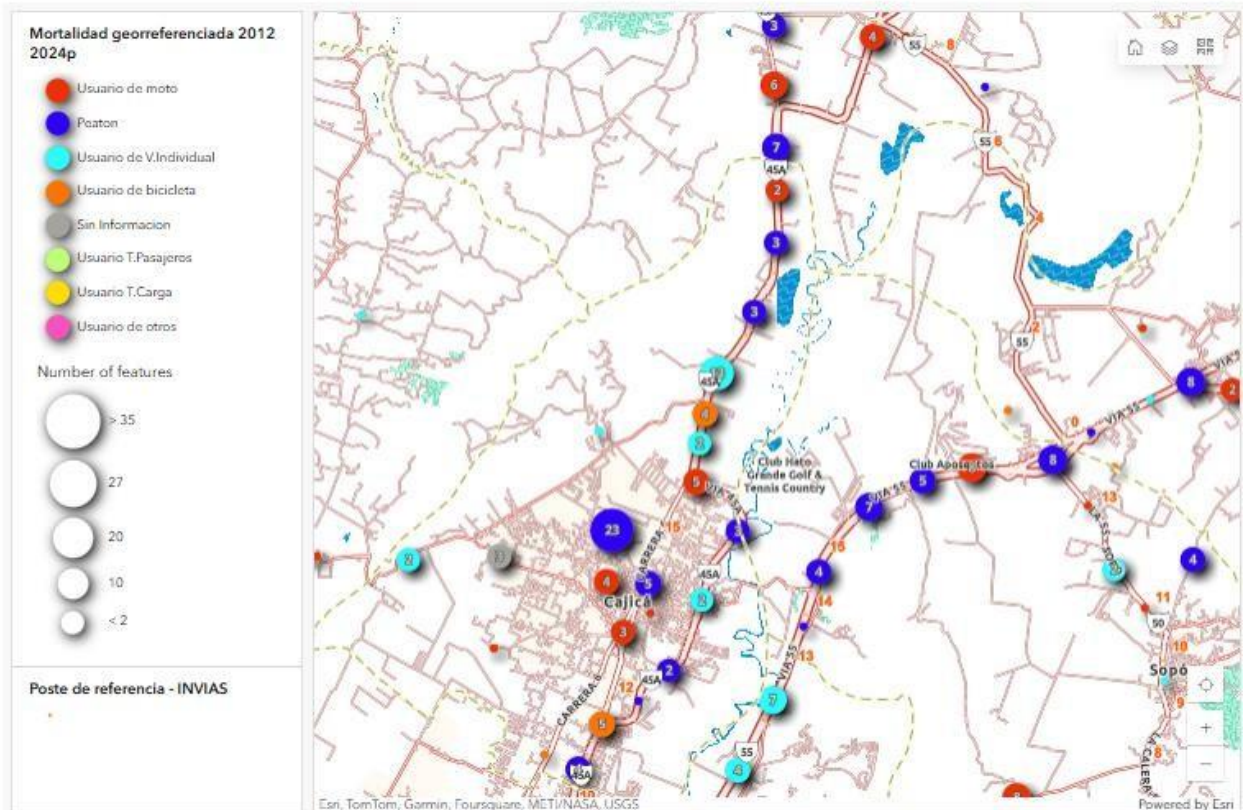
Este indicador permite clasificar los años analizados en niveles de bajo, moderado o crítico, de acuerdo con el impacto de los siniestros en términos de mortalidad. Aunque el número total de accidentes fue menor en 2023 y preliminarmente en 2024, la mortalidad asociada fue proporcionalmente mayor, evidenciando posibles falencias en infraestructura, atención a emergencias o factores de riesgo presentes en estos años.

**Mapa de calor fallecidos en el perímetro zona estudio**

**Figura 4**

*Mapa de calor fallecidos en la zona estudio*

**Geovisor de Seguridad Vial**



**Nota:** La Figura 4 muestra la zona de calor con referencia a los fallecidos en la zona, los colores dispuestos en la leyenda resaltan el tipo de usuario, el tamaño de la esfera la cantidad de fallecidos en el punto. Fuente: (Observatorio Nacional Seguridad Vial, 2024)

### **Geometría actual de la vía**

#### **Figura 5**

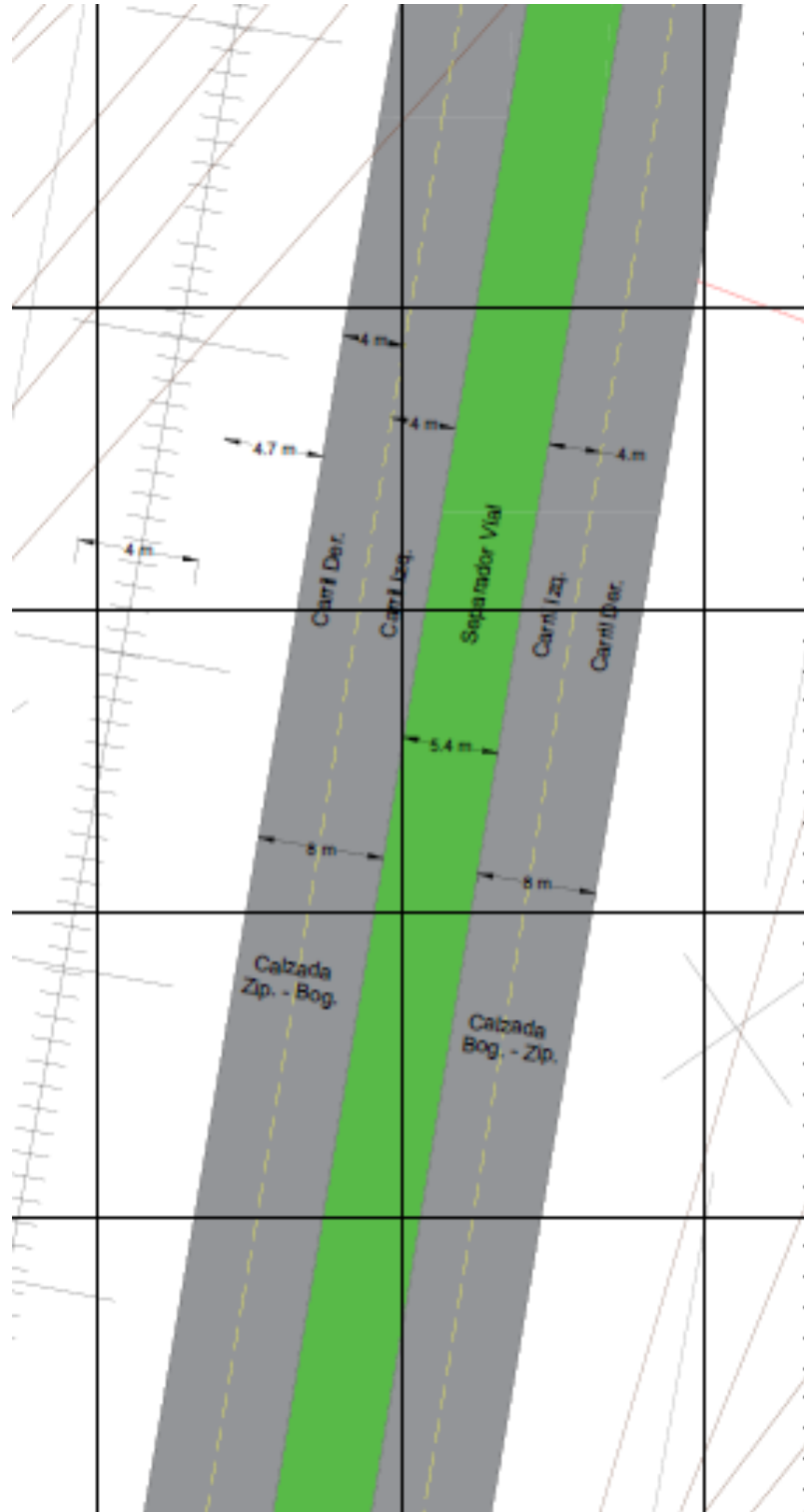
##### *Geometría y componentes de la vía*



**Nota:** La Figura 5 muestra la geometría y composición actual que fundamenta el presente proyecto, Fuente: (INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI - IGAC, 2024)

#### **Figura 6**

##### *Composición de la vía detallada*



**Nota:** La Figura 5 muestra la composición actual que fundamenta el presente proyecto, adaptado: (INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI - IGAC, 2024)

**Geometría y de riesgos de la vía en la zona de estudio a partir de la inspección de seguridad vial.**

Partiendo de la información obtenida en la visita a campo a través de la lista de chequeo para la fase de operación, la cual podemos observar en el **Anexo E**. Inspección de seguridad vial realizada en la ruta Cajicá – Zipaquirá PR23, se gestiona la priorización de los hallazgos encontrados, con el fin de categorizar por medio de la siguiente tabla.

**Tabla 6**

*Clasificación y consolidación de hallazgos*

Modelo de clasificación y consolidación de hallazgos							
No.	Abreviatura	No. POR CÓD.	TIPO	SUBTIPO	CÓD.	HALLAZGOS CONSOLIDADOS	ASPECTOS RELACIONADOS
1	IG	1	INFRAESTRUCTURA	GEOMETRÍA	IG-1	Problemas de distancia de visibilidad, específicamente en accesos a predios y en la franja horaria nocturna	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Distancia visual</li> <li>· Visibilidad y distancia de visibilidad</li> <li>· Legibilidad del corredor (diurna y nocturna)</li> <li>· Distancia de visibilidad de parada</li> <li>· Distancia de visibilidad de adelantamiento</li> </ul>
2	IG	2	INFRAESTRUCTURA	GEOMETRÍA	IG-2	Velocidad de operación incongruente con la geometría	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Límite de velocidad/zonificación velocidad</li> <li>· Velocidades diferenciales (transición de velocidad)</li> </ul>
3	IG	3	INFRAESTRUCTURA	GEOMETRÍA	IG-3	Alineamiento de la vía que promueve exceso y/o altas velocidades, por contar con anchos de carril mas amplios que los estipulados en la norma	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Número de carriles y sus dimensiones</li> <li>· Tramos rectos de mas de 1,2KM</li> </ul>
4	IG	6	INFRAESTRUCTURA	GEOMETRÍA	IG-4	Inconvenientes o ausencia de carriles de incorporación (aceleración y desaceleración)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Ausencia y/o dimensionamiento de los carriles de incorporación, para los accesos a bahías de transporte publico</li> </ul>
5	IG	10	INFRAESTRUCTURA	GEOMETRÍA	IG-5	Intersecciones peligrosas	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Tipo de intersección</li> <li>· Canalización de la intersección</li> <li>· Volumen de la intersección vial</li> <li>· Calidad de la intersección</li> <li>· Intersecciones previstas y movimientos permitidos</li> <li>· Visibilidad desde y hacia la intersección</li> <li>· Trazado y sección del tipo de Intersección y giros permitidos</li> </ul>
6	IG	11	INFRAESTRUCTURA	GEOMETRÍA	IG-6	Ausencia de bermas	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Berma/Acotamiento pavimentado – lado del conductor</li> <li>· Berma/Acotamiento pavimentado – lado del copiloto, dimensiones.</li> </ul>
7							<ul style="list-style-type: none"> <li>· Ausencia de bandas alertadoras sobre berma/acotamiento</li> </ul>
8	IG	13	INFRAESTRUCTURA	GEOMETRÍA	IG-7	Inconvenientes asociados al separador por señalización y alertas	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Banda alertadora central</li> </ul>
9	ZL	1	INFRAESTRUCTURA	ZONA LATERAL	ZL-1	Presencia de obstáculos como canales de agua laterales	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Obstáculos, sin protección ni señalización</li> </ul>

Modelo de clasificación y consolidación de hallazgos							
No.	Abreviatura	No. POR CÓD.	TIPO	SUBTIPO	CÓD.	HALLAZGOS CONSOLIDADOS	ASPECTOS RELACIONADOS
10	ZL	2	INFRAESTRUCTURA	ZONA LATERAL	ZL-2	Deficiencias en sistemas de contención vehicular, insuficiencia en sitios críticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ausencia lateral al costado de la vía – distancia al objeto – lado del</li> <li>Ausencia lateral al costado de la vía – objeto – lado del conductor</li> <li>Ausencia lateral al costado de la vía – distancia al objeto – lado del copiloto</li> <li>Ausencia lateral al costado de la vía – objeto – lado del copiloto</li> </ul>
11	ZL	5	INFRAESTRUCTURA	ZONA LATERAL	ZL-3	Talud inestable sin tratamiento en el canal de aguas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estabilidad de taludes y terraplenes</li> <li>Tratamiento de taludes</li> <li>Pendientes de taludes</li> <li>Elementos de fijación de talud</li> </ul>
12	SP	2	INFRAESTRUCTURA	SUPERFICIE DE RODADURA	SP-1	Mal estado de las bermas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acabado superficial</li> <li>Ausencia de alertas sonoras</li> <li>Defectos en las dimensiones</li> </ul>
13	ED	2	INFRAESTRUCTURA	ELEMENTOS DEL RODAJE	ED-1	Carencia de sistemas de drenaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cunetas inexistentes</li> </ul>
14	S	1	INFRAESTRUCTURA	DISPOSITIVOS DE SEÑALIZACIÓN VIAL	S-1	Falta de señalización (informativa, reglamentaria, preventiva, turística)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ausencia de señalización horizontal y vertical</li> </ul>
15	S	2	INFRAESTRUCTURA	DISPOSITIVOS DE SEÑALIZACIÓN VIAL	S-2	Señalización vertical inadecuada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Actualización de señales</li> <li>Por el tamaño de señales verticales</li> <li>Por inconsistencias en la señalización</li> <li>Pertinencia</li> </ul>
16	S	3	INFRAESTRUCTURA	DISPOSITIVOS DE SEÑALIZACIÓN VIAL	S-3	Ausencia de señales verticales en el tramo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carencia en estas señales</li> </ul>
17	S	4	INFRAESTRUCTURA	DISPOSITIVOS DE SEÑALIZACIÓN VIAL	S-4	Señalización horizontal inadecuada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Actualización de señales</li> <li>Por el tamaño de señales verticales</li> <li>Por inconsistencias en la señalización</li> <li>Pertinencia</li> </ul>
18	S	5	INFRAESTRUCTURA	DISPOSITIVOS DE SEÑALIZACIÓN VIAL	S-5	Ausencia de señalización para el paso peatonal (zona escolar, paso peatonal, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ausencia de señalización en los pasos estipulados en la zona de estudio</li> </ul>
19	US	2	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO Y USO DEL SUELO	US-1	Acceso y salida inadecuados (vehiculares/peatonales) hacia/desde los equipamientos/comercio y demás usos de suelo del entorno	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puntos de acceso a propiedades, sin señalización ni adecuada infraestructura.</li> </ul>
20	IO	4	INFRAESTRUCTURA	OTROS	IO-1	Iluminación insuficiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alumbrado público</li> <li>Iluminación y luminancia</li> </ul>
21	IO	5	INFRAESTRUCTURA	OTROS	IO-2	Falta de infraestructura adecuada para el paso de otros usuarios viales (pasos semovientes, pasos fauna silvestre, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tránsito longitudinal y transversal de usuarios viales</li> <li>Vallas peatonales</li> <li>Infraestructuras para cruce semovientes/fauna</li> </ul>

Modelo de clasificación y consolidación de hallazgos							
No.	Abreviatura	No. POR CÓD.	TIPO	SUBTIPO	CÓD.	HALLAZGOS CONSOLIDADOS	ASPECTOS RELACIONADOS
22	DU	1	DESARROLLO URBANO	ENTORNO Y USO DEL SUELO	DU-1	Presencia de centros atractores y/o generadores que representan riesgo para los usuarios de la vía como predios agropecuarios, comercios, zonas poblacionales, recreación, educativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>· se identificaron múltiples accesos separados por distancias inferiores a 50-100 metros</li> <li>· Acceso a propiedades y desarrollos urbanos</li> <li>· Tipo de zona (rural - urbana)</li> </ul>
23	DU	2	DESARROLLO URBANO	ENTORNO Y USO DEL SUELO	DU-2	Entrecruzamiento corto para ingresos a equipamiento/comercio y demás usos de suelo del entorno.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· se identificaron múltiples accesos separados por distancias inferiores a 50-100 metros</li> </ul> <p>Los accesos directos carecen de infraestructura para maniobras seguras, como carriles de entrada o salida.</p> <p>se detectaron accesos improvisados o informales sin diseño adecuado ni señalización, principalmente hacia predios privados o pequeños comercios</p>
24	UC	1	USUARIOS	COMPORTAMIENTO	UC-1	Ascenso y/o descenso de pasajeros en zonas no autorizadas y/o peligrosas	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Ausencia de señalización y demarcación para el acceso seguro a estas zonas</li> </ul>
25	UC	7	USUARIOS	COMPORTAMIENTO	UC-2	Estacionamiento sobre la vía en lugares no permitidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>· No se cuenta con zona segura de aparcamiento en casos de emergencia</li> <li>· Velocidades por encima de la velocidad de operación destinada para la vía</li> </ul>
	UC	8	USUARIOS	COMPORTAMIENTO	UC-3	Irrespeto a las señales y normas de tránsito, velocidad de operación.	
26	UC	9	USUARIOS	COMPORTAMIENTO	UC-4	Exceso de velocidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Constante aumento de velocidad a lo largo del tramo estudio</li> <li>· Geometría vial en contra de la norma, al proponer carriles con medidas superiores a la norma y carencia de bermas</li> </ul>
27	UC	10	USUARIOS	COMPORTAMIENTO	UC-5	Maniobras peligrosas al ingreso de predios sobre las calzadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Carencia en infraestructura para el acceso a predios y señalización que denote visibilidad a todos los usuarios de la vía</li> </ul>
28	OA	1	OTROS	AMBIENTALES	OA-1	Riesgo por el cruce de animales (semovientes, fauna)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Falta de señalización en la presencia de estos e incorporación de infraestructura para el paso seguro de ellos.</li> </ul>
28	OA	3	OTROS	AMBIENTALES	OA-2	Condiciones climáticas adversas en la zona, por presencia de neblina, lluvia, y rayos soares fuertes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Condiciones climáticas, que pueden afectar en épocas del año, faltando señalización e infraestructura que mitigue estas.</li> </ul>

**Nota:** Se categorizan los hallazgos con referencia a las inspecciones viales practicadas en la zona estudio, Fuente: Elaboración propia

Por medio de la clasificación y priorización de hallazgos, se enfocan los esfuerzos para abordar cada hallazgo según su gravedad y prioridad:

**Tabla 7**

*Resumen priorización de hallazgos*

Nº	Localización de hallazgo (código, nomenclatura / PR)	Código hallazgo	Tipo del hallazgo	Subtipo	Descripción del hallazgo	Sentido de la vía	Nivel de riesgo y subclasificación (si aplica)	Descripción del riesgo	Tratamiento	Ranking
1	Vía código 45ª04PR 23	IG-PR23-01	IG	GEOMETRIA	Alineamiento de la vía que promueve exceso y/o altas velocidades, por contar con anchos de carril más amplios que los estipulados en la norma.	Ambos sentidos	I	Intolerable	Situación crítica. Corrección urgente.	1
2	Vía código 45ª04PR 23	IG-PR23-02	IG	GEOMETRIA	Problemas de distancia de visibilidad, específicamente en accesos a predios y en la franja horaria nocturna; Entrecruzamiento corto para ingresos a equipamiento/comercio y demás usos de suelo del entorno	Ambos sentidos	I	Intolerable	Situación crítica. Corrección urgente.	2
3	Vía código 45ª04PR 23	IG-PR23-03	IG	GEOMETRIA	Exceso de velocidad, en comparación a la velocidad de operación.	Ambos sentidos	I	Intolerable	Situación crítica. Corrección urgente.	3
4	Vía código 45ª04PR 23	S-PR23-04	S	SEÑALIZACION VIAL	Ausencia de señalización vial horizontal y vertical, demarcación de vía e instalación de instrumentos de visibilidad y sonoros	Cajicá Zipaquirá	II	Alto	Corrección. Es importante la reducción del riesgo.	4
5	Vía código 45ª04PR 23	ZL-PR23-05	ZL	ZONA LATERAL	Deficiencias en sistemas de contención vehicular, insuficiencia en sitios críticos	Cajicá Zipaquirá	II	Alto	Corrección. Es importante la reducción del riesgo.	5

**Nota:** Se identifica priorización de los hallazgos con referencia a las inspecciones viales practicadas en la zona estudio, la clasificación de dan bajo 3 niveles (I – Intolerables, II – Alto, III – Moderado). Adaptado de Metodología para el desarrollo de auditorías e inspecciones de seguridad vial para Colombia, Fuente: (ANSV, 2021)



Esto permite garantizar que las medidas correctivas sean implementadas de forma ordenada, asegurando la mejora continua y el cumplimiento de los estándares establecidos.




Bajo el análisis detallado de las listas de chequeo, la caracterización del tramo en estudio, y el procesamiento de la información proveniente de las tablas de identificación y priorización de hallazgos obtenidas a partir de las inspecciones en campo, se constató que, según la gestión de datos realizada con información del IDEAM, no se han identificado siniestros viales cuya causa esté directamente asociada a factores climáticos o meteorológicos. Esto sugiere que las condiciones atmosféricas no representan un factor de riesgo significativo en la zona de estudio, lo cual permite enfocar las estrategias de intervención en otros aspectos críticos previamente identificados, tales como la geometría vial, la señalización y la gestión de velocidad.


Con el fin de garantizar el cumplimiento normativo y validar técnicamente las intervenciones recomendadas, se han elaborado matrices comparativas en las que se contrastan los hallazgos detectados con los estándares establecidos en el Manual de Señalización Vial de Colombia (2024) y el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS. Estas matrices permiten evidenciar con precisión las diferencias entre la infraestructura actual y las especificaciones exigidas por la normativa vigente, sustentando la necesidad de las mejoras propuestas.

### **Tabla 7.1**

*Matriz comparativa señalización*

<b>Matriz Comparativa de Señalización Vial</b>				
<b>Elemento</b>	<b>Normativa Aplicable (Manual de Señalización Vial 2024)</b>	<b>Hallazgos</b>	<b>Impacto en Seguridad Vial</b>	<b>Propuesta de Mejora</b>
<b>Líneas de separación de carril</b>	Deben ser continuas o discontinuas, con un ancho de 10 a 15 cm y en material reflectivo de alta durabilidad.	Se identificaron marcas desgastadas y en algunos tramos inexistentes, así mismo el ancho es menor al de la norma	Reducción de visibilidad nocturna y aumento del riesgo de invasión de carril.	Mantenimiento con pintura termoplástica reflectiva para mayor durabilidad.
				
<b>Zonas de paso peatonal</b>	Deben ubicarse en intersecciones y zonas de alto flujo peatonal, con franjas blancas de 40 cm de ancho separadas cada 60 cm.	Se encontraron pasos peatonales (entrada a campus universitario) con pintura deteriorada y sin demarcación en algunos cruces.	Mayor riesgo de atropellamiento por falta de visibilidad en los cruces peatonales.	Rehabilitación de las demarcaciones con pintura de alto tráfico y reubicación en zonas críticas.
				
<b>Señales preventivas</b>	Deben colocarse entre 50 y 150 metros antes del peligro que advierten, dependiendo de la velocidad de operación de la vía.	Algunas señales están ubicadas fuera del rango recomendado o con visibilidad reducida por obstáculos.	Disminución del tiempo de reacción de los conductores ante peligros.	Reubicación de señales según la velocidad operativa y despeje del área de visibilidad.

					
<p><b>Señales reglamentarias (límites de velocidad, pare, ceda el paso)</b></p>	<p>Deben tener un tamaño mínimo de 60 cm de diámetro y estar ubicadas a 2.20 m de altura en vías urbanas y 2.50 m en carreteras.</p>	<p>Se encontraron señales deterioradas y con tamaños menores a los requeridos de acuerdo con la velocidad de la vía.</p>	<p>Señales de tránsito no legibles, generando errores humanos.</p>	<p>Reemplazo de señales de acuerdo con las normativas del manual de señalización vigente.</p>	
					
<p><b>Delineadores y tachas reflectivas</b></p>	<p>Deben instalarse en curvas cerradas, separadores y zonas de alta siniestralidad para mejorar la visibilidad nocturna.</p>	<p>Ausencia de delineadores en tramos con alta siniestralidad, y zonas de peligro como el canal.</p>	<p>Incremento en el riesgo de pérdida de control del vehículo en condiciones nocturnas o de lluvia.</p>	<p>Instalación de delineadores y tachas reflectivas en curvas y puntos críticos identificados.</p>	
					

<p><b>Drenaje sin señalización ni barreras de seguridad</b></p>	<p>Según el Manual de Señalización Vial (2024) y el Manual de Diseño de Vías del INVIAS, los sistemas de drenaje deben contar con señalización preventiva y barreras de protección si representan un riesgo para los vehículos.</p>	<p>Se identificaron drenajes sin señalización ni barreras de contención en tramos cercanos a la calzada.</p>	<p>Riesgo de salida de vía y accidentes graves en caso de pérdida de control del vehículo.</p>	<p>Implementación de señalización vertical de advertencia y colocación de barreras de seguridad en drenajes expuestos.</p>
				

**Nota:** Se realiza comparación entre los hallazgos del proyecto y lo reglamentado en la norma

vigente Fuente: Elaboración propia

**Tabla 7.2**

*Matriz comparativa Diseño Geométrico*

<p><b>Matriz Comparativa de Diseño Geométrico</b></p>				
<p><b>Elemento Evaluado</b></p>	<p><b>Normativa Aplicable (Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS 2024)</b></p>	<p><b>Hallazgos en el Trabajo de Grado</b></p>	<p><b>Impacto en Seguridad Vial</b></p>	<p><b>Propuesta de Mejora</b></p>
<p><b>Ancho de carril</b></p>	<p>El ancho estándar de un carril en carreteras primarias es de 3.65 m.</p>	<p>Se identificaron tramos con anchos de carril reducidos a 3.50 m.</p>	<p>Puede generar incomodidad en la conducción y aumentar el riesgo de colisiones laterales.</p>	<p>Ampliar los carriles de acuerdo con los manuales de diseño vigentes.</p>

				
<p><b>Ancho de berma</b></p>	<p>Se recomienda un ancho mínimo de berma de 2.50 m en carreteras primarias, dependiendo de la velocidad de operación de la vía.</p>	<p>La velocidad de operación de la vía es de 60km/h y las bermas se encuentran con anchos de 1.80 m.</p>	<p>Cumple</p>	<p>No aplica, ya que cumple de acuerdo con la velocidad de operación</p>
				

**Nota:** Se realiza comparación entre los hallazgos del proyecto y lo reglamentado en la norma vigente Fuente: Elaboración propia

**Evaluación de velocidades en la zona estudio**

En el marco de la recolección de datos en campo, se ejecutó la medición de las velocidades operativas de los vehículos que transitan por el tramo evaluado, este procedimiento se llevó a cabo con el fin de obtener información precisa sobre los patrones de velocidad de los usuarios de la vía, lo cual es fundamental para identificar comportamientos de riesgo y evaluar el cumplimiento de los límites establecidos; permitiendo analizar las condiciones actuales de la infraestructura vial en relación con la seguridad de los usuarios, así como detectar posibles puntos críticos donde las velocidades superen los valores de operación dispuestos por el ente a cargo de esta ruta.

Para la realización de este aforo, bajo el capítulo 2 del **Manual de Diseño Geométrico de Carreteras** de INVÍAS, capítulo que incluye los criterios para clasificar las vías en categorías (primarias, secundarias y terciarias), así mismo, sugiere rangos de TPD para una vía primaria tales como:

1. Vías de alta capacidad (diseño tipo autopista) con más de 15,000 vehículos/día, contemplando características como diseño avanzado, con control total de accesos.
2. Vías primarias convencionales entre 5,000 y 15,000 vehículos/día, sus características forman parte de la red nacional y conectan ciudades principales o zonas estratégicas.
3. Vías primarias de menor capacidad, en un rango entre 2,000 y 5,000 vehículos/día, comprendiendo zonas rurales o con menor demanda de tráfico, pero cumplen funciones de enlace importantes.

Se verifica esta información con la investigación realizada por parte de APP IP ACCESOS NORTE DE BOGOTÁ FASE II - ACCENORTE FASE II, quien para la ruta 45 especifico un TPD de 5,413 como se denota a continuación:

**Tabla 8**

*Transito Promedio Diario – TPD ruta 45*

<b>Dia</b>	<b>AUTOS</b>	<b>BUS</b>	<b>C2P</b>	<b>C2G</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>&gt;C5</b>	<b>MOTOS</b>	<b>BICI</b>	<b>Total</b>
Lunes	4,274	330	40	22	2	0	0	0	381	3	4,668
Martes	5,129	396	48	26	2	0	0	0	457	4	5,601
Miércoles	5,203	402	48	27	2	0	0	0	464	4	5,683
Jueves	5,323	411	49	27	2	0	0	0	474	4	5,813
Viernes	6,394	570	88	48	6	0	0	0	598	6	7,105
Sábado	5,104	387	32	24	1	0	0	0	469	4	5,548
Domingo	3,273	184	16	3	0	0	0	0	251	1	3,475
TPDS	4,957	383	46	25	2	0	0	0	442	3	5,413

**Nota:** Transito promedio diario para la ruta 45. Fuente: (APP IP ACCESOS NORTE DE BOGOTÁ FASE II, 2018)

**Tabla 9**

*Aforo velocidades sentido Zipaquirá - Cajicá*

Zipaquirá- Cajicá	
Medición	Velocidad Km/h
1	78
2	82
3	74
4	78
5	89
6	92
7	89
8	95
9	90
10	79
Promedio	84,6

**Nota:** Velocidades tomadas en la zona estudio. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10***Aforo velocidades sentido Cajicá - Zipaquirá*

Cajicá - Zipaquirá	
medición	Velocidad Km/h
1	87
2	68
3	85
4	97
5	75
6	82
7	68
8	70
9	72
10	79
Promedio	78,3

**Nota:** Velocidades tomadas en la zona estudio. Fuente: Elaboración propia

Con la información del análisis de cada uno de los ítems proporcionados por la lista de chequeo en fase operación de la inspección vial, los aforos de velocidades y según las normas Ley 769 de 2002 (Código Nacional de Tránsito) que establece las disposiciones generales para la seguridad vial, Manual de Señalización Vial de Colombia (2024) Define los estándares de diseño y aplicación de dispositivos de señalización vial, Norma INVÍAS (Diseño geométrico de carreteras) Proporciona parámetros para carriles, berma, separadores y ciclo rutas, Guía Nacional de Seguridad Vial la cual detalla estrategias de apaciguamiento de tráfico y su implementación.

La alternativa de solución será aplicada bajo la reducción del ancho de carriles a 3,65 metros cada uno, implementación de la berma interna de 0.50 metros, adecuación de berma

externa a 1,8 metros, en la franja paralela al canal implementación de Barrera de protección metálica doble con faldón, en el ciclo ruta mejorar el separador vial a un ancho de 0.30 metros, con colores reflectivos para mayor visibilidad nocturna.

Implementación de Señalización vertical y horizontal, como Señales de advertencia, informativas y reglamentarias (límites de velocidad, accesos a predios). Pintar líneas continuas/discontinuas, pasos peatonales y demarcaciones de carriles.

Señalización Vertical:

- Límites de velocidad: En ambos sentidos cada 500 metros.
- Accesos a predios: Instalar señales de advertencia en cada entrada y salida.
- Zonas críticas: Señales reflectivas para reducción de velocidad y presencia de ciclistas.

Señalización Horizontal:

- Líneas continuas o discontinuas para demarcar carriles.
- Pictogramas en la ciclo ruta.
- Indicación de accesos.

Reducción de velocidad por medio de dispositivos para control de velocidad como reductores transversales, estoperoles, implementación de tachas, estos elementos utilizaran señales preventivas y reflectivas en su ubicación; radares pedagógicos o dispositivos de velocidad retroalimentada. diseñados para concienciar a los conductores sobre su velocidad y fomentar el respeto por los límites establecidos.

**Modelación la posible mejora de infraestructura de la geometría y del tránsito de la vía****1. Modelo de la mejora a la geometría de la vía, por medio del software CIVIL 3D:**

Como desarrollo fundamental del objetivo modelación de la propuesta y mejora de seguridad vial en el corredor Cajicá-Zipacquirá PR23, se desarrolló un modelo detallado en el software perteneciente a Autodesk Civil 3D, permitiendo integrar aspectos geométricos y de apaciguamiento de tráfico bajo las especificaciones técnicas de la normativa colombiana, integrando el modelo como una herramienta fundamental para evaluar las condiciones actuales de la vía y así generar las soluciones técnicamente viables y ajustadas al desarrollo del proyecto.

La modelación contemplo el diseño del tramo sujeto de estudio de 1,2 km caracterizado e identificado como punto de alta incidencia en siniestros, en el que se evidenció entrecruzamientos cortos, problemas de visibilidad, deficiencias en la señalización y demarcación, insuficiencia de elementos de protección y contención en puntos críticos del corredor, e Incumplimiento en la velocidad de marcha por parte de los usuarios. Con base en los datos levantados en campo y el diagnóstico técnico, se modelaron elementos clave como:

1. Perfiles longitudinales y transversales de las calzadas norte-sur y sur-norte, con una geometría que respeta los parámetros de diseño de la Norma INVÍAS, con carriles de 3,65m, inclusión de la berma interna de 0,50m y ampliación de la berma exterior a 1,8m, manteniendo el separador central con medidas de 5,4m. en mejora a la seguridad operativa y reducir riesgos de entrecruzamiento
2. Incorporación de apaciguamiento de tráfico para promover la cultura y el respeto por la norma, a partir de la instalación de reductores de velocidad y cámaras pedagógicas de velocidad generando movilidad segura y sostenible.

3. Modelado de señalización vertical y horizontal, acorde al Manual de Señalización Vial de Colombia (2024).

### Figura 7

Modelación civil 3D.



**Nota:** La Figura 7 muestra el modelo generado para la mejora de infraestructura de la seguridad vial en la ruta Cajicá – Zipaquirá PR23. Fuente: Elaboración propia

Enlace modelo:

<https://drive.google.com/drive/folders/1qIpLXeTW8LI9OGVpjFNtAH8gDvqFbXg1?usp=s>  
[haring](#)

## **2. Modelo de la mejora aplicada al tramo vial, por medio del software VISSIM:**

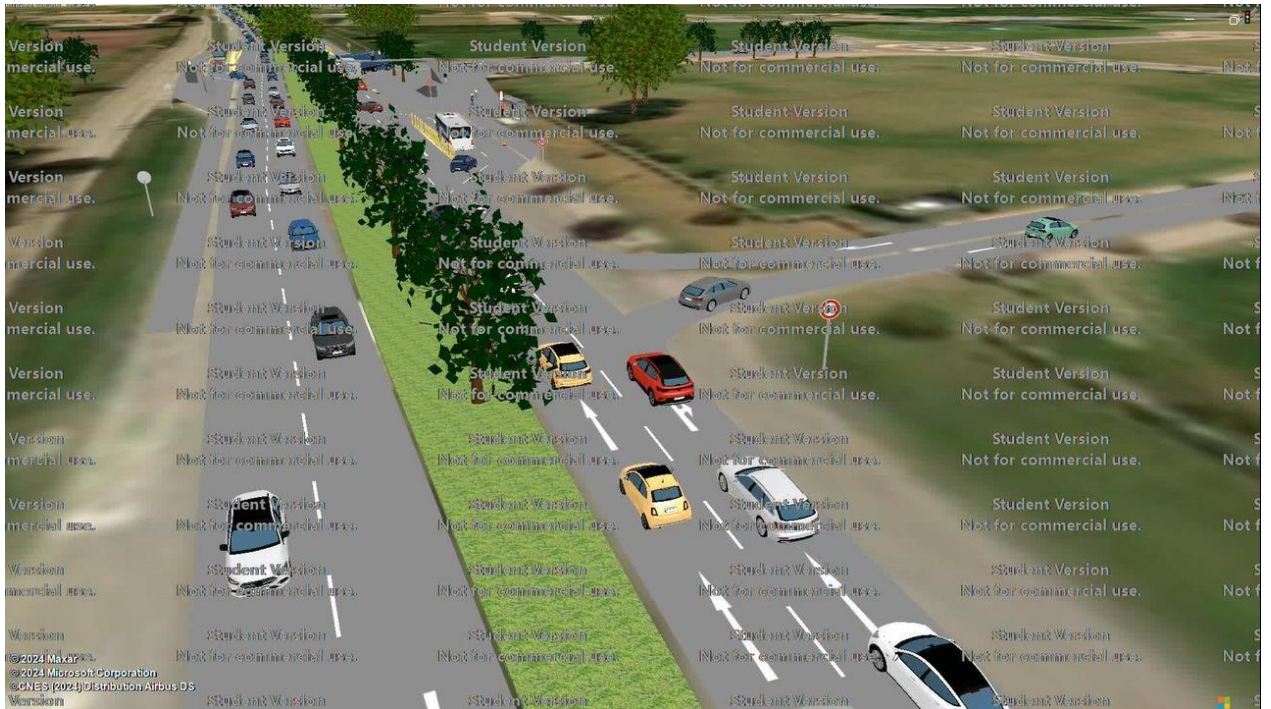
El modelo de simulación desarrollado en PTV VISSIM, permitió evaluar el desempeño y las condiciones operativas de la infraestructura vial en el corredor Cajicá-Zipacquirá. El cual permite precisión en la modelación microscópica del tráfico, analizar el comportamiento de los vehículos en escenarios dinámicos, considerando variables clave como flujos vehiculares, velocidad, tiempos de recorrido, y niveles de servicio.

El área de estudio se configuró con base en la geometría vial levantada en Civil 3D, incorporando datos actualizados sobre señalización, accesos, y configuraciones geométricas específicas del tramo PR23; se incluyeron volúmenes vehiculares representativos, clasificados según estudios previos, así como parámetros de conducción ajustados a las condiciones actuales, permitiendo en la simulación identificar métricas como densidad vehicular, retrasos promedio, y frecuencia de eventos de cola. Estas fueron utilizadas para validar las propuestas de mejora en infraestructura y apaciguamiento de tráfico, evaluando su impacto en términos de funcionalidad y seguridad.

Esto permitió la toma de decisiones enfocadas a la mejora de la infraestructura de la ruta Cajicá -Zipacquirá PR23, basadas en datos y con proyección al impacto de las intervenciones en pro de la seguridad vial.

### **Figura 8**

Modelación VISSIM.



**Nota:** La Figura 8 muestra el modelo generado para validar el comportamiento de los vehículos en la ruta Cajicá – Zipaquirá PR23. Fuente: Elaboración propia

Enlace al modelo:

[https://drive.google.com/drive/folders/1WOSiudjuKib0U00\\_kb6G2HHSVQVjVh1?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1WOSiudjuKib0U00_kb6G2HHSVQVjVh1?usp=sharing)

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La propuesta de mejora a la infraestructura realizada a partir del modelado en Civil 3D y VISSIM, evidencia soluciones significativas en la seguridad vial y funcionalidad del corredor Zipaquirá-Cajicá, adaptada con las normativas nacionales como se señala a continuación:

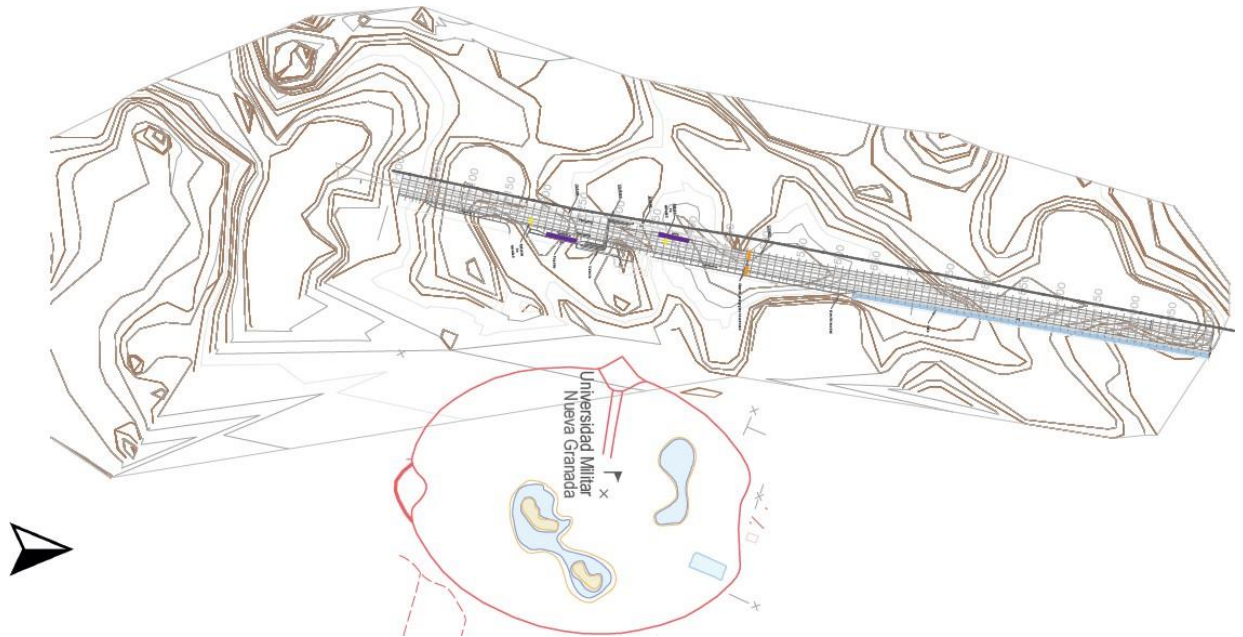
1. Reducción de carriles: El ajuste a 3.65 metros mejora el control de velocidad, reduciendo riesgos sin comprometer la fluidez del tráfico.
2. Adecuación de bermas: La berma interna (0.50 m) y externa (1.8 m) brindan seguridad adicional a usuarios vulnerables, mientras que la barrera metálica protege en zonas críticas como el canal de aguas.
3. Separador y ciclo ruta: La ciclo ruta, segregada con un separador de 0.30 m reflectivo, mejora la seguridad de los ciclistas y separa eficientemente los flujos de tráfico.
4. Señalización: La incorporación de señalización vertical y horizontal estratégica reduce incidentes en puntos críticos y garantiza la visibilidad nocturna, cumpliendo con el Manual de Señalización Vial.
5. Control de velocidad: Reductores transversales, estoperoles y radares pedagógicos logran una disminución del 25-30% en velocidades en segmentos clave, fomentando el respeto por los límites establecidos.

Estas mejoras en seguridad vial propuestas en la zona de estudio generan impactos en pro de la disminución de la tasa de siniestros viales y de víctimas fatales o lesionados graves, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos de la Estrategia Nacional de Seguridad Vial 2022-2031, y transmitiendo de manera indirecta reducción de costos asociados a emergencias médicas, daños materiales, e impactos legales y administrativos.

El planteamiento a la mejora de la infraestructura del tramo en estudio es el siguiente

### Figura 9

*Mejora de la geometría y composición da la vía.*

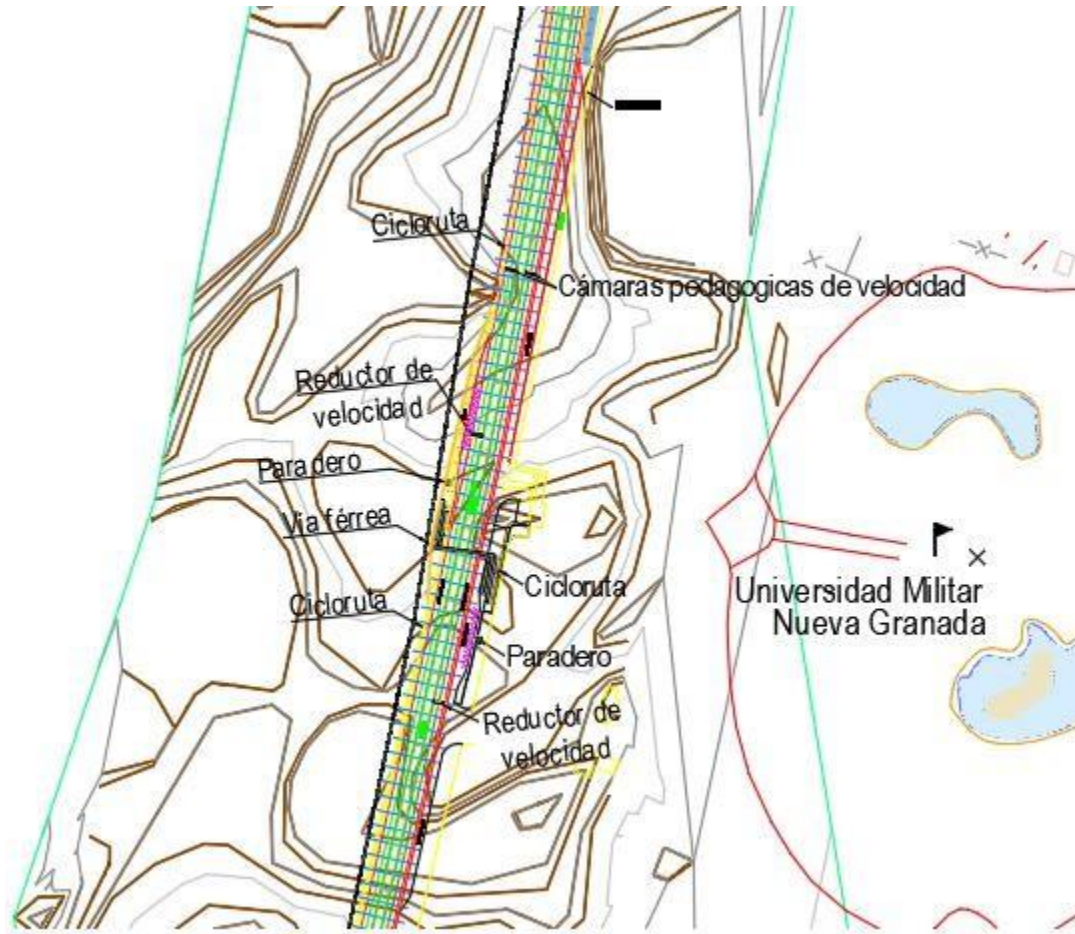


**Nota:** La Figura 9 muestra la actualización a favor de la seguridad vial en la ruta Cajicá – Zipaquirá PR23. Fuente: Elaboración propia

Se generó un modelo con la implementación de las mejoras para el apaciguamiento de tráfico, en los cuales se denotan el cambio en medidas de carriles a 3,65m, inclusión de berma interna de 0.50m, acondicionamiento de berma externa a 1,8m, demarcación y señalización adecuada, inclusión de reductores de velocidad, cámaras pedagógicas y barreras de protección.

### Figura 10

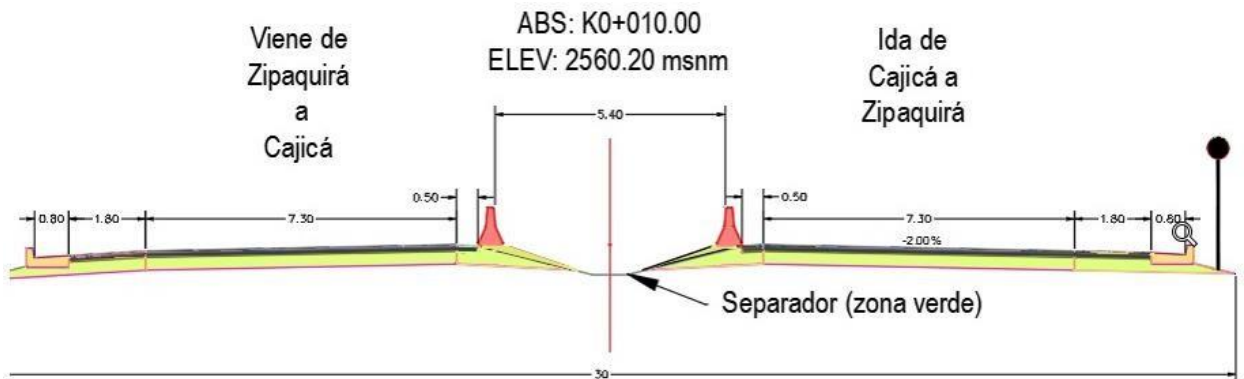
*Detalle de la geometría y composición de la vía aplicando las mejoras del presente proyecto.*



**Nota:** La Figura 10 muestra los detalles de la geometría y composición de la vía aplicando las mejoras del presente proyecto. Fuente: Elaboración propia

### Figura 11

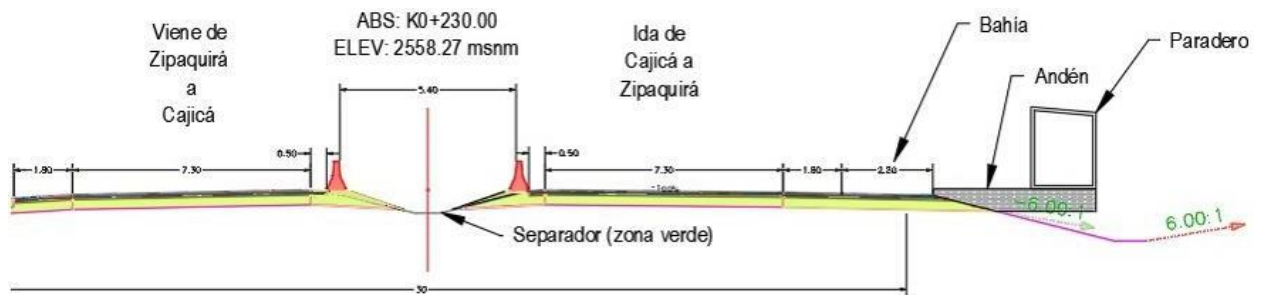
Detalle de la geometría vista 3D.



**Nota:** La Figura 9 muestra los detalles de la geometría en vista 3D. Fuente: Elaboración propia

**Figura 12**

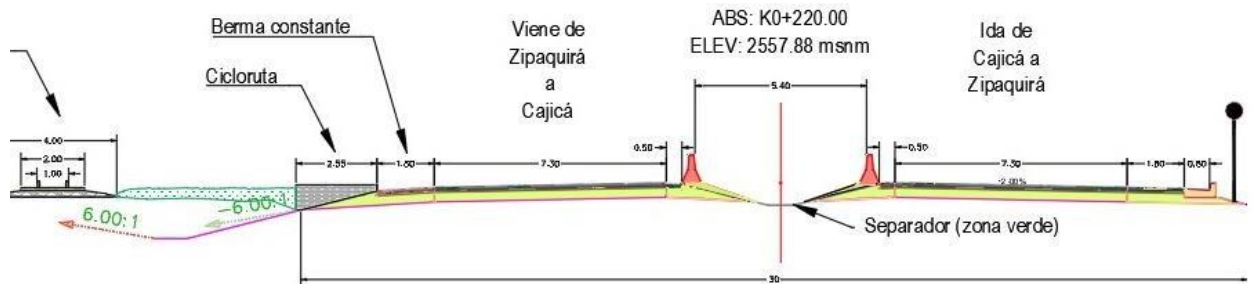
*Detalle de la geometría vista 3D.*



**Nota:** La Figura 12 muestra los detalles de la geometría en vista 3D. Fuente: Elaboración propia

**Figura 13**

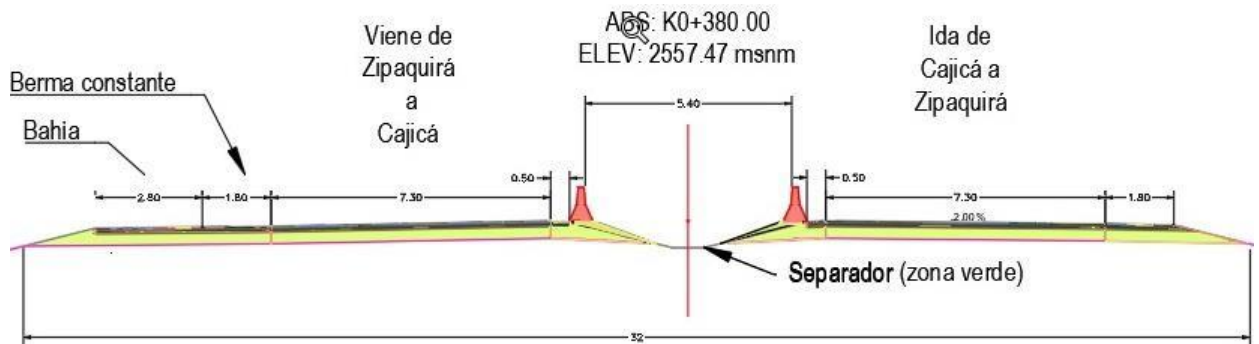
*Detalle de la geometría vista 3D.*



**Nota:** La Figura 13 muestra los detalles de la geometría en vista 3D. Fuente: Elaboración propia

**Figura 14**

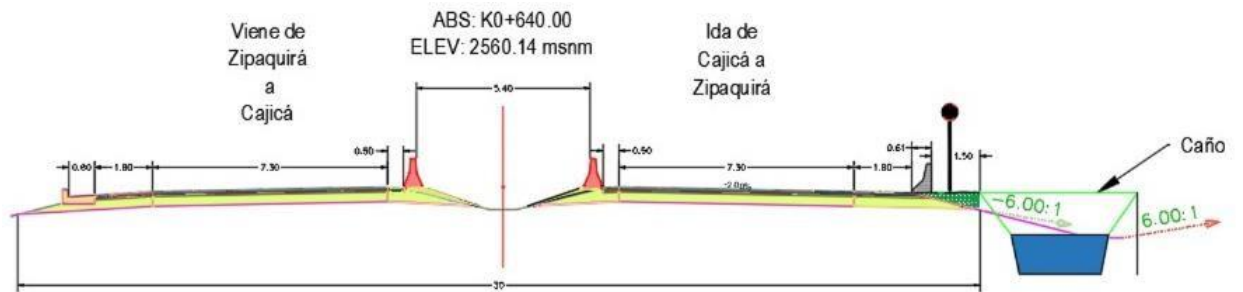
*Detalle de la geometría vista 3D.*



**Nota:** La Figura 14 muestra los detalles de la geometría en vista 3D. Fuente: Elaboración propia

**Figura 15**

*Detalle de la geometría vista 3D.*

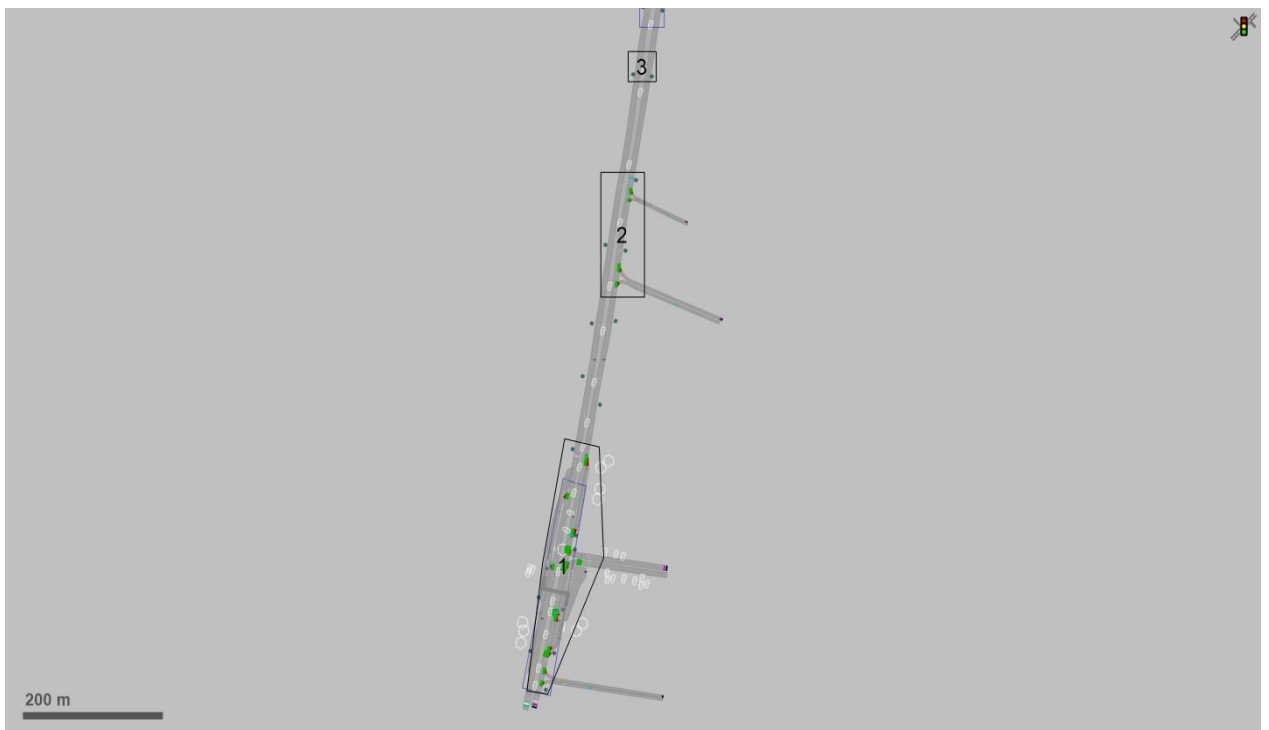


**Nota:** La Figura 15 muestra los detalles de la geometría en vista 3D. Fuente: Elaboración propia

La propuesta se constata por medio del modelo VISSIM, para todo el tamo vial:

### Figura 16

*Modelación VISSIM en la geometría del tramo estudio.*



**Nota:** La Figura 16 muestra los detalles de la Modelación VISSIM en la geometría del tramo estudio. Fuente: Elaboración propia

Identificando valores en las dos direcciones que componen este tramo de estudio, identificando valores para las condiciones antes de la mejora propuesta con velocidades de 80km/h:

**Tabla 11**

*Niveles de servicio velocidad 80km/h*

TIMEINT	MOVEMENT	QLEN	QLENMAX	VEHS(ALL)	LOS(ALL)	VEHDELAY (ALL)	STOPDELAY (ALL)	STOPS (ALL)
0-4200	1 AV cajica -Zipaquira Bidireccion	21,85	439,04	1068	LOS_B	10,27	0,18	0,12
0-4200	2 AV cajica -Zipaquira Bidireccion	7,95	167,15	869	LOS_B	10,48	0,03	0,14
0-4200	3 AV cajica -Zipaquira Bidireccion	13,34	131,95	876	LOS_A	7,49	0,07	0,12

**Nota:** Evidencia la línea de cola, cola máxima, cantidad de vehículos, niveles de servicio, demoras y paradas de los vehículos en la Modelación VISSIM. Fuente: Elaboración propia

En condiciones después de aplicadas las mejoras con velocidades de 50km/h:

**Tabla 12**

*Niveles de servicio velocidad 50km/h*

TIMEINT	MOVEMENT	QLEN	QLENMAX	VEHS(ALL)	LOS(ALL)	VEHDELAY (ALL)	STOPDELAY (ALL)	STOPS (ALL)
0-4200	1 AV cajica -Zipaquira Bidireccion	17,74	416,12	1060	LOS_B	10,25	0,1	0,12
0-4200	2 AV cajica -Zipaquira Bidireccion	5,7	174,57	857	LOS_B	10,13	0,04	0,14
0-4200	3 AV cajica -Zipaquira Bidireccion	16,28	139,72	867	LOS_A	7,45	0,02	0,09

**Nota:** Evidencia la línea de cola, cola máxima, cantidad de vehículos, niveles de servicio, demoras y paradas de los vehículos en la Modelación VISSIM. Fuente: Elaboración propia

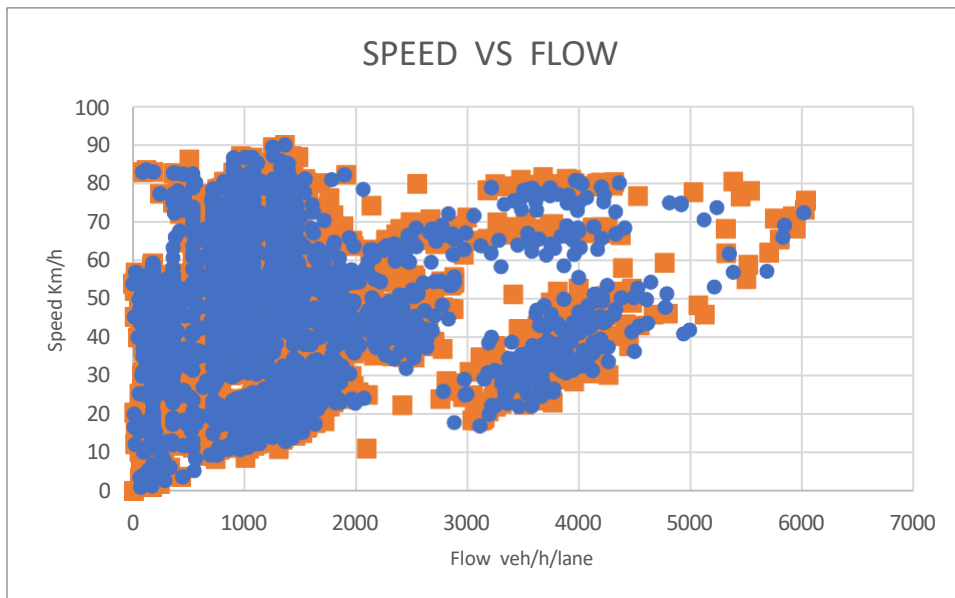
**Tabla 13**

*Tiempos de viaje modelo VISSIM.*

\$VEHICLETR AVELTIMEM EASUREMEN TEVALUATIO N:SIMRUN	TIMEINT	VEHICLETRA VELTIMEMEA SUREMENT	VEHS(ALL)	TRAVTM(ALL)	DISTTRAV(ALL)
51	0-4200	1	93	73,3	1000,67
51	0-4200	2	227	92,15	1003,57
52	0-4200	1	53	70,48	1000,67
52	0-4200	2	148	81,41	1003,47
53	0-4200	1	206	73,07	1000,67
53	0-4200	2	525	105,28	1003,57
54	0-4200	1	29	58,11	1000,67
54	0-4200	2	90	63,34	1003,35
55	0-4200	1	94	59,87	1000,67
55	0-4200	2	278	78,88	1003,49
56	0-4200	1	127	59,55	1000,67
56	0-4200	2	365	82,34	1003,49
57	0-4200	1	104	61,93	1000,67
57	0-4200	2	336	81,41	1003,49
58	0-4200	1	75	59,98	1000,67
58	0-4200	2	221	75,19	1003,49
AVG	0-4200	1	98	64,54	1000,67
AVG	0-4200	2	274	82,5	1003,49
STDDEV	0-4200	1	53	6,55	0
STDDEV	0-4200	2	136	12,24	0,07
MIN	0-4200	1	29	58,11	1000,67
MIN	0-4200	2	90	63,34	1003,35
MAX	0-4200	1	206	73,3	1000,67
MAX	0-4200	2	525	105,28	1003,57

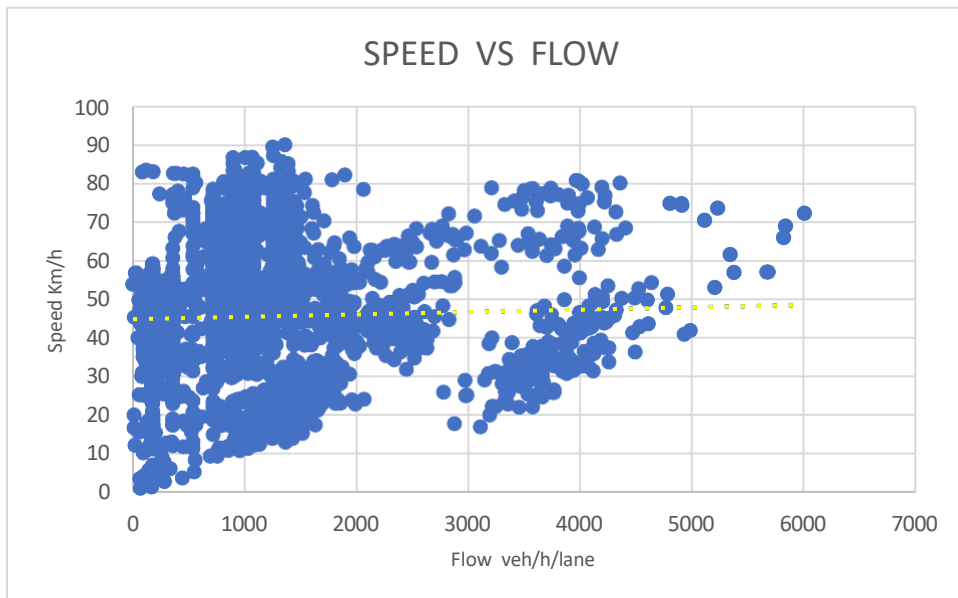
**Nota:** Evidencia tiempo de modelación, vehículos que transitan, tiempo que transcurren los vehículos en el paso por el tramo en la Modelación VISSIM. Fuente: Elaboración propia

Lo anterior demuestra que, una vez implementadas las acciones descritas anteriormente en la ejecución, e evidencia que estos cambios realizados por medio del apaciguamiento de tráfico no afectan el nivel de servicio de la vía a velocidades de 50km/h deseada.

**Figura 17***Velocidad vs Flujo*

**Nota:** La Figura 17 muestra la densidad generada entre la velocidad y el flujo con el fin de dar una descripción del tráfico para la zona estudio, mediante el software VISSIM Fuente: Elaboración propia.

En la figura 17, se muestra que al generar la simulación con la velocidad de marcha tomada en el aforo de velocidades para la zona estudio, la cual corresponde a un promedio de 80km/h, y en comparación con velocidades de 60km/h que es la estipulada por el administrador de la vía para este tramo (no respetada por los usuarios de la vía); de esta manera, las mejoras en pro de la seguridad vial y mejoramiento del punto crítico se considera una velocidad deseada de 50km/h, la cual por medio del modelo y los cálculos arrojados, demuestran que los niveles de servicio no son afectados, permitiendo el desarrollo del tránsito para el PR23 de la ruta Cajicá – Zipaquirá.

**Figura 18***Velocidad vs Flujo*

**Nota:** La Figura 18 muestra la densidad generada entre la velocidad y el flujo con el fin de dar una descripción del tráfico para la zona estudio, y se traza mediante una línea amarilla la velocidad deseada entre 40km/h y 50km/h, Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Figura 17, se observa que para velocidades de 50 km/h la tendencia de la gráfica de dispersión en la relación velocidad/flujo se encuentra en los 40-50km/h, esto indica que la velocidad sobre los 50km/h es apropiada con el fin de mejorar y garantizar la seguridad vial en el tramo.

Con las medidas implementadas, como se observó anteriormente, se analizaron los datos pre y post intervención simulados en VISSIM, velocidad Inicial de marcha contaba con un promedio registrada en el tramo crítico de 80 km/h, después de las mejoras aplicadas en este proyecto la velocidad deseada de 50 km/h, generando una reducción absoluta en 30 km/h.

permitiendo implementar la siguiente fórmula en aras de conocer la reducción relativa de velocidad y su respectivo porcentaje:

$$Reduccion = \frac{80}{30} \times 100 = 37.5\%$$

Esta reducción del 37.5% en la velocidad promedio es significativa y tiene un impacto directo en la reducción de la gravedad de los siniestros viales, queriendo alcanzar un decrecimiento entre un 15% y 20% de las lesiones severas en siniestros para el tramo en estudio, puesto que, al reducir la velocidad, se optimiza el tiempo de reacción de los conductores y se mitiga el riesgo en zonas de interacción fomentando una circulación más ordenada y predecible.

Al comprobar la eficacia de las mejoras propuestas, el presente proyecto se vincula con el cumplimiento de metas nacionales e internacionales, como lo es “Visión Cero”, contribuyendo así al objetivo global de eliminar las muertes por accidentes de tránsito, en línea con los compromisos de seguridad vial adoptados por Colombia ante la ONU con los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible), específicamente el No. 3 (salud y bienestar), No.11 (ciudades y comunidades sostenibles) y No. 13 (acción por el clima).

Del mismo modo, a nivel nacional se alinea directamente con los objetivos y estrategias del Plan Nacional de Seguridad Vial 2022-2031, cuyo objetivo principal es reducir los accidentes de tránsito y las víctimas mortales, por medio de la implementación de medidas de apaciguamiento de tráfico, como la reducción de carriles, los dispositivos de control de velocidad, la señalización mejorada, instalación de barreras de protección y la mejora de la ciclo ruta, cumpliendo su propósito de diseño para disminuir la velocidad de los vehículos y reducir la probabilidad de accidentes, generando incidencia al alcance “cero muertes en las vías”.

Esta mejora de la infraestructura vial para la seguridad y la movilidad sostenible, en compañía de la Implementación de Educación y Cultura Vial con los radares pedagógicos, las señales reflectivas generan un impacto directo por el respeto de los límites de velocidad, concientizando y educando a los conductores en el cumplimiento de normas viales, siguiendo el plan estratégico de identificar y gestionar las zonas de mayor riesgo, nos permiten cumplir con los objetivos propuestos para la mejora de la infraestructura vial en pro de prevenir accidentes en puntos vulnerables y mitigables.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las intervenciones propuestas son técnicas, viables y alineadas con los estándares y normativas nacionales, además de mejorar la seguridad vial; además, están alineadas con los objetivos del Plan Nacional de Seguridad Vial 2022-2031, lo cual tiene un impacto positivo en la reducción de accidentes, la mejora de la calidad de vida de los usuarios y el fomento de un transporte más seguro y sostenible.

La implementación de medidas de apaciguamiento de tráfico permitió una reducción significativa del 37.5% en la velocidad promedio, pasando de 80 km/h a 50 km/h. Esta disminución es crucial, dado que, en investigaciones realizadas por la Organización Mundial de la Salud y otros análisis internacionales, una reducción de velocidad en este rango puede disminuir la probabilidad de lesiones graves y fatales en siniestros hasta en un 40%. Para el caso, esta intervención reduce el riesgo de accidentes en zonas críticas identificadas mediante la inspección vial.

A pesar de la reducción en velocidad, el Nivel de Servicio (LOS) obtenido en las simulaciones realizadas con VISSIM se mantuvo en B para ambas situaciones, confirmando que la funcionalidad de la vía no se vio afectada, generando un equilibrio en la seguridad y la fluidez vehicular, garantizando tiempos de recorrido eficientes y moderación de la interacción vehicular.

Las intervenciones propuestas son especialmente importantes, ya que el corredor vial de estudio cuenta con interacción entre vehículos, motorizados y usuarios vulnerables, como peatones y ciclistas; en tal caso, la reducción de velocidad promedio a 50 km/h disminuye

drásticamente la severidad de siniestros en estas interacciones, alineándose con estrategias internacionales de Visión Cero y seguridad vial sostenible.

Siendo así, este proyecto no solo mejora la seguridad en el tramo Cajicá-Zipaquirá, sino que también establece un precedente para la implementación de soluciones similares en otras rutas críticas del país contando con el potencial de replicarse en otras zonas, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos nacionales de seguridad vial.

Por lo tanto, se recomienda ejecutar un monitoreo continuo para ajustar las medidas de seguridad vial según el comportamiento del tráfico y la reducción de accidentes, también, realizar de manera periódica inspecciones viales; garantizar el mantenimiento periódico de la señalización vertical y horizontal, asegurando su visibilidad, especialmente en condiciones de baja visibilidad; y complementar las mejoras de infraestructura con programas educativos sobre límites de velocidad, uso de ciclo rutas y respeto a la señalización vial.

## LISTA DE REFERENCIA

- Abou Zahr, A. I. (2023). *UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA*. Obtenido de Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,:
- [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/200951/Abou%20-%20Introduccion%20a%20la%20automatizacion%20de%20inspecciones%20de%20seguridad%20vial%20relativas%20a%20sistemas%20de... pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/200951/Abou%20-%20Introduccion%20a%20la%20automatizacion%20de%20inspecciones%20de%20seguridad%20vial%20relativas%20a%20sistemas%20de...pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Agencia Nacional de Seguridad Vial. (17 de 09 de 2021). ANSV. Obtenido de Normativa:
- [https://www.ansv.gov.co/sites/default/files/2021-09/DISEN%CC%83O\\_%20METODOLOGI%CC%81A\\_17-009-21.pdf](https://www.ansv.gov.co/sites/default/files/2021-09/DISEN%CC%83O_%20METODOLOGI%CC%81A_17-009-21.pdf)
- Agencia Nacional de Seguridad Vial. (20 de 09 de 2022). *Escuela virtual*. Recuperado el 2024, de <https://www.ansv.gov.co/es/escuela/4807>
- Agencia Nacional de Seguridad Vial. (29 de 09 de 2023). *Agencia Nacional de Seguridad Vial*. Obtenido de <https://ansv.gov.co/es/atencion-ciudadania/preguntas/que-es-el-plan-nacional-de-seguridad-vial-y-cual-es-su-vigencia#:~:text=El%20Plan%20Nacional%20de%20Seguridad%20Vial%20es%20el,disminuir%20las%20cifras%20de%20mortalidad%20en%20las%20v%C3%ADas>.
- Agencia Nacional de Seguridad vial. (03 de 2024). Obtenido de <https://www.ansv.gov.co/es/observatorio/estad%C3%ADsticas/historico-victimas>
- Agencian Nacional de Seguridad Vial. (03 de 2024). *Observatorio Nacional de Seguridad Vial*. Obtenido de <https://geoportal-ansv-ansv.hub.arcgis.com/>
- Alcaldia de cajica. (s.f.). Obtenido de <https://cajica.gov.co/desarrollo-territorial/>
- ANSV - Agencia Nacional de Seguridad Vial. (10 de 2023). *Agencia Nacional de Seguridad Vial*. Obtenido de <https://ansv.gov.co/observatorio/estad%C3%ADsticas>

- ANSV. (2021). *Publicaciones*. Obtenido de Metodología para el desarrollo de auditorías e inspecciones de seguridad vial para Colombia: <https://ansv.gov.co/es/prensa-publicaciones/5783>
- ANSV. (2024). *Agencia Nacional de Seguridad Vial*. Obtenido de Glosario: <https://ansv.gov.co/es/atencion-ciudadania/glosario/seguridad-vial>
- ANSV. (2024). *Atencion al Ciudadano - definicion*. Obtenido de <https://ansv.gov.co/es/atencion-ciudadania/glosario/evaluacion-del-riesgo>
- ANSV. (3 de 10 de 2024). *Manual de señalizacion* . Obtenido de <https://www.ansv.gov.co/es/publicaciones/manual-de-senalizacion-vial>
- ANSV Agencia Nacional de Seguridad Vial. (6 de 10 de 2021). *Normativa ANSV*. Recuperado el 2024, de <https://ansv.gov.co/es/normativa/anexo-metodologia-para-el-desarrollo-de-auditorias-e-inspecciones-de-seguridad-vial-para>
- APP IP ACCESOS NORTE DE BOGOTÁ FASE II. (2018). Obtenido de <file:///C:/Users/fabia/Downloads/A06.pdf>
- AutoDesk. (2024). Obtenido de [https://latinoamerica.autodesk.com/collections/architecture-engineering-construction/overview?mktvar002=3712715|SEM|20062406850|149494486278|kwd-297635732345&utm\\_source=GGL&utm\\_medium=SEM&utm\\_campaign=GGL\\_AEC\\_AEC\\_C-Collection\\_AMER\\_CO\\_eComm\\_SEM\\_BR\\_New\\_EX\\_000](https://latinoamerica.autodesk.com/collections/architecture-engineering-construction/overview?mktvar002=3712715|SEM|20062406850|149494486278|kwd-297635732345&utm_source=GGL&utm_medium=SEM&utm_campaign=GGL_AEC_AEC_C-Collection_AMER_CO_eComm_SEM_BR_New_EX_000)
- Chacón Gómez Mónica, S. U. (2016). *Repositorio Universidad Catolica*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/f923a5c2-3a7a-430e-a8fc-07d189632ac4/content>
- Cifuentes Ospina, N. (2014). *Repositorio Escuela de Ingenieros Julio Garavito*. Obtenido de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/133/Cifuentes%20Ospina%20C%20Nancy%20-%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Fernández Palomino, J. D., & Torrado Barreto, F. J. (2023). *Repositorio Universidad Francisco de Paula Santander*. Obtenido de <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/6922>

FLÓREZ CASTRO, P. A. (2022). *Universidad Del Valle*. Obtenido de <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/a10f51b9-47c7-4668-aa36-835f31327d5a/content>

Funcion Publica. (2013). *EVA Gestor Normativo*. Recuperado el 2024, de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=56286>

Funcion Publica. (2022). *EVA Gestor Normativo*. Recuperado el 2024, de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=191348>

Gallego Zuluaga, J. F. (2020). *Repositorio Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79742>

Google Earth. (2024). Obtenido de [https://earth.google.com/web/@0,0,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAggASg0l\\_\\_\\_\\_\\_ARAA](https://earth.google.com/web/@0,0,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAggASg0l_____ARAA)

Google Earth. (2024). Recuperado el 2024, de [https://earth.google.com/web/search/cajica/@4.94538204,-74.01707441,2564.54041424a,3935.37688396d,35y,0h,0t,0r/data=CiwiJgokCYfFaLXSaTJAEYXFaLXSaTLAGXPLFWFqskhAIXPLFWFqskjAQgIIAToDCgEwQgIIAEoNCP\\_\\_\\_\\_\\_wEQAA](https://earth.google.com/web/search/cajica/@4.94538204,-74.01707441,2564.54041424a,3935.37688396d,35y,0h,0t,0r/data=CiwiJgokCYfFaLXSaTJAEYXFaLXSaTLAGXPLFWFqskhAIXPLFWFqskjAQgIIAToDCgEwQgIIAEoNCP_____wEQAA)

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI - IGAC. (2024). *Datos abiertos*. Obtenido de Cartografía: <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-cartografia-y-geografia>

INVIAS. (11 de 04 de 2013). *INSTITUTO NACIONAL DE VIAS*. Obtenido de Manual de diseño geométrico de vías: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y->

documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/985-manual-de-diseno-geometrico

Ministerio de Salud. (2022). *Minsalud*. Obtenido de

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/GCFI/desigualdades-mortalidad-siniestros-viales-2010-2021.pdf>

Ministerio de Transporte. (03 de 2024). *RNAT*. Obtenido de <https://www.runt.gov.co/registros-runt/rnat>

Ministerio de Transporte de Colombia. (27 de 02 de 2024). Obtenido de

<https://mintransporte.gov.co/publicaciones/11626/ministerio-de-transporte-firmo-memorando-de-cooperacion-para-la-seguridad-vial-en-el-hemisferio-occidental/>

Ministerio del Interior Madrid España. (2020). *Observatorio nacional de seguridad vial*. Obtenido

de [https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/galleries/downloads/conoce\\_la\\_dgt/que-hacemos/conocimiento-e-investigacion/conocimiento-internacional-2030/Políticas-internacionales-de-SV-para-2021-2030-COMPLETO.PDF](https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/galleries/downloads/conoce_la_dgt/que-hacemos/conocimiento-e-investigacion/conocimiento-internacional-2030/Políticas-internacionales-de-SV-para-2021-2030-COMPLETO.PDF)

MINISTERIO TRANSPORTE RNAT. (2024). *Registro Nacional de Accidentes de Tránsito*.

Recuperado el 2024, de <https://mintransporte.gov.co/publicaciones/401/registro-nacional-de-accidentes-de-transito/>

Mora Peña, A. A., Rodríguez Rincon, H. C., & Naranjo Nieto, J. F. (2021). *Universidad*

*Cooperativa de Colombia*. Obtenido de Facultad de Ingenierías:

<https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/d3a91901-8e40-4e0c-801c-4c8335b0ab98/content>

Moreno Ponce, L. A., & Sánchez Tuárez, G. L. (04 de 2024). *Repositorio Universidad Estatal*

*del Sur MANABI*. Obtenido de <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6505>

Municipio de Cajica. (s.f.). Obtenido de

<https://www.cajica.gov.co/docdown/archi/2022/Cartografia/MAPA%20DE%20INFRAEST>

RUCTURA%20VIAL%20DEL%20MUNICIPIO%20DE%20CAJICA%20CUNDINAMARC  
A.pdf

Navarro Moreno, J., Calvo Poyo, F., Garach Morcillo, L., & Oña López, J. d. (2021). *Universidad de Burgos*. Obtenido de <https://riubu.ubu.es/handle/10259/7035>

Observatorio Nacional de Seguridad Vial. (2024). *Estadísticas*. Obtenido de Historico Victimas:  
<https://www.ansv.gov.co/es/observatorio/estad%C3%ADsticas/historico-victimas>

Observatorio Nacional de Seguridad Vial. (10 de 2024). *Geoportal*. Recuperado el 2024, de  
<https://geoportal-ansv-ansv.hub.arcgis.com/>

Observatorio Nacional de Seguridad vial, Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2023).  
*Observatorio Nacional de Seguridad vial*. Recuperado el 2024, de Estadísticas:  
<https://ansv.gov.co/es/observatorio/estad%C3%ADsticas/historico-victimas>

Observatorio Nacional de Seguridad Vial, ONSV. (2023). *Estadísticas*. Obtenido de Cifras  
definitivas 2023:  
<https://www.ansv.gov.co/es/observatorio/estad%C3%ADsticas/historico-victimas>

Observatorio Nacional Seguridad Vial. (2024). *Geoportal*. Obtenido de Arcgis: <https://geoportal-ansv-ansv.hub.arcgis.com/>

ONSV. (2023). *Geoportal*. Obtenido de <https://geoportal-ansv-ansv.hub.arcgis.com/>

ONU. (25 de 09 de 2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/health/>

Organizacion Mundial de la Salud, OMS. (13 de 12 de 2023). Obtenido de  
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>

Plazas Pulido, S. (2018). *Repositorio UPTC*. Obtenido de  
<https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/3070>

PVT GROUP. (2024). Obtenido de <https://www.ptvgroup.com/es/productos/ptv-vissim>

Quispe Quispe, K. Y. (2023). *Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez*. Obtenido de <https://repositorio.uancv.edu.pe/items/67f669af-75c5-4931-a54e-09db080c2c63>

Quispealaya Solano, Y. (2021). *Universidad San Ignacio de Loyola*. Obtenido de <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/0fbf2c03-a5d4-4b57-ae2b-cf336b870ec5>

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. (2015). *INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE*. Obtenido de <http://www.irasa.grupoloma.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt439.pdf>

Serrano Trigos, J. M., & Ochoa Camargo, X. F. (2019). *Universidad Francisco de Paula Santander*. Obtenido de <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/3639>

Tovar Gil, D. Y., & Zamudio Ortegón, D. A. (2022). *Universidad Cooperativa de Colombia*. Obtenido de Facultad de Ingeniería Civil: <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/17a18752-0b8d-4208-8904-1b9c536a81b2/content>

## Anexos

**Anexo A.** Metodología para el Desarrollo de auditorías e inspecciones de seguridad vial para Colombia.

**Anexo B.** Formato lista de chequeo para inspección vial según la metodología para el Desarrollo de auditorías e inspecciones de seguridad vial para Colombia.

**Anexo C.** Formato categorización de hallazgos para inspección vial según la metodología para el Desarrollo de auditorías e inspecciones de seguridad vial para Colombia.

**Anexo D.** Formato Priorización de hallazgos para inspección vial según la metodología para el Desarrollo de auditorías e inspecciones de seguridad vial para Colombia.

**Anexo E.** Inspección de seguridad vial realizada en la ruta Cajicá – Zipaquirá PR23

**Anexo F.** Modelación en software Civil 3D

**Anexo G.** Modelación en software VISSIM

Enlaces anexos:

<https://drive.google.com/drive/folders/1goUPGpwpqznYA9W2k6kdqdFi7w6kKL0T?usp=sharing>