



Auditoria en Seguridad Vial vía Armenia-Pereira, Km 15+600 al Km 21+600

Laura Sofia Moscoso Betancur

20482111961

María Camila Morante García

20481719175

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Pereira-Risaralda, Colombia

2023

Auditoria en Seguridad Vial vía Armenia-Pereira, Km 15+600 al Km 21+600

Laura Sofia Moscoso Betancur

María Camila Morante García

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Civil

Director (a):

Magister. Álvaro Mauricio Mejía Ramírez

Línea de Investigación:

Auditoría Seguridad Vial

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Pereira-Risaralda, Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____, Cumple con

los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Pereira, Día Mes 2023.

Contenido

	Pág.
Resumen	9
Abstract	10
Introducción.....	11
1. Descripción del problema	13
2. Objetivos	15
2.1. Objetivo General.....	15
2.2. Objetivos Específicos	15
3. Justificación	16
4. Antecedentes	18
5. Marco teórico	22
5.1. Seguridad Vial	22
5.2. Teorías de la Seguridad Vial.....	23
5.3. Auditorías de Seguridad Vial.....	24
5.4. Etapas del Proceso de Seguridad Vial	25
5.5. Valoración del Nivel de Riesgo en el Marco de una ASV	26
5.6. Matriz de Riesgo.....	28
6. Estado del Arte.....	28
7. Metodología	32
7.1. Tipo de Investigación	32
7.2. Fases de la Investigación	32
7.3. Procedimiento Metodológico.....	33

7.4. Operacionalización de las Variables.....	34
8. Resultados y Análisis.....	39
8.1. Siniestralidad.....	39
8.2. Descripción del Tramo Auditado.....	40
8.3. Señalización Vertical y Horizontal en el Tramo Auditado.....	42
8.4. Elementos de Riesgo en el Tramo Auditado.....	48
8.5. Identificación de Comportamiento Agresivo en la Vía.....	49
8.6. Operativos de Velocidad (Percentil 85%).....	50
8.7. Matriz de Riesgo en el Tramo Auditado.....	53
8.8. Mapas de Riesgo.....	55
8.9. Alternativas para la Reducción del Riesgo en la Vía.....	57
Conclusiones.....	59
Referencias.....	61
Anexos.....	65

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Procedimiento metodológico para los objetivos específicos	33
Tabla 2. Operacionalización de las variables para el objetivo 1	34
Tabla 3. Operacionalización de las variables para el objetivo 2.....	36
Tabla 4. Operacionalización de las variables para el objetivo 3.....	37
Tabla 5. Operacionalización de las variables para el objetivo 4.....	38
Tabla 6. Características del tramo auditado por cada kilómetro.....	41
Tabla 7. Estado y condiciones de la señalización del tramo auditado	43
Tabla 8. Ubicación barreras de contención que no cumplen los requerimientos de seguridad ...	48
Tabla 9. Matriz de riesgo general para el tramo evaluado	54
Tabla 10. Propuesta para el mejoramiento de la seguridad vial	58

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Siniestralidad años 2021 a junio de 2023	39
Figura 2. Ubicación Geográfica.....	40
Figura 3. Señalización horizontal	46
Figura 4. Cabezotes de obras de drenaje, elementos de riesgo más frecuente en la vía	49
Figura 5. Identificación de comportamiento agresivo	49
Figura 6. Operativo de velocidad en el tramo evaluado	51
Figura 7. Comparativo de velocidades en función del tipo de zona	52
Figura 8. Mapas de riesgo para los kilómetros del: a) 15+600 a 16+600; b) 16+600 a 17+600; c) 17+600 al 18+600; d) 18+600 al 19+600; e) 19+600 al 20+600; f) 20+600 al 21+600.	56

(Dedicatoria)

A mi madre que desde el cielo me sigue dando su amor y apoyo incondicional, te amo sin ti nada hubiera sido posible.

María Camila Morante García

La preocupación por el hombre y su destino siempre debe ser el interés primordial de todo esfuerzo técnico. Nunca olvides esto entre tus diagramas y ecuaciones.

Albert Einstein

Resumen

Las auditorías en seguridad vial son esenciales para identificar y evaluar los factores de riesgo que influyen en la infraestructura vial y en los usuarios de la vía. Constituyen un proceso metódico que abarca las fases de planificación, construcción y puesta en marcha de la vía, por lo que permiten anticipar posibles problemas y adoptar medidas preventivas y correctivas capaces de garantizar la seguridad de los actores viales.

En este proyecto, se realizó una auditoría en seguridad vial al tramo de vía Armenia-Pereira comprendido entre los kilómetros 15+600 al 21+600. Para ello, se desarrolló una metodología descriptiva y cuantitativa, consistente en la determinación y descripción de los factores de riesgo detectados durante el trabajo de campo. Se utilizó registro fotográfico y software especializados como señales y ArcGIS, Adicionalmente, se cuantificó el nivel del riesgo del tramo auditado por medio de matriz de riesgo.

En términos generales, la vía presentó una señalización horizontal y vertical apropiada, pero se identificaron factores de riesgo como accesos perpendiculares no señalizados, zonas propensas a deslizamientos, barreras de contención vehicular dañadas o en terminación brusca como cola de pez, comportamientos agresivos y presencia de elementos contundentes a lo largo de todo el tramo auditado. Se determinó que el punto crítico de riesgo se encuentra entre los kilómetros 17+600 al 18+600, presentando un nivel de riesgo medianamente tolerable. En respuesta, se propuso un plan de acción para mejorar la seguridad vial, incluyendo mantenimiento de la señalización, reducción de elementos contundentes, mejoramiento de las barreras de contención vehicular.

Palabras clave: *Auditoría, Seguridad Vial, Siniestro, Riesgo.*

Abstract

Road safety audits are essential for identifying and assessing the risk factors that impact both road infrastructure and its users. They represent a methodical process that spans the planning, construction, and implementation phases of a road, enabling the anticipation of potential issues and the implementation of preventative and corrective measures to ensure the safety of road users. In this project, a road safety audit was conducted on the Armenia-Pereira road section spanning kilometers 15+600 to 21+600.

A descriptive and quantitative methodology was developed, involving the determination and description of risk factors identified during fieldwork. Detailed photographic documentation and specialized software, such as traffic signs and ArcGIS, were utilized to assess the road conditions. Additionally, the risk level of the audited section was quantified through risk matrices.

The road exhibited appropriate horizontal and vertical signage, but risk factors were identified, including unmarked perpendicular accesses, areas prone to landslides, damaged or fish-belly-shaped metal barriers, aggressive behaviors, and the presence of hazardous objects along the entire audited stretch. Critical risk points were identified between kilometers 15+600 to 16+600 and 17+600 to 18+600, presenting a moderately tolerable risk level. In response, an action plan was proposed to enhance road safety, encompassing maintenance of signage, reduction of hazardous elements, improvement of containment barriers.

Keywords: Audit, Road Safety, Accident, Risk.

Introducción

Los siniestros viales son un referente de la problemática global por su impacto devastador en lo que concierne a las altas cifras de eventos que involucran pérdidas humanas como también discapacidades. A nivel mundial, se estima que alrededor de 1.3 millones de personas mueren y 50 millones resultan lesionadas cada año como consecuencia de estos incidentes (OMS, 2023). Los países en vía de desarrollo enfrentan las tasas más altas de siniestralidad, lo que ha llevado a la adopción de medidas preventivas para mitigar sus efectos. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados, Colombia sigue presentando una alarmante tasa de siniestros viales, que continúa en aumento (El Diario, 2023).

En este contexto, el departamento de Risaralda y Quindío se han visto especialmente afectados, registrando cifras preocupantes de siniestralidad vial; de acuerdo a lo anterior la vía Armenia-Pereira, una importante ruta que conecta el departamento con otras regiones del país, ha sido identificada como uno de los corredores viales con los más altos índices de siniestralidad (El Diario, 2023). Esto plantea la necesidad urgente de mejorar la seguridad vial en este tramo, considerando que alberga atracciones turísticas y áreas de descanso que atraen a una gran cantidad de visitantes.

Con el fin de abordar esta problemática, se planteó la realización de una Auditoría en Seguridad Vial (ASV) en el tramo de la vía Armenia-Pereira comprendido entre los Km 15+600 y el Km 21+600. El objetivo de esta auditoría fue evaluar diversos aspectos relacionados con la seguridad vial, como las barreras de contención vehicular, la señalización, las salidas perpendiculares al eje de la vía los riesgos físicos y el comportamiento agresivo de los usuarios.

Además, se buscó establecer consistencia en el diseño para determinar posibles riesgos inherentes al incumplimiento de la norma como lo es manual de diseño geométrico de carreteras 2008.

A través de la identificación de los factores de riesgo y la creación de matriz y mapas de riesgo, se brindó una visión clara de los puntos críticos y de mayor siniestralidad en el tramo evaluado. De esta manera, se busca promover la seguridad vial y salvaguardar la vida de los conductores, pasajeros y peatones que transitan por esta importante vía.

1. Descripción del problema

Los siniestros viales son una de las principales causas de muerte y discapacidad en todo el mundo. Según la Organización Mundial de la Salud (2023), anualmente alrededor de 1.3 millones de personas pierden la vida y 50 millones resultan lesionadas a causa de estos traumatismos (OMS, 2023).

Según la Organización Mundial de la Salud (2018), los países en vía de desarrollo presentan el 93% de las defunciones relacionadas con siniestros viales, por lo cual han adoptado medidas preventivas para disminuir las consecuencias devastadoras de los siniestros de tránsito (OMS, 2018). En el caso de Colombia, el gobierno ha implementado una política nacional de seguridad vial a través de la Resolución No. 4101 de 2004 del Ministerio de Transporte; sin embargo, el país presenta una alta tasa de mortalidad que tiende a incrementar año tras año. De acuerdo con el periódico “El Diario” (2023), en 2022 el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF) registró 8.301 muertes por siniestros viales, lo que representó un incremento del 12.9% con respecto al año inmediatamente anterior (El Diario, 2023).

Cabe resaltar la vía Armenia-Pereira es una ruta importante para el transporte de personas y mercancías, de acuerdo con la Superintendencia de Transporte ha sido catalogada como una de las zonas de mayor siniestralidad en el país (Superintendencia de transporte, 2018). Sumado a esto, en el tramo del Km 15+600 al Km 21+600 de la vía Armenia-Pereira se encuentra el corredor turístico de la región cafetera, por lo que existen varias atracciones naturales y áreas de descanso que llaman la atención de gran cantidad de turistas. Este factor puede aumentar el tráfico e incrementar la presencia de peatones que puede aumentar la probabilidad de siniestros viales, pues como menciona la OMS la mayoría de estos ocurren por el comportamiento humano (OMS, 2013).

Planteada la situación alarmante de seguridad vial nacional y el contexto del tramo de vía Armenia-Pereira, Km 15+600 al Km 21+600 es necesario plantear la pregunta de investigación:

¿Cuáles son los factores de consistencia de diseño y elementos de comportamiento agresivo que incrementan la vulnerabilidad, amenaza y riesgo de generación de un siniestro en el tramo de vía Pereira-Armenia-Pereira entre los Km 15+600 al Km 21+600?

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Realizar una Auditoría en Seguridad Vial (ASV) en la vía Armenia-Pereira, tramo Km 15+600 al Km 21+600.

2.2. Objetivos Específicos

- ❖ Identificar los elementos de señalización, de infraestructura vial y de comportamiento agresivo que incrementan el riesgo de un siniestro.
- ❖ Estructurar matriz de riesgo para establecer los niveles de riesgo de cada uno de los factores identificados.
- ❖ Crear mapas de riesgo para identificar de manera visual los puntos críticos en el tramo de carretera evaluado.
- ❖ Plantear alternativas para disminuir el riesgo de siniestralidad en el tramo auditado.

3. Justificación

Uno de los mecanismos eficaces para reducir significativamente la cantidad de muertes y lesiones en tránsito son las auditorías viales, las cuales permiten realizar un diagnóstico de la situación actual de las vías y determinar las causales principales de los siniestros. Según Garzón & Galindo, las auditorías de seguridad vial son fundamentales para identificar áreas potencialmente peligrosas, detectar fallos en la implementación de medidas de seguridad vial y determinar un plan de mejora (Garzón, Escobar, & Galindo, 2017).

Luego, las ASV son una herramienta esencial para establecer medidas preventivas y correctivas que mitiguen la problemática vial. De acuerdo con el Banco de Desarrollo de América Latina las auditorías viales pueden impactar positivamente en la seguridad vial, reduciendo las muertes y lesiones en el tránsito a un costo relativamente bajo, lo que la convierte en una opción interesante para los países subdesarrollados (Dos Santos, Rizzoni, & WRA, 2022).

En países desarrollados la implementación de las ASV ya ha mostrado grandes beneficios. Por ejemplo, según reportes del Departamento de Transporte de Nueva York (NYDOT), se observó una disminución significativa del 20 al 40% en la cantidad de accidentes de tránsito después de la realización de auditorías e inspecciones de seguridad vial (Banco Interamericano de Desarrollo BID, 2018). Por otro lado, un informe del Programa de Auditoría de Seguridad Vial de Carolina del Sur reveló que luego de implementar 9 recomendaciones derivadas de una auditoría, el lugar experimentó una reducción del 60% en el número de muertes (Gross, Nabors, & Gibbs, 2009).

Por lo cual, en aras de prevenir la cantidad de siniestros viales en el tramo Km 15+600 al Km 21+600 de la vía Armenia-Pereira, es trascendental realizar un diagnóstico real y detallado de la situación actual de la carretera para determinar los factores contextuales que podrían ser

causales de generación de siniestros viales. Se puede decir que la realización de una auditoría de seguridad vial involucrando variables auditadas en la presente investigación podría disminuir la severidad de los siniestros.

4. Antecedentes

En este apartado se describen algunas investigaciones relacionadas con la implementación de auditorías de seguridad vial a nivel nacional.

Alarcón (2015) en su artículo “Lista de chequeo para realizar auditorías de seguridad vial en Colombia” determinó una alta severidad en la vía Chiquinquirá-Tunja debido a factores como la distancia de la señalización vertical desde el borde del pavimento, distancia de objetos fijos a la orilla de la carretera, distancias libres despejadas y distancia de barreras de seguridad al borde del pavimento. El autor considera que las listas de chequeo son un buen mecanismo para identificar los factores de riesgo en las vías (Alarcón, 2015).

Londoño et al. (2017) propusieron una metodología semicuantitativa para la calificación y priorización de seguridad vial en la ciudad de Manizales, considerando 28 puntos críticos por su nivel de siniestralidad. Los autores propusieron tres etapas para la auditoría, en la etapa 1 se obtuvo información de campo a partir de lista de chequeo, ficha descriptiva, hallazgos, conteo de flujos y determinación de velocidades de operación. En la segunda etapa se realizó un análisis del riesgo y vulnerabilidad, en donde se definieron las amenazas principales que tenía la vía evaluada. En la última etapa se realizó una ponderación y cálculo de priorización de las variables evaluadas. Los autores concluyen que la calificación de la vulnerabilidad y la amenaza está sujeta a las consideraciones particulares del grupo auditor. Esto implica que las auditorías deben ser realizadas de forma imparcial y objetiva con el fin de proporcionar elementos confiables que realmente ayuden a reducir los niveles de riesgo en las vías (Londoño, Escobar, & Moncada, 2017).

Ardila et al. (2020) en su proyecto de grado “Auditoría en Seguridad Vial ruta nacional 50, tramo 5003-La Virginia a Apia”, realizaron un trabajo de campo para investigar la

siniestralidad de la zona. Los autores encontraron que la vía presenta un alto riesgo en el carril que conduce a Apia – La Virginia, mientras que el carril de dirección opuesta presenta un riesgo medianamente mitigable. Adicionalmente encontraron que el 90% de la señalización horizontal del tramo auditado se encuentra en pésimas condiciones técnicas, se evidencia desgaste y falta de reflectividad y recomienda realizar un mantenimiento o remplazo de la señalización vertical y repinte de la horizontal (Ardila, Quintero, & Córdoba, 2020).

Por otro lado, Calvo et al. (2021) evaluaron el sector Club Campestre - El Caimo, vía Pereira Armenia abscisas 0+000 a 8+000. Los autores determinaron un grado de riesgo tolerable y consideran pertinente continuar con las políticas de educación vial y mantenimiento preventivo para incrementar la seguridad de la vía. El autor hace un llamado a los organismos de control para realizar las inspecciones viales de manera constante y mitigar la siniestralidad de las carreteras colombianas (Calvo, Galvis, & Russi, 2021).

Benjumea et al. (2021) realizaron una auditoría en seguridad vial, en la Ruta 50 RS 01 Apia - La Virginia, con el objetivo de identificar los puntos críticos de la vía y proponer mejoras para reducir el riesgo de siniestros. Los resultados de la auditoría de seguridad vial mostraron que la ruta presentaba varios problemas, tales como falta de señalización, iluminación deficiente, falta de barreras de protección, curvas peligrosas y mal estado del pavimento. Sin embargo, los autores concluyen que el riesgo de la vía es medianamente tolerable y que se requiere intervención a mediano plazo, para lo cual sugirieron las siguientes acciones: a) intervención física a la infraestructura; b) análisis de políticas operacionales de control y correctivos; c) fortalecer y mejorar la educación vial enfocadas a los actores más vulnerables (Benjumea, Forero, & Montoya, 2021).

Arango & Villota (2022) en su estudio “Auditoría en Seguridad Vial del sector La Victoria – Zarzal, entre la Abcisa del km 36+000 a km 42+600”, realizaron un análisis de riesgo del tramo de la vía Victoria – Zarzal, determinado que, aunque el grado de riesgo es bajo algunos factores como delineadores de obstáculos verticales mal ubicados, barreras en mal estado con terminales bruscos y falta de mantenimiento de las señales de tránsito pueden aumentar el riesgo de accidentalidad en la vía (Arango & Villota, 2022).

Correa & Guerra (2022) realizaron una auditoría en seguridad vial para establecer la condición frente a los actores viales que transitan por la variante Condina ruta nacional 29RSD desde el Km 0+000 hasta el Km 6+500. Los autores determinaron que no existe suficiente delineación para conocer el trazado de la vía, además todas las barreras de contención presentan alguna inconformidad y algunas señales de tránsito fueron vandalizadas. De igual forma el autor reportó que la mayor tasa de siniestralidad es derivada de conductas agresivas, incumplimiento de las normas de tránsito o imprudencias del conductor (Correa & Guerra, 2022).

Betancourth & Monsalve (2022) auditaron el tramo de vía Km 80 + 000 a Km 86 + 000, sector Puerto Caldas – Cerritos. Los autores evidenciaron vulnerabilidad en los accesos perpendiculares dado que los vehículos que abandonan o se incorporan a la vía principal deben invadir el carril lento generando obstáculos parciales. Además, los autores mencionan un déficit en la señalización vertical, mal estado de las barreras de contención y falta de calidad y reflectividad de las señales de tránsito nocturnas (Betancourth & Monsalve, 2022).

Montoya et al. (2022) en su proyecto de grado “Auditoría en Seguridad Vial, desde la Glorieta Punto 30 - Terminal de Transporte de Pereira. Km 27+600- Km 37+000 del departamento de Risaralda”, determinaron que el tramo de carretera evaluado presentaba varios problemas de seguridad vial. Por ejemplo, inconsistencias en las de barreras de contención

vehicular, en las señales horizontales, verticales y en los cabezotes de alcantarilla. Además, los autores encontraron que el tramo auditado está compuesto por 18 elementos físicos desencadenantes de riesgo para los usuarios de la vía (García, Rosero, & Quintero, 2022).

Lara & Álvarez (2022) efectuaron una auditoría en seguridad vial al tramo La Paila – Armenia Km 44+000 al Km 50+000, determinando que el tramo evaluado presenta un grado de riesgo tolerable. Sin embargo, mostraron la carencia de barreras de contención y la existencia de objetos contundentes cercanos a la berma como árboles y postes. Los autores recomendaron mantenimiento inmediato a las variables de la vía que presentaron inconsistencias (Lara & Álvarez, 2022).

5. Marco teórico

En este apartado se exponen los principios teóricos y las consideraciones esenciales que establecen el sustento para la ejecución de la investigación. Específicamente, se resaltan los conceptos claves que son los cimientos para la comprensión del tema de auditoría en seguridad vial.

5.1. Seguridad Vial

Existen diversas definiciones de seguridad vial que son adaptadas dependiendo de los factores contextuales y situaciones específicas de cada población. Según la OMS (2013), la seguridad vial es la condición en que los usuarios de la vía pueden transitar por ella sin riesgo de sufrir daño corporal o material (OMS, 2013). De acuerdo con la Comisión Europea (s.f.) seguridad vial es el resultado de una combinación adecuada de medidas de prevención de siniestros y medidas de protección para minimizar las lesiones y daños en caso de que estos ocurran (Comisión Europea, 2019). Según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España (2011), la seguridad vial es la disciplina encargada de reducir la frecuencia y gravedad de los siniestros viales, mediante la aplicación de técnicas científicas y de ingeniería, junto con la educación y la acción coercitiva (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2011). Para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México (s.f.), la seguridad vial es el conjunto de medidas y acciones orientadas a garantizar la protección de la vida y la integridad física de las personas en la vía pública, así como la fluidez del tráfico. (Secretaría de Comunicaciones y transportes, s.f.) Similarmente, el Ministerio de Transporte de Colombia (2019) define seguridad vial como el conjunto de acciones, medidas y estrategias que se deben implementar en las vías públicas para prevenir y reducir el número de siniestros,

garantizando la seguridad y protección de los usuarios de la vía, así como el adecuado flujo vehicular (Ministerio de Transporte de Colombia, 2019).

Así mismo, en Colombia se establece que la seguridad vial es una responsabilidad compartida entre las autoridades competentes, los conductores, los peatones, los ciclistas y los demás usuarios de la vía, quienes deben actuar de manera responsable y respetar las normas y señales de tránsito para prevenir siniestros y promover la convivencia vial pacífica y armoniosa.

5.2. Teorías de la Seguridad Vial

Según Tabasso (2012) existen más de cien teorías o modelos relacionadas con la seguridad vial que pueden ser agrupados en los siguientes cuatro grupos (Tabasso, 2012):

Los modelos secuenciales son aquellos que identifican una secuencia de eventos que conducen a un accidente de tráfico. Estos modelos se centran en la cadena de eventos que llevan al accidente y proponen medidas para romper dicha cadena. Un ejemplo de modelo secuencial es el modelo de Haddon, que divide el proceso de accidente en tres fases: pre-colisión, colisión y post-colisión (Haddon, 1980).

Los modelos epidemiológicos se basan en la idea de que los accidentes de tráfico son un problema de salud pública y deben ser analizados como tal. Estos modelos se centran en la identificación de factores de riesgo y en la evaluación de su impacto en la salud de la población. Un ejemplo de modelo epidemiológico es el modelo de Dahlberg, que utiliza un enfoque epidemiológico para identificar los factores de riesgo relacionados con los accidentes de tráfico (Dahlberg, 1981).

Los modelos sistémicos ven la seguridad vial como un sistema complejo, compuesto por diferentes elementos interconectados. Estos modelos se centran en la identificación de las

interacciones entre los diferentes elementos y proponen medidas para mejorar el sistema en su conjunto. Un ejemplo de modelo sistémico es el modelo de los seis pilares, que incluye políticas y estrategias, infraestructura vial, vehículos, comportamiento del usuario, servicios de emergencia y atención médica, y evaluación y seguimiento (European Transport Safety Council (ETSC), 2016).

Los modelos predictivos utilizan datos históricos para predecir el riesgo de accidentes de tráfico. Estos modelos se basan en la idea de que los patrones de accidentes en el pasado pueden ser utilizados para predecir los patrones en el futuro. Un ejemplo de modelo predictivo es el modelo de Poisson, que utiliza la tasa de accidentes en un período determinado para predecir la tasa de accidentes en el futuro (Poisson, 1837).

5.3. Auditorías de Seguridad Vial

Para la OMS una auditoría de seguridad vial es un proceso sistemático de evaluación de un proyecto o un plan vial existente o propuesto, que tiene como objetivo identificar los riesgos de seguridad vial y proponer medidas para reducir o eliminar estos riesgos (OMS, 2013).

Mientras que para la Federation Internationale de l'Automobile una auditoría de seguridad vial es una evaluación técnica independiente que se lleva a cabo para analizar la seguridad de una infraestructura vial. Este proceso implica la identificación y análisis de los riesgos de seguridad vial en la infraestructura existente o propuesta, con el fin de proponer medidas para mejorar la seguridad vial (FIA, 2014). Por su parte, la Comisión Europea define la auditoría de seguridad vial como una herramienta que permite evaluar la seguridad de una infraestructura vial, analizando su diseño, construcción y operación. El objetivo de la auditoría es identificar los

puntos críticos y proponer mejoras para reducir los riesgos de siniestros viales (Comisión Europea, 2019).

Luego, puede decirse que una auditoría de seguridad vial es un procedimiento de evaluación de factores determinantes capaces de generar riesgos de siniestros.

Díaz (s.f.) en su “Auditorías de seguridad vial. Experiencias en Europa” y citando a la Road Safety Audit considera fundamentales los siguientes aspectos para la realización de una ASV se incluyen a continuación:

- ❖ Se trata de un procedimiento formal, nunca de una comprobación informal.
- ❖ Los auditores deben tener la adecuada formación y experiencia en la materia.
- ❖ Los auditores deben ser personal independiente de la fase de diseño.
- ❖ La auditoría debe estar limitada a aspectos relacionados con la seguridad.
- ❖ En el proceso deben tenerse en cuenta las necesidades de seguridad de todos los posibles usuarios de la vía.

En el mismo texto el autor menciona que una auditoría no puede tratarse como un procedimiento para evaluar si un proyecto es bueno o malo, como una lista de comprobación de cumplimiento de normativa, como una investigación de accidentes o una comprobación informal de la seguridad (Díaz, s.f.).

5.4. Etapas del Proceso de Seguridad Vial

Según la “Guía Técnica de Auditorías e Inspecciones de Seguridad Vial para Colombia” desarrollada por el Ministerio de Transporte, se establecen las siguientes etapas para el proceso de una auditoría en seguridad vial (Ministerio de Transporte de Colombia, 2020):

- ❖ **Preparación:** en esta etapa se define el objetivo de la auditoría, se establece el alcance y se identifican los criterios de auditoría. También se selecciona el equipo de auditores y se define el calendario de la auditoría.
- ❖ **Revisión de antecedentes:** en esta etapa se revisa la información disponible sobre la seguridad vial en la zona que se va a auditar, incluyendo accidentes de tráfico, características de la infraestructura vial, señalización y dispositivos de seguridad.
- ❖ **Evaluación in situ:** en esta etapa se realiza una evaluación en campo para identificar los riesgos de seguridad vial y las deficiencias en la infraestructura, señalización y dispositivos de seguridad. También se revisan los registros y documentación pertinente.
- ❖ **Análisis de los resultados:** en esta etapa se analizan los datos recopilados y se evalúa la efectividad del sistema de seguridad vial. Se identifican las deficiencias y se establecen recomendaciones para mejorar la seguridad vial.
- ❖ **Elaboración del informe:** en esta etapa se elabora un informe de auditoría que incluye los hallazgos, las recomendaciones y el plan de acción para mejorar la seguridad vial. El informe se presenta a la entidad responsable de la seguridad vial en la zona auditada.
- ❖ **Seguimiento y evaluación:** en esta etapa se realiza un seguimiento de las recomendaciones y acciones correctivas establecidas en el plan de acción. También se evalúa la efectividad de las medidas implementadas para mejorar la seguridad vial.

5.5. Valoración del Nivel de Riesgo en el Marco de una ASV

La “Guía Técnica de Auditorías e Inspecciones de Seguridad Vial para Colombia (2020)” establece el siguiente procedimiento para la valoración del nivel de riesgo en el marco de una Auditoría de Seguridad Vial (Ministerio de Transporte de Colombia, 2020):

- ❖ **Identificación del riesgo:** en esta etapa se identifican los riesgos de seguridad vial en la infraestructura vial auditada, así como los factores que contribuyen a estos riesgos. Para la identificación de los riesgos, se pueden utilizar listas de verificación, revisión de antecedentes y evaluación en campo.
- ❖ **Análisis del riesgo:** en esta etapa se analiza la probabilidad de que ocurra el riesgo identificado y el impacto que tendría en la seguridad vial. Para ello, se pueden utilizar técnicas como la matriz de riesgos, que permite evaluar la probabilidad e impacto de cada riesgo identificado.
- ❖ **Valoración del riesgo:** en esta etapa se valora el nivel de riesgo en función de la probabilidad e impacto del riesgo identificado. Para la valoración del nivel de riesgo, se pueden utilizar escalas de valoración cualitativas o cuantitativas. La Guía Técnica recomienda utilizar una escala de valoración cuantitativa de 1 a 5, donde 1 representa un riesgo muy bajo y 5 representa un riesgo muy alto.
- ❖ **Establecimiento de prioridades:** en esta etapa se establecen prioridades para la gestión de los riesgos identificados, teniendo en cuenta su nivel de riesgo y su importancia para la seguridad vial. Los riesgos con un nivel de riesgo más alto y/o una mayor importancia para la seguridad vial deben ser gestionados con mayor prioridad.
- ❖ **Elaboración del plan de acción:** en esta etapa se establecen las acciones necesarias para gestionar los riesgos identificados, con el objetivo de reducir su nivel de riesgo y mejorar la seguridad vial. El plan de acción debe incluir la asignación de responsabilidades, plazos y recursos necesarios para llevar a cabo las acciones.

5.6. Matriz de Riesgo

La matriz de riesgo es una herramienta muy utilizada en auditorías de seguridad vial y sirve para la valoración y gestión de los riesgos identificados. Según la Guía Técnica de Auditorías e Inspecciones de Seguridad Vial para Colombia (2020), la matriz de riesgo es una herramienta que permite evaluar la probabilidad de ocurrencia y el impacto de los riesgos identificados en la auditoría de seguridad vial. La matriz se compone de una tabla en la que se cruzan los niveles de probabilidad e impacto, y se asigna a cada riesgo un nivel de riesgo según su posición en la matriz (Ministerio de Transporte de Colombia, 2020). Elvik y Vaa, define la matriz de riesgo como una herramienta que permite evaluar la importancia de los riesgos identificados en la seguridad vial (Elvik & Vaa, 2004). Mientras que para Jansson y Lenman, la matriz de riesgo es una herramienta que permite evaluar la probabilidad de ocurrencia y el impacto de los riesgos identificados en la auditoría de seguridad vial, con el objetivo de establecer prioridades en la gestión de los riesgos (Jansson & Lenman, 2013).

6. Estado del Arte

Las auditorías en seguridad vial son de vital importancia para prevenir siniestros viales. A nivel mundial, se han llevado a cabo numerosos estudios que han identificado las principales causas de siniestralidad en las vías. Estos estudios han abordado diversos aspectos, como la evaluación de objetos contundentes, el estado de las carreteras y los comportamientos agresivos de los conductores (Ardila, Quintero, & Córdoba, 2020; Arango & Villota, 2022; Calvo, Galvis, & Russi, 2021). Además, se han recopilado datos estadísticos que evidencian el grado de riesgo

en las vías, lo cual ha motivado a las autoridades competentes a desarrollar estrategias de prevención y mitigación (Gichaga, 2017; Amir Ali Khan, Dass, Singh, & Jaglan, 2023). Luego, como menciona Huvarinen et al. (2017), la auditoría de seguridad vial amplía la idea de la interacción de los factores humanos y viales en el curso del estudio profundo de los accidentes. Es decir, las auditorías no se limitan a la evaluación periódica para la determinación del nivel de operación y mantenimiento de las carreteras, sino que evalúan de forma sistemática un conjunto de factores que inciden en la seguridad de todos los usuarios de las vías (Huvarinen, Svatkova, Oleshchenko, & Pushchina, 2017).

Asimismo, se resalta que la auditoría de seguridad vial no solo contempla la identificación de áreas de carretera con potenciales riesgos de siniestros, sino que su alcance también abarca la crucial tarea de proponer recomendaciones y estrategias para la mitigación de estos. Luego, por medio de una auditoría de seguridad vial se toman en cuenta medidas adecuadas para garantizar la seguridad de todos los usuarios (Huvarinen, Svatkova, Oleshchenko, & Pushchina, 2017).

Un ejemplo que ilustra lo mencionado, son los hallazgos de Gichaga (2017) quien identificó que, en el Corredor del Norte, que conecta los países de República Democrática del Congo, Burundi, Ruanda y Uganda, el 24% de los siniestros a lo largo de la vía resultan fatales, siendo los conductores responsables en un 49.4% de los casos. Ante esta situación, el autor propone una serie de recomendaciones que incluyen mejoras en el diseño geométrico de la vía, formación y capacitación vial a los conductores, así como la creación de parques de seguridad vial donde todos los usuarios de la carretera puedan recibir capacitación y participar en simulacros relacionados con la seguridad vial (Gichaga, 2017).

El autor destaca la importancia de incorporar medidas en el diseño geométrico de las carreteras para evitar puntos peligrosos y mejorar la seguridad vial. Esto implica considerar elementos como señales de tráfico, marcas viales, condiciones del pavimento, cruces peatonales y otros aspectos relevantes. Asimismo, Gichaga resalta la necesidad de realizar auditorías integrales de seguridad vial como requisito previo en cualquier proyecto de diseño, construcción u operación de carreteras. El enfoque integral busca identificar y corregir todos los posibles riesgos y deficiencias que puedan comprometer la seguridad de los usuarios de la vía (Gichaga, 2017).

Por otro lado, Amir et al. (2023) destacan que los siniestros viales tienden a ser más frecuentes en tramos rectos en comparación con curvas o intersecciones en forma de Y. Según los investigadores, aproximadamente el 68% de los siniestros ocurren en tramos rectos, mientras que solamente 11% son generados en curvas. En cuanto a los factores humanos, el exceso de velocidad se identifica como la principal causa de colisiones, seguida de la imprudencia de los conductores. Los autores sugirieron medidas como la instalación de límites y reductores de velocidad, así como bandas sonoras en áreas de alta frecuencia de siniestros. Asimismo, mencionaron la importancia de educar a las personas sobre temas de seguridad vial y recomendaron tomar medidas para eliminar invasiones no autorizadas en la vía, como la venta ambulante y almacenamiento de materiales (Amir Ali Khan, Dass, Singh, & Jaglan, 2023).

Similarmente, Mansuri et al. (2015) encontraron que el exceso de velocidad fue la causa principal de los siniestros viales, por lo que consideran fundamental educar e instruir a los conductores sobre medidas de seguridad vial. De igual forma, los autores manifiestan que el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) confiables debe usarse como ayuda para

identificar los sitios problemáticos y factores de riesgo , con el fin de intervenir adecuadamente las áreas de mayor vulnerabilidad y riesgo (Mansuri, Al-Zalabani, Zalat, & Qabshawi, 2015).

Las anteriores investigaciones demuestran para mejorar la seguridad vial es necesario realizar auditorías integrales, considerar el diseño geométrico de las carreteras, fomentar la educación vial, eliminar invasiones no autorizadas y utilizar herramientas tecnológicas para identificar y abordar los puntos de riesgo en las vías.

7. Metodología

7.1. Tipo de Investigación

La investigación propuesta se enmarcó en un enfoque descriptivo cuantitativo. Se realizaron tanto análisis documentales y entrevistas, como recopilación de datos estadísticos y observaciones de campo.

7.2. Fases de la Investigación

Esta investigación se realizó en tres fases denominadas exploratoria, de recolección de datos y de análisis e interpretación.

a) Fase exploratoria: En esta fase, se realizó una revisión sistemática de la literatura existente sobre seguridad vial y los factores de vulnerabilidad, amenaza y riesgo de siniestros en tránsito. Además, se recopilaron datos estadísticos sobre los siniestros ocurridos en el tramo de la vía Armenia -Pereira Km 15+600 al Km 21+600 en los últimos años.

b) Fase de recolección de datos: Para el desarrollo de esta fase, se recopiló la información necesaria para abordar los objetivos planteados en la investigación. Por lo cual, se llevó a cabo observaciones directas y se tomaron registros fotográficos para identificar elementos de comportamiento agresivo, problemas relacionados con barreras de contención, señalización y diseño geométrico del tramo a auditar. También se recopilaron datos estadísticos adicionales para determinar la siniestralidad de la vía.

c) Fase de análisis e interpretación: Una vez recopilados los datos, estos fueron analizados para determinar los factores de riesgo y los elementos de comportamiento agresivo presentes en el tramo de la vía Armenia-Pereira Km 15+600 al Km 21+600.

7.3. Procedimiento Metodológico

La tabla siguiente detalla el procedimiento metodológico utilizado para cada uno de los objetivos.

Tabla 1.
Procedimiento metodológico para los objetivos específicos

Objetivos	Procedimiento metodológico
Identificar los elementos de señalización, de infraestructura vial y de comportamiento agresivo que incrementan el riesgo de un siniestro.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se Realizó visita de campo con el fin de inspeccionar el tramo a evaluar. 2. Se identificó y tomar evidencias de los elementos de señalización presentes, tales como: señales verticales y horizontales, marcas viales, señales retro reflectantes. 3. Se Evaluó la infraestructura, incluyendo diseño y geometría de la vía, áreas de descanso. 4. Se identificó objetos contundentes como postes, árboles, barreras de contención vehicular, cabezotes de obras de drenaje, entre otros. 5. Se Identificó y registró comportamientos agresivos de actores viales, como exceso de velocidad, adelantamientos peligrosos, falta de respeto a las normas de tránsito, etc.
Estructurar matriz de riesgo para establecer los niveles de riesgo de cada uno de los factores identificados.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se evaluó cada factor de riesgo con base en la información obtenida en el primer objetivo. 2. Se priorizó y asignó un valor de riesgo a cada factor, de acuerdo con tablas de amenazas y vulnerabilidades. 3. Se construyó la matriz de riesgo.
Crear mapas de riesgo para identificar de manera visual los puntos críticos en el tramo de carretera evaluado.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se ingresó la información obtenida en el punto anterior, así como el plano de la vía en el software correspondiente. 2. Se generaron mapas de riesgo.
Plantear alternativas para disminuir el riesgo de siniestralidad en el tramo Km 15+600 al Km 21+600 de la vía Armenia-Pereira	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se generó una lista de posibles alternativas y medidas de mitigación para reducir el riesgo de siniestralidad en el tramo. 2. Se establecieron diferentes enfoques, como mejoras en la infraestructura vial, señalización adicional, educación y concientización vial, aplicación de tecnologías de seguridad, entre otros. 3. Se definieron las alternativas primordiales basadas en los resultados de matriz y mapas de riesgo.

Nota. Esta tabla indica el procedimiento metodológico utilizado para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos planteados, se realizó mediante la fase exploratoria, recolección de datos y análisis de resultados. Elaboración propia

7.4. Operacionalización de las Variables

En la siguiente tabla se evidencia la operacionalización de las variables para cada objetivo propuesto

Tabla 2.
Operacionalización de las variables para el objetivo 1

Objetivo específico	Variable	Tipo de variable	Operacionalización	Dimensiones	Definición	Indicador
Identificar los elementos de señalización, de infraestructura vial y de comportamiento agresivo que incrementan el riesgo de un siniestro.	a) Señalización	Independiente, cuantitativa discreta.	Presencia o ausencia de señalización adecuada en el tramo de la vía.	Calidad de señalización. Tipo de señalización.	Evaluación de la presencia o ausencia de señales y su adecuación en el tramo de la vía Armenia-Pereira	Número de señales adecuadas en el tramo.
	b) Infraestructura vial	Independiente, semicuantitativa.	Calidad y estado de la infraestructura vial en el tramo de la vía	Condiciones de la infraestructura vial.	Evaluación del estado y calidad de la infraestructura vial en el tramo de la vía Armenia-Pereira.	Calidad de la infraestructura vial en el tramo.
	c) Conductas agresivas	Independiente, semicuantitativa.	Observación de comportamientos agresivos de los conductores y peatones en el tramo de la vía	Conductas agresivas.	Identificación de comportamientos agresivos de los conductores en el tramo de la vía Armenia-Pereira	Número de conductas agresivas observadas.

Nivel de medición	Unidad de medida	Índice	Valor	Fuente de recolección	Técnica de recolección
a) Proporción.	Número de señales adecuadas en el tramo.	Cantidad de señales.	Variable.	Inspección visual.	Registro fotográfico.
b) Ordinal	Ordinal	Escala	Bueno, malo, regular.	Inspección visual.	Evaluación técnica.
c) Proporción	Cantidad de conductas agresivas.	de Escala	Alta, media, baja.	Observación directa.	Registro de observación

Nota. Se tuvieron en cuenta todas las variables para cumplir con el objetivo 1, tales como: señalización, infraestructura vial y comportamiento agresivo, teniendo en cuenta el cumplimiento de las normas correspondientes a cada variable como lo son manual de diseño geométrico de vías del 2008, la guía para instalación de barreras de contención vehicular y manual de señalización vial del 2015. Elaboración propia

Tabla 3.
Operacionalización de las variables para el objetivo 2

Objetivo específico	Variable	Tipo de variable	Operacionalización	Dimensiones	Definición	Indicador
Estructurar matriz de riesgo para establecer los niveles de riesgo de cada uno de los factores identificados.	Matriz de riesgo	Dependiente	Lista y niveles de factores de riesgo identificados en el contexto de seguridad vial.	Categorías de factores de riesgo.	Identificación y clasificación de los factores que contribuyen al riesgo de siniestralidad en el tramo de la vía Armenia-Pereira	$R = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$
				Escala de niveles de riesgo.	Clasificación de los factores identificados según su nivel de riesgo en el tramo de la vía Armenia-Pereira.	
	Nivel de medición	Unidad de medida	Índice	Valor	Fuente de recolección	Técnica de recolección
	De proporción	Numérica	Promedio del riesgo	Variable	Mediante el trabajo de campo.	Registro de observación.

Nota. Se identificaron los factores de riesgo determinados a lo largo del tramo auditado, teniendo en cuenta la operacionalización del objetivo número 1.
Elaboración propia

Tabla 4.
Operacionalización de las variables para el objetivo 3

Objetivo específico	Variable	Tipo de variable	Operacionalización	Dimensiones	Definición	Indicador
Crear mapas de riesgo para identificar de manera visual los puntos críticos en el tramo de carretera evaluado.	Mapas de riesgos	Dependiente	Ubicación geográfica de los puntos críticos en el tramo de carretera evaluado.	Coordenadas geográficas.	Identificación de los lugares específicos en el tramo de carretera evaluado donde se concentran los mayores riesgos que contribuyen a la siniestralidad vial.	Localización
				Software gráfico.		
				Escala de niveles de riesgo.	Clasificación de los factores identificados según su nivel de riesgo en el tramo de la vía Armenia-Pereira.	
Nivel de medición	Unidad de medida	Índice	Valor	Fuente de recolección	Técnica de recolección	
Nominal	Numérica	Mapa	Variable	Software	Trabajo de campo.	

Nota. Según la ubicación geográfica de los puntos del tramo auditado se identificaron los lugares específicos donde se presentó el nivel mayor de amenazas y vulnerabilidades, que por medio del software ArcGIS se obtuvo una clasificación de los factores del nivel de riesgo. Elaboración propia

Tabla 5.
Operacionalización de las variables para el objetivo 4

Objetivo específico	Variable	Tipo de variable	Operacionalización	Dimensiones	Definición	Indicador
Plantear alternativas para disminuir el riesgo de siniestralidad en el tramo auditado.	Alternativas	Catagórica	Propuestas y opciones para reducir el riesgo de siniestralidad en el tramo Km 15+600 al Km 21+600.	Diferentes alternativas para mejorar la seguridad vial en el tramo.	Identificación de opciones, medidas o intervenciones que podrían implementarse para disminuir el riesgo de siniestralidad en el tramo Km 15+600 al Km 21+600 de la vía Armenia-Pereira	Número de alternativas.
Nivel de medición	Unidad de medida	Índice	Valor	Fuente de recolección	Técnica de recolección	
Nominal	Numérica	Alternativas.	Depende de los hallazgos identificados.	Análisis de datos.	Revisión documental	

Nota. Respecto a los hallazgos en conjunto de los objetivos 1,2,3, se identifican las medidas o intervenciones para disminuir el riesgo de siniestralidad en el tramo auditado, generando propuestas de posibles alternativas. Elaboración propia

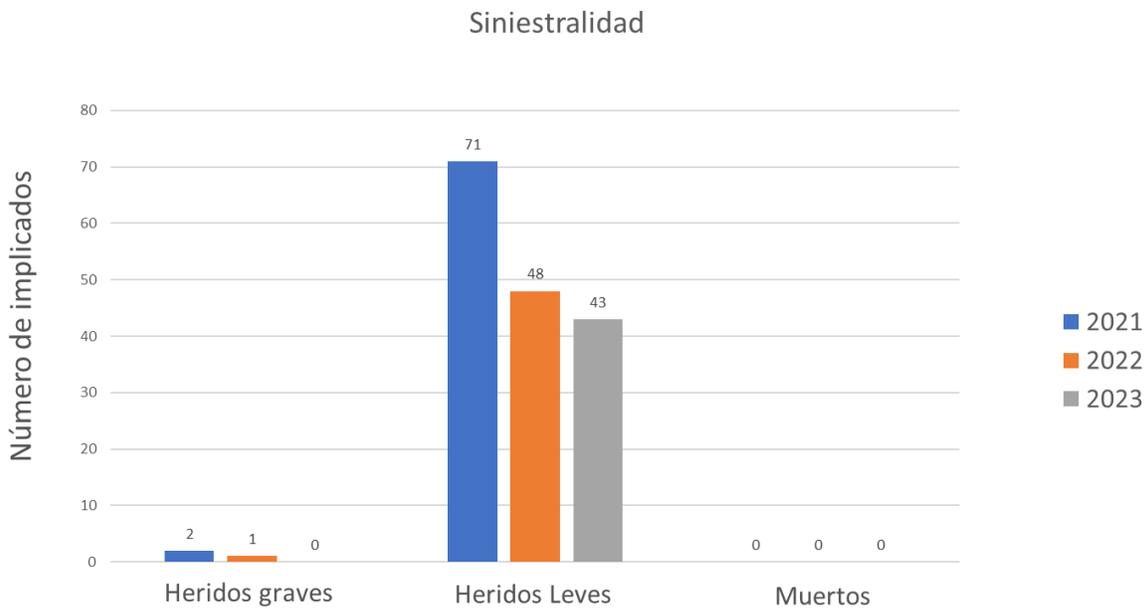
8. Resultados y Análisis

El capítulo de resultados y discusión muestra la evaluación y análisis de los principales elementos que incrementan el riesgo de siniestro en la vía Armenia -Pereira Armenia, tramo Km 15+600 al Km 21+600. Asimismo, describe los niveles de riesgo en cada uno de las secciones del tramo de vía investigado y contiene posibles alternativas para reducir la siniestralidad.

8.1. Siniestralidad

Los datos estadísticos presentados evidencian los siniestros viales registrados en el tramo de vía auditado durante los años 2021,2022 y 2023, los cuales fueron extraídos de las estadísticas de siniestralidad de autopistas del café.

Figura 1.
Siniestralidad años 2021 a junio de 2023



Nota: los datos estadísticos presentados anteriormente indican el número de implicados en siniestros viales durante el año 2021,2022, y junio del 2023. Elaboración autopistas del café

En el análisis estadístico de la tabla previa, se evidencia que en el año 2021 el 67% de los siniestros implicaron heridos graves, mientras que en el año 2022 esta cifra disminuyó al 32%, indicando una reducción en el riesgo asociado a siniestros. Además, es importante destacar que, a pesar de la alta frecuencia de tráfico en la vía, no se han registrado incidentes fatales durante el período analizado.

8.2. Descripción del Tramo Auditado

A continuación, se presenta la ubicación geográfica del tramo auditado

Figura 2.
Ubicación Geográfica



Nota. El tramo de vía auditado se encuentra en el km 15+600 con coordenadas 4°41'31.53" N 75°36'23.66" O, hasta el km 21+600 con coordenadas 4°43'07.34" N 75°37'26.52" O. Fuente Turismo Quindío

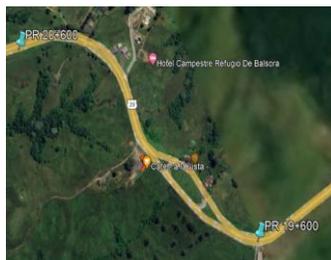
La tabla 6 muestra las características principales del tramo auditado; el cual está conformado por curvas pronunciadas, con pendientes entre 1% y 8%. Asimismo, las zonas de mayor tráfico peatonal se encuentran entre las abscisas 15 +600 a 16+600 y de 18+600 a 19+600.

Tabla 6.
Características del tramo auditado por cada kilómetro

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Imagen	Descripción
15+600	16+600		Cuenta con pendientes entre el 4% a 7%, se encuentra una zona estudiantil en la calzada izquierda.
16+600	17+600		Pendientes entre el 2% a 4%, se encuentra el peaje de CIRCASIA.
Abscisa Inicial	Abscisa Final	Imagen	Descripción
17+600	18+600		Pendientes entre el 1% a 8%, solo se evidencia zona rural sin comercio.
18+600	19+600		Pendientes entre el 2% a 7%. En la totalidad del tramo se encuentran zonas comerciales, estudiantiles y de viviendas. Se destaca el caserío el Manzano.

19+600

20+600



Este tramo de la vía tiene pendientes pronunciadas en ambos lados de la calzada. Las pendientes se encuentran entre 4% a 8%. En algunos sectores no se cuenta con las barreras de contención vehicular necesarias.

20+600

21+600



Pendientes entre el 4% a 7%. El tramo cuenta con diferentes accesos vehiculares en ambos sentidos de la vía.

Nota. El tramo de vía auditado cuenta con pendientes entre el 1% y 8%, a lo largo del tramo se encuentran ubicadas dos zonas escolares, zona comercial y en su mayoría zona urbana. Elaboración propia

8.3. Señalización Vertical y Horizontal en el Tramo Auditado

Para la identificación de los elementos de riesgo de la vía auditada, se subdividió el tramo en 7 secciones, determinándose en cada una de ellas las condiciones y estados de los elementos de señalización vertical y horizontal, así como de las barreras de contención vehicular y comportamiento agresivo. Es importante mencionar que cada tramo de vía auditado estuvo compuesto por dos calzadas (izquierda y derecha) y cuatro carriles; cada calzada contuvo dos carriles con circulación regular en un mismo sentido.

El estado y las condiciones de la señalización encontrada en la vía es descrito en la tabla 7 y el registro fotográfico es establecido en los anexos 1, 2 y 4, denominados “Señalización”, “Barreras de contención vehicular” y “Comportamiento agresivo”, respectivamente. En términos generales, la mayoría de las señales de tránsito de tipo vertical cumplen con los requisitos

establecidos en el manual de señalización vial 2015. No obstante, algunas señales han sido vandalizadas con pintura y presentan oscurecimiento (Km 19+242), desgaste, suciedad, dobleces (Km 19+947) o requieren mantenimiento debido a la formación de productos de corrosión (Km 15+873).

En algunos sectores de la vía se encontraron cantidades inadecuadas de delineadores por metro (Km 16+358) y falta de señalización adecuada para los resaltos. Estas características dificultan la visibilidad, comprensión o interpretación correcta de los elementos de regulación vial, afectando negativamente la seguridad de los usuarios incrementando el riesgo de siniestralidad en el tramo auditado.

Tabla 7.
Estado y condiciones de la señalización del tramo auditado

Señalización vertical (carril derecho)	
Abscisas	
Características generales del tramo y resumen de la señalización	
Km 15+600 al Km 16+000	<ul style="list-style-type: none"> • Contiene señales como SP-75, SR-30, SP-05, SP-46, SP-36, y SP-75, las cuales cumplen adecuadamente su función (señalización reglamentaria y preventiva) y se ajustan a las medidas recomendadas en el manual de señalización. • Solamente la señal SI-05 ubicada en el Km 15+922 no presenta resalto, por lo cual, aunque cumple con las medidas recomendadas no está desempeñando apropiadamente su función (informativa). • En el rango de kilometraje del Km 15+600 al Km 15+722 existen un total de 10 delineadores que van al separador y se encuentran distribuidos cada 15 metros.
Km 16+000 al Km 17+000	<ul style="list-style-type: none"> • La sección de vía contempla señales de pre-señalización, ensanchamiento simétrico, velocidad máxima, barreras, delineación de curva, curva pronunciada y señales como SR-26 y SI-05. • De las once señales identificadas en esta zona, las dos señales informativas SI-05 no desempeñan su función. • Se evidenció que en el Km 16+713 existe una señal SP-25 sin su correspondiente resalto. • Todas las señales cumplen con las dimensiones específicas.
Km 17+000 al Km 18+000	<ul style="list-style-type: none"> • Se encontraron las señales preventivas SP-01, SP-49, SP-75, SP-02, SP-75, SP-04, SP-75. • Entre los kilometrajes comprendidos entre el Km 17+148 al Km 17+385 se identificaron 23 delineadores de curva horizontal.

	<ul style="list-style-type: none"> • Se evidenciaron 10 delineadores de curva horizontal cada 10 metros entre los Km 17+543 al Km 17+628. • En el tramo del Km 17+795 al Km 17+890 se encontraron 11 delineadores de curva horizontal cada 10 metros. • Asimismo, el tramo del Km 17+990 al Km 18+157 cuenta con 14 delineadores cada 15 metros. • Todas las señales se encontraron desempeñando adecuadamente su papel y contaban con las dimensiones especificadas en las secciones del manual de señalización.
Km 18+00 al Km 19+000	<ul style="list-style-type: none"> • Se identificaron las señales preventivas SP-21, SP-49, SP-46, SP-75, SP-47A, SP-03 y las señales reglamentarias SR-06, SR-30. • Todas las señales preventivas y reglamentarias encontradas en este tramo cumplen adecuadamente su papel y cuentan con las dimensiones apropiadas. No obstante, en el Km 18+517 hace falta un delineador. • Se identificaron zonas escolares y de peatones, así como señalización de animales en la vía. • Número de delineadores de curva horizontal del Km 18+452 al Km 18+466: 4 cada 10 metros. Del Km 18+578 al Km 18+610: 5 cada 10 metros. Del Km 18+862 al Km 18+900: 4 delineadores cada 13 metros.
Km 19+000 al Km 20000	<ul style="list-style-type: none"> • Se identificaron las señales preventivas SP-47B, SP-04, SP-02, SP-75, SP-03, SP-21, SP-10 y la señal informativa SI-06. Todas las señales cumplían con sus especificaciones funcionales y dimensionales. • En el tramo del Km 19+229 al Km 19+326 se identificaron 8 separadores ubicados cada 15 metros. Del Km 19+648 al Km 19+763 se encontraron 9 delineadores distribuidos cada 15 metros. Del Km 19+995 al 20+080 se encontraron 8 delineadores ubicados cada 15 metros.

Abscisas

Características generales del tramo y resumen de la señalización

Km 21+000 al Km 21+600	<ul style="list-style-type: none"> • Se identificaron señales preventivas SP-04 y SP-75 cumpliendo su funcionalidad y dimensionalidad apropiadamente. • Se encontraron 7 delineadores de curva horizontal cada 12 m entre el Km 21+082 al Km 21+167.
-------------------------------	--

Señalización vertical (carril izquierdo)

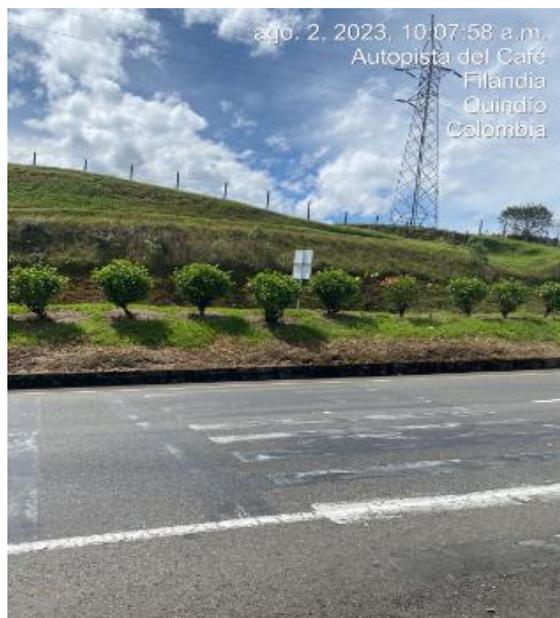
Tramo	Características generales del tramo y resumen de la señalización
Km 15+600 al Km 16+000	<ul style="list-style-type: none"> • Se identificaron las siguientes señales: preventivas SP-75, SP-47A, reglamentaria SR-30 e informativa SI-06. • Todas las señales encontradas en este tramo cumplen adecuadamente su papel y cuentan con las dimensiones apropiadas. • Se encontraron 7 delineadores de curva horizontal cada 10 m entre el Km 15+716 al Km 15+658. Del Km 15+949 al 15+968 se identificaron 5 delineadores cada 12 metros.
Km 16+000 al Km 17+000	<ul style="list-style-type: none"> • Se identificaron las siguientes señales: preventivas SP-75, SP-46, SP-02, SP-49, SP-27, SP-25; reglamentaria SR-30 e informativa SI-05. • Todas las señales encontradas en este tramo cumplen adecuadamente su papel y cuentan con las dimensiones apropiadas. • Se encontraron 7 delineadores cada 13 metros desde el Km 16+358.
Km 17+000 al Km 18+000	<ul style="list-style-type: none"> • Se encontraron las señales preventivas, reglamentarias e informativas: SP-32, SP-56, SP-03, SP-75, SP-02, SP-49, SP-01, SR-30. • Todas las señales encontradas en este tramo cumplen adecuadamente su papel y cuentan con las dimensiones apropiadas.

	<ul style="list-style-type: none"> Se encontraron 14 delineadores de curva horizontal ubicados cada 12 m entre el Km 17+150 al Km 17+352. Del Km 17+481 al 17+543 se identificaron 6 delineadores cada 12 metros.
Km 18+00 al Km 19+000	<ul style="list-style-type: none"> Se encontraron las señales preventivas, reglamentarias e informativas: SP-04, SP-75, SP-49, SP-46, SP-02, SP-75, SR-30, SR-35, SI-06. Todas las señales encontradas en este tramo cumplen adecuadamente su papel y cuentan con las dimensiones apropiadas. Del Km 18+787 al 18+844 se identificaron 5 delineadores de curva horizontal ubicados cada 15 metros.
Km 19+000 al Km 20+000	<ul style="list-style-type: none"> Se identificaron las señales preventivas SP-47B, SP-04, SP-47A, SP-01, SP-03; reglamentarias SR-30 e informativas SI-04. Todas las señales encontradas en este tramo cumplen adecuadamente su papel y cuentan con las dimensiones apropiadas.
Km 20+000 al Km 21+000	<ul style="list-style-type: none"> La señalización está desempeñando adecuadamente su papel y se ajusta a las medidas recomendadas en el manual de señalización. Las señales identificadas correspondieron a las SP-75 y SP-10. Se hallaron 6 delineadores de curva horizontal entre el Km 20+000 al Km 20+113.
Km 21+000 al Km 21+600	<ul style="list-style-type: none"> Todas las señales encontradas en este tramo cumplen adecuadamente su papel y cuentan con las dimensiones apropiadas. Se encontraron las señales SI-04, SP-75 y SP-09. Del Km 21+095 al Km 21+192 se identificaron 5 delineadores de curvas horizontal cada 15 metros. Desde el Km 21+449 se encontraron 3 delineadores ubicados cada 15 metros.

Nota. La tabla estado y condiciones de la señalización del tramo auditado en términos generales, indica que la señalización del tramo de vía auditado cumple adecuadamente con su función. Elaboración propia

Con respecto a la señalización horizontal, se identificaron tres cruces peatonales marcados en el pavimento. Sin embargo, el cruce ubicado en el Km 15+658 no cumplía apropiadamente su función. A pesar de que se instaló una nueva demarcación algunos metros más adelante, esta señal no se borró por completo (ver figura 1). Este hecho puede generar confusión entre los usuarios de la vía, los conductores podrían reducir la velocidad del vehículo antes de llegar a esta señal horizontal, y los peatones podrían intentar atravesar la vía en un lugar no apropiado. Estas circunstancias, evidentemente, podrían desencadenar siniestros viales. Por tanto, es esencial intervenir y tomar acciones para garantizar la seguridad de todos los actores viales.

Figura 3.
Señalización horizontal



Nota. Señalización ubicada en la abscisa del Km 15+658. Elaboración propia

Con respecto a las barreras de contención vehicular, se pudo observar la existencia de diferentes tipos tales como barreras de contención vehicular del tipo New Jersey y metálicas, algunas de ellas no cumplían con los requisitos establecidos en la guía de instalación de barreras de contención vehicular, ya que presentaban extremos o terminales bruscos en forma de "cola de pez". En determinados casos, se pudo constatar que estas barreras vehiculares necesitan una longitud mayor para garantizar la seguridad de los usuarios, de acuerdo con el criterio especificado en el capítulo 3 de la guía de instalación de barreras de contención vehicular. Además, se identificó la necesidad de realizar mantenimiento a algunas de estas estructuras presentes en el tramo de vía auditado.

La tabla 8 y anexo 2 (barreras de contención vehicular) muestra la ubicación de las barreras de contención vehicular que no cumplen con los estándares de seguridad. Se evidencia que en el tramo auditado la mayoría de las inconformidades estuvieron relacionadas con terminales bruscos, los cuales no son aconsejables debido a su comportamiento desfavorable ante cualquier colisión. Asimismo, los terminales en forma de “cola de pez” aumentan significativamente el riesgo de penetración en el habitáculo del vehículo, disminuyen la eficacia en sus extremos cuando no están desviadas o abatidas o cuando no se anclan a los muros o pretilas de puentes (Valverde, 2011).

Además, algunas secciones del tramo auditado carecen de los dispositivos mencionados teniendo en cuenta que se presentan diferencias de nivel mayores a las que describe la guía de instalación de barreras de contención vehicular.

Las pendientes pronunciadas y los desniveles considerables son condiciones que comprometen la estabilidad de los vehículos en circulación, convirtiendo estos puntos en áreas de alta peligrosidad. Específicamente, existe un riesgo inminente de volcamientos y salidas de la vía, eventos que podrían desencadenar pérdidas humanas.

Tabla 8.
Ubicación barreras de contención que no cumplen los requerimientos de seguridad

Carril	Abscisa inicial y final	Observación
Derecho	Km15+949 al Km15+949 Km15+962 al Km15+970	Barreras metálicas con terminales bruscos tipo “cola de pez”.
	Km16+027 al Km16+045 Km16+035 al Km16+056	Barreras metálicas con terminales bruscos tipo “cola de pez”.
	Km17+206 al Km17+276	Barreras metálicas con terminales bruscos tipo “cola de pez”.
	Km18+374 al Km18+380 Km 18+452 al Km 18+472 Km 18+452 al Km 18+464 Km 18+508 al Km 18+527 Km 189+559 al Km 18+582	Incumplimiento de longitud, terminales bruscos, necesidad de mantenimiento.
	Km20+002 al Km20+105	Terminales bruscos en forma de pez.
Izquierdo	Km 15+999 al Km16+0,27	Incumplimiento de longitud.
	Km16+036 al Km16+0,148 km16+274 al km16+319	Barreras tipo New Jersey y metálicas, incumpliendo respectivamente los criterios de longitud y características en los terminales.
	Km18+383 al Km 18+499	Terminales bruscos en forma de “cola de pez”.

Nota. La tabla anterior muestra un resumen de las barreras de contención vehicular que no cumplen con los requerimientos de seguridad según la guía para instalación de barreras de contención vehicular. Elaboración propia

8.4. Elementos de Riesgo en el Tramo Auditado

Dentro de los factores de riesgo que pueden contribuir a la ocurrencia de eventos adversos y que ponen en peligro la seguridad de los usuarios de la carretera, se encontraron los siguientes: a) paraderos de buses y entradas perpendiculares al eje de la vía sin señalización, b) cabezales de obras de drenaje demasiado altos sin capta-faros, c) elementos que sobresalen de la berma, d) barreras artesanales que no cumplen con las especificaciones técnicas y funcionales, e) desprendimiento de rocas y taludes con probabilidad de deslizamiento, f) obras de drenaje con nivel de profundidad significativo.

Es importante mencionar que los elementos de riesgo predominantes en la vía auditada fueron las obras de drenaje con cabezales demasiado altos y sin señalización adecuada. Estos elementos son de concreto y por sus dimensiones sobresalen de la cuneta de la vía (figura 2),

como se observa en el anexo 3. Luego, como menciona (Mejía, 2018) podrían generar afectaciones graves a los vehículos y a los pasajeros.

Figura 4.

Cabezotes de obras de drenaje, elementos de riesgo más frecuente en la vía



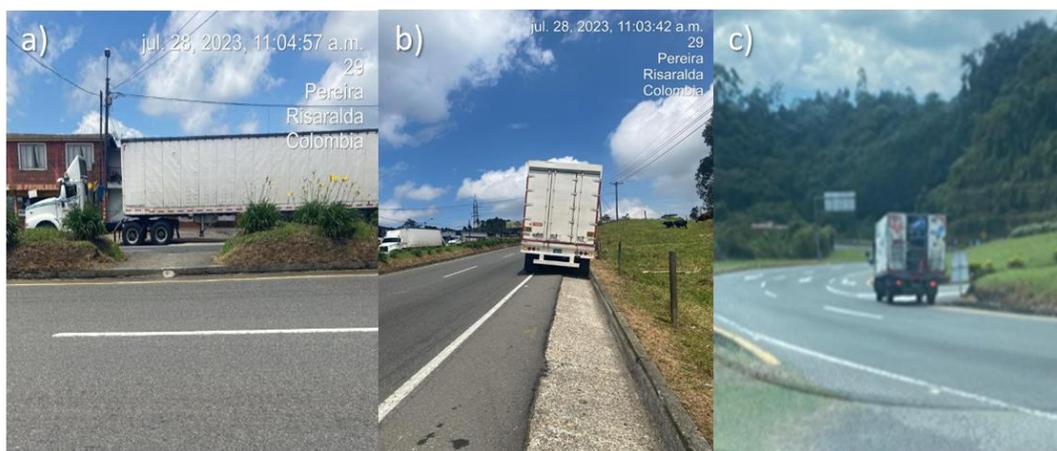
Nota. La figura anterior muestra obras de drenaje que no cumplen con la respectiva normativa. Elaboración propia

8.5. Identificación de Comportamiento Agresivo en la Vía

Se identificaron de manera prominente conductas agresivas por parte de los usuarios de la vía en los kilómetros 19+600 al 20+600. Este tramo se destaca por una notable congestión vehicular, influenciada por la presencia de zonas escolares, áreas industriales y caseríos. El principal comportamiento inapropiado en la vía fue realizado por los conductores de vehículos de carga pesada, quienes estacionan sus vehículos a un lado de la carretera, es decir en zonas no destinadas para este fin según el manual de diseño geométrico de vías (figuras 3a y 3b). Además, se pudo observar vehículos circulando en dirección opuesta al flujo regular de la vía (figura 3c).

Figura 5.

Identificación de comportamiento agresivo



Nota. La figura anterior muestra los diferentes tipos de comportamiento agresivo evidenciados en el tramo auditado. Elaboración propia

Las anteriores conductas son comunes en el corredor vial Armenia-Pereira. Como menciona (Mejía, 2018), con frecuencia se observan vehículos estacionados al borde de la vía sin ningún tipo de señalización. Por ende, se sugiere la implementación de señales restrictivas SR-22 (prohibido estacionarse) en diversos puntos de esta zona.

Esta medida es fundamental, porque la obstrucción de la vía causada por el estacionamiento incorrecto de vehículos de carga pesada reduce la visibilidad para otros conductores, generando puntos ciegos que aumentan de manera significativa la probabilidad de siniestros viales.

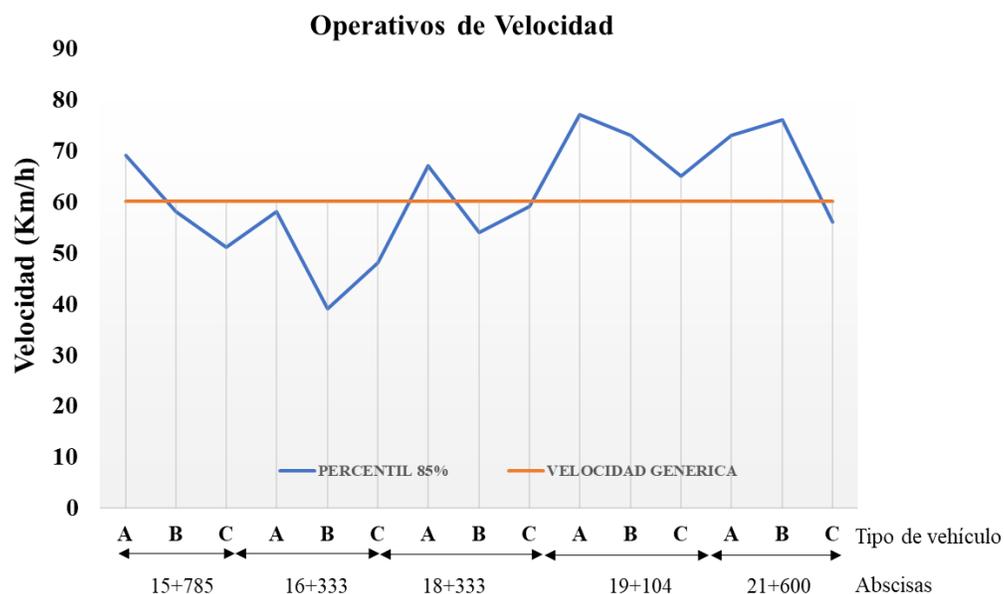
8.6. Operativos de Velocidad (Percentil 85%)

El percentil 85 es utilizado para establecer límites de velocidad en carreteras y calles, y tiene implicaciones en términos de seguridad vial y cumplimiento de las normas de tráfico. Según (Mejía, 2018) “La teoría asume que la mayoría de los conductores son razonables y no

desean sufrir siniestros, pero también quieren llegar a su destino lo más rápido posible. Por lo tanto, una velocidad a la que el 85 por ciento de las personas conduce es considerada la mayor velocidad segura para esa carretera.” Esto indica, que los límites de velocidad establecidos deben garantizar un flujo eficiente de tráfico y, al mismo tiempo, minimizar el riesgo de siniestros, promoviendo así la seguridad de la carretera armenia-Pereira. Luego, la determinación del percentil 85% está estrechamente relacionado con el nivel de riesgo en las vías.

En este contexto, se llevaron a cabo operativos de velocidad en la carretera Armenia-Pereira, abarcando desde el Km 15+600 hasta el Km 21+600. Como se observa en la figura 4, especialmente en los tramos del IV al V los conductores superaron las velocidades genéricas establecidas; siendo los operadores de vehículos tipo A (automóviles y motocicletas) quienes más frecuentemente exceden los límites en cada uno de los subtramos evaluados, alcanzando velocidades de hasta 77 km/h.

Figura 6.
Operativo de velocidad en el tramo evaluado

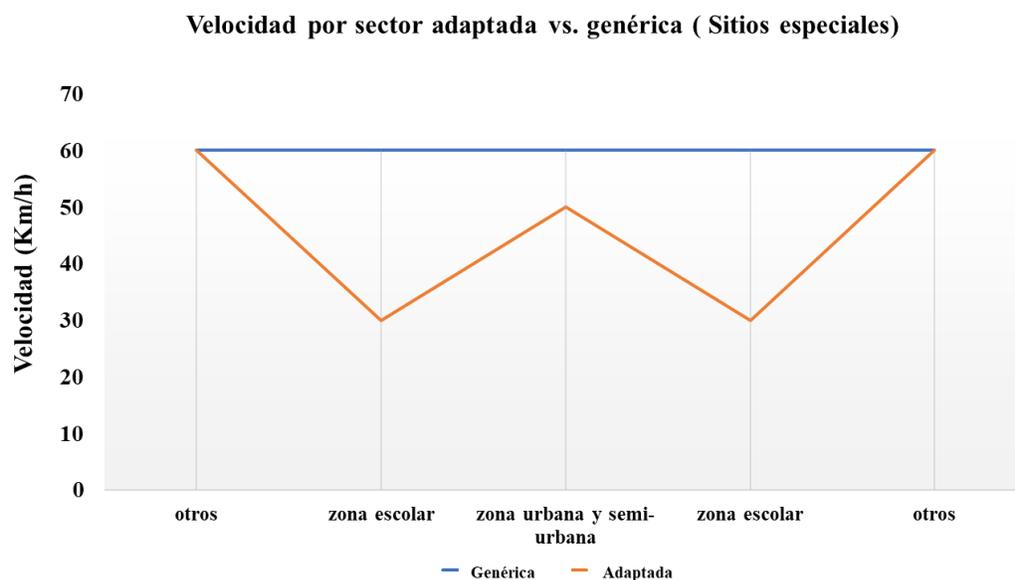


Nota. La figura anterior muestra las velocidades presentadas por parte de los usuarios en diferentes puntos de la vía. Elaboración propia

Es importante mencionar, que en los kilómetros del 18+600 al 19+600 se encuentran las zonas más concurridas por los distintos actores viales, por lo cual las velocidades más altas que las permitidas podrían incrementar la probabilidad de siniestros (ver anexo 6).

Por esta razón, se realizó un análisis comparativo de las velocidades adaptadas y genéricas por tipo de sector (escolar, urbana, semiurbana, otros; ver figura 5). Se encontró que los conductores no respetan las velocidades especialmente en las zonas escolares, lo cual indica violación de las normas de tránsito en áreas cercanas a instituciones educativas. Este comportamiento contribuye a un entorno de inseguridad para los estudiantes y demás miembros de la comunidad en estas áreas.

Figura 7.
Comparativo de velocidades en función del tipo de zona



Nota. La figura anterior indica la velocidad genérica y la velocidad adoptada ver Anexo 6. Operativo de velocidad. Elaboración propia

Según la gráfica anterior, se evidencia que las velocidades obtenidas por el software señales es consistente con las velocidades tiene la vía.

8.7. Matriz de Riesgo en el Tramo Auditado

La matriz de riesgo es una herramienta importante para la evaluación y gestión de los riesgos, amenazas y vulnerabilidades que pueden presentar los usuarios de las carreteras. Para el caso específico del tramo auditado, la matriz de riesgo general fue construida a partir de los factores de riesgo mostrados en las secciones anteriores y es representada en la tabla 9.

Tabla 9.
Matriz de riesgo general para el tramo evaluado

RESUMEN CALIFICACION MATRIZ DE RIESGOS ARMENIA-PEREIRA km 15+600 al km 21+600						
Matriz	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Abscisa	km 15+600 a km 16+600	km 16+600 a km 17+600	km 17+600 a km 18+600	Km 18+600 a km19+600	Km 19+600 a km 20+600	Km 20+600 a km 21+600
Promedio de las amenazas	3.05	2.72	3.21	2.79	2.49	2.40
Promedio de las vulnerabilidades	3.05	2.72	3.21	2.79	2.49	2.40
Promedio A*V	3.0	2.7	3.2	2.8	2.5	2.4
Nivel de riesgo	riesgo tolerable	riesgo tolerable	Riesgo medianamente tolerable	riesgo tolerable	riesgo tolerable	riesgo tolerable
Plazo de acciones correctivas	Largo plazo	Largo plazo	Mediano plazo	Largo plazo	Largo plazo	Largo plazo
Acciones recomendables	1. Educación vial 2. Mantenimiento preventivo	1. Educación vial 2. Mantenimiento preventivo	1. Intervención física a infraestructura 2. Análisis políticas operacionales, de control y correctivos 3. Fortalecer y mejorar la educación vial enfocada en actores mas vulnerables	1. Educación vial 2. Mantenimiento preventivo	1. Educación vial 2. Mantenimiento preventivo	1. Educación vial 2. Mantenimiento preventivo

Nota. La anterior tabla muestra el resumen de la matriz de riesgo que se obtuvo para cada kilómetro de vía auditado, el cual se puede evidenciar de forma detallada en el Anexo 5. “Matriz de riesgo”. Elaboración propia

Se puede observar que las amenazas y vulnerabilidades son más frecuentes en los segmentos de la vía que abarcan desde el kilómetro 17+600 hasta el 18+600. Esta zona presenta un promedio de nivel de riesgo de 3,2 clasificándose como un riesgo medianamente tolerable. Esta evaluación de riesgo sugiere la necesidad de desarrollar e implementar, a mediano plazo, un plan estratégico que enfoque la prevención, corrección y mitigación del riesgo en cada uno de estos subtramos de la vía. Este plan debe implicar mejoras en la infraestructura vial, programas educativos y una evaluación de las actuales políticas operativas, de control y regulación. En conjunto, estas medidas contribuirán a garantizar la seguridad de todos los actores viales.

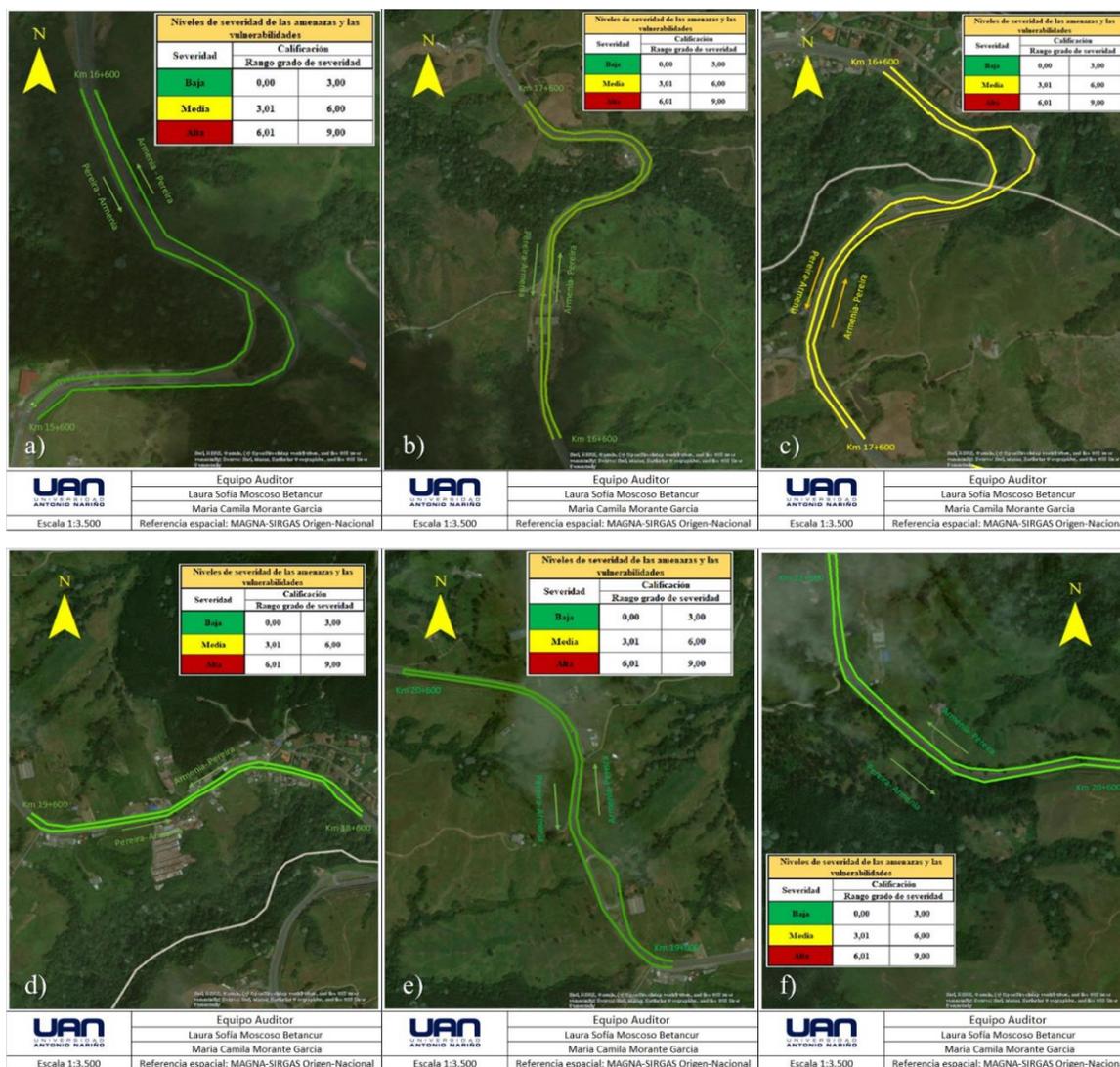
Con respecto a los demás kilómetros se encontró un nivel de riesgo tolerable, por lo que se sugiere que a largo plazo se realice mantenimiento preventivo en la vía. Además, es importante que se establezcan programas de educación vial, con el objetivo de concientizar a los usuarios de la vía sobre las normas de tránsito, las buenas prácticas viales y los riesgos asociados con conductas inadecuadas en la vía.

8.8. Mapas de Riesgo

En la figura 6 se muestran los mapas de riesgo para cada uno de los subtramos evaluados, y se establece el nivel de severidad de las amenazas y vulnerabilidades a través de la codificación de colores de la vía. Debe notarse, que el color verde representa un nivel bajo de severidad, mientras que el amarillo y el rojo representan el nivel medio y alto, respectivamente. Con base en esto se observa que todos los subtramos evaluados presentan una severidad baja, excepto para el kilómetro 17+600 al 18+600, que contempla un riesgo medio. Esto consiste con los resultados de la matriz de riesgo, en donde se determinó que este kilómetro presenta el valor de riesgo máximo en todo el recorrido de la vía auditada.

Figura 8.

Mapas de riesgo para los kilómetros del: a) 15+600 a 16+600; b) 16+600 a 17+600; c) 17+600 al 18+600; d) 18+600 al 19+600; e) 19+600 al 20+600; f) 20+600 al 21+600.



Nota. Las figuras anteriores corresponden a los mapas de riesgo de cada kilómetro de vía auditado, se elaboraron en el programa ArcGIS Elaboración propia

8.9. Alternativas para la Reducción del Riesgo en la Vía

Con base en todos los hallazgos identificados mediante la auditoría en seguridad vial, se propuso un plan para disminuir la probabilidad de siniestros en la vía Armenia-Pereira desde los kilómetros 15+600 al 21+600. El plan es mostrado en la tabla 10 e involucra estrategias preventivas y correctivas a corto, mediano y largo plazo. Se espera que estas medidas sean consideradas y adoptadas de manera colaborativa por las autoridades competentes, ingenieros viales, planificadores urbanos y todos los actores involucrados en la gestión y seguridad de la vía Armenia-Pereira

Tabla 10.
Propuesta para el mejoramiento de la seguridad vial

Plan para el mejoramiento de la seguridad vial	
Objetivo general	Incrementar la seguridad de la vía Armenia-Pereira, Km 15+600 al Km 21+600
ESTRATEGIA No. 1- Recomendaciones preventivas a corto plazo	
ACTIVIDAD PRINCIPAL	ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS
Mejoramiento de la señalización en todo el tramo de vía.	<ul style="list-style-type: none"> ● Borrar o tapar con pintura las demarcaciones horizontales que han sido reubicadas, esto con el fin de evitar confusión en los actores viales. ● Realizar mantenimiento rutinario de limpieza, pintura y ajustes de las señales verticales y horizontales identificadas en el tramo. ● Instalar señales <i>SP-11 Intersección de vías</i> en los accesos perpendiculares a la vía auditada, con el fin de alertar a los conductores sobre el flujo vehicular en esa dirección. ● Señalizar los objetos contundentes identificados en la vía. ● Señalizar los paraderos de buses con la señal vertical informativa “<i>Paradero de buses</i>”, de acuerdo con el manual de señalización vial vigente.
Capacitación a los actores viales.	<ul style="list-style-type: none"> ● Implementar programas de educación vial donde se enseñe a utilizar adecuadamente la vía y a respetar las señales y normativas de tránsito.
ESTRATEGIA No. 2- Recomendaciones correctivas a mediano plazo	
ACTIVIDAD PRINCIPAL	ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS
Disminución de la cantidad de objetos contundentes en la vía.	<ul style="list-style-type: none"> ● Alejar los cabezales de alcantarilla que se encuentran muy cerca del borde de la calzada, así como los demás elementos contundentes identificados a lo largo del tramo auditado. ● Instalar barreras de contención vehicular en zonas que poseen un desnivel pronunciado hacia el costado de la vía. ● Incrementar la longitud de las barreras de contención vehicular en zonas del tramo donde se identificó esta necesidad. ● Reemplazar los cabezotes de obras de drenaje por rejillas o tapas de concreto.
ESTRATEGIA No. 3- Recomendaciones correctivas a largo plazo	
ACTIVIDAD PRINCIPAL	ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS
Mejoramiento del diseño de la vía.	<ul style="list-style-type: none"> ● Construcción de carriles de aceleración y desaceleración de los vehículos. ● Construcción de bahías de estacionamiento para emergencias presentadas en la vía. ● Construcción de zonas de estacionamiento cercanas a la zona industrial. ● Construcción de muros de contención que eviten o amortigüen la caída de rocas en la vía, en zonas con riesgo alto de deslizamiento de tierra. ● Diseñar cruces peatonales considerando al personal de movilidad reducida.

Nota. Las recomendaciones indicadas en la tabla anterior se elaboraron a partir de las necesidades en función del mejoramiento de la seguridad vial del tramo. Elaboración propia

Conclusiones

Las conclusiones que se generaron en función de los objetivos planteados en este proyecto y los hallazgos detectados en la auditoría en seguridad vial son descritas en los siguientes párrafos:

- 1) **Identificación de elementos de señalización, infraestructura vial y de comportamiento agresivo.** En este aspecto, se observó que el tramo que abarca desde el Km 15+600 hasta el Km 21+600 de la vía Armenia-Pereira mantuvo, en términos generales, una señalización vertical y horizontal adecuada. Las señales cumplían con los criterios de funcionalidad y dimensiones establecidos en el manual de señalización vial 2015. No obstante, se identificaron factores que incrementan la vulnerabilidad de los actores viales, tales como accesos perpendiculares sin señalización. En estas intersecciones, los vehículos pueden entrar o salir a la carretera, invadiendo la vía principal e incrementando el riesgo de colisiones. Adicionalmente, se encontraron zonas con deslizamiento de tierra que podrían representar un peligro inminente en la vía, ya que comprometen la estabilidad de los vehículos en circulación y podrían desencadenar siniestros viales. Se constató que algunas barreras metálicas han sufrido impactos previos y no han sido reparadas, lo que disminuye su capacidad para resistir un nuevo impacto de un vehículo. Se encontraron cabezotes de obras de drenaje demasiado altos y con profundidades considerables que en caso de colisión podría ocasionar grandes complicaciones para los implicados. Los comportamientos agresivos más comunes estuvieron relacionados con el estacionamiento de vehículos de carga pesada en zonas no destinadas para ese fin según manual de diseño geométrico de vías.

- 2) **Estructuración de matriz y creación de mapas de riesgo.** Se obtuvieron matriz y mapas de riesgo en todo el recorrido de la vía, en donde se identificaron los puntos críticos de siniestralidad vial del tramo evaluado. Se encontró que los segmentos de la vía que abarcan desde el kilómetro 17+600 hasta el 18+600 son las áreas con mayores amenazas y vulnerabilidades para los usuarios de la vía. En estos kilómetros se identificó un nivel de riesgo medianamente tolerable, mientras que en las demás zonas de la vía el riesgo fue tolerable.
- 3) **Alternativas para disminuir el riesgo.** Se formuló un plan de acción para el incremento de la seguridad vial del tramo evaluado, en el cual se establecieron estrategias preventivas y correctivas a corto, mediano y largo plazo. A corto plazo se propuso el mantenimiento de la señalización de la vía; a mediano plazo las estrategias se enfocaron en la reducción de elementos contundentes, e instalación de barreras de contención vehicular. A largo plazo se consideró mejorar el diseño de la vía construyendo carriles de aceleración, zonas de estacionamiento y muros de contención en áreas propensas a deslizamientos.

Referencias

- Secretaría de Comunicaciones y transportes. (s.f.). *Conceptos básicos de seguridad vial*.
Obtenido de <https://www.gob.mx/sct/documentos/conceptos-basicos-de-seguridad-vial>
- Alarcón, J. (2015). Listas de chequeo para realizar auditorías de seguridad vial en Colombia.
Puente Revista Científica, 11, 71-79. doi:<https://doi.org/10.21500/01218593.2557>
- Amir Ali Khan, S., Dass, S., Singh, G., & Jaglan, S. (2023). ROAD ACCIDENT ANALYSIS AND SAFETY AUDIT: A CASE STUDY OF MDR 132. *Safety and Security Engineering in Transport*, 24-36.
- Arango, C., & Villota, C. (2022). *Auditoría en Seguridad Vial del sector La Victoria – Zarzal, entre la Abscisa del km 36+000 a km 42+600*. Tesis de pregrado, Universidad Antonio Nariño, Pereira.
- Ardila, M., Quintero, R., & Córdoba, G. (2020). *Auditoría en Seguridad Vial ruta nacional 50, tramo 5003., Pr k 31+ 139. 75 - k 25+139.75 La Virginia a Apia*. Tesis de pregrado, Universidad Antonio Nariño, Pereira.
- Banco Interamericano de Desarrollo BID. (2018). Auditorías e inspecciones de seguridad vial en América Latina.
- Benjumea, K., Forero, C., & Montoya, J. (2021). *Auditoría Seguridad Vial. Ruta 50 RS 01 Apia - La Virginia, abscisas 25+000 a 16+000, Tramo Transversal Las Animas – Bogotá. Carretera Transversal Central del Pacífico*. Tesis de pregrado, Universidad Antonio Nariño.
- Betancourth, D., & Monsalve, C. (2022). *Auditoria en Seguridad Vial (ASV) sector - Puerto Caldas - Cerritos Km 80 + 000 a Km 86 + 000*. Tesis de pregrado, Universidad Antonio Nariño, Pereira.
- Calvo, H. F., Galvis, M., & Russi, M. S. (2021). *Auditoria en Seguridad Vial al sector Club Campestre - El Caimo, vía Pereira Armenia abscisas 0+000 a 8+000*. Universidad Antonio Nariño, Pereira.
- Comisión Europea. (2019). *Road safety: Definitions*. Obtenido de https://road-safety.transport.ec.europa.eu/index_en

- Correa, J. C., & Guerra, E. P. (2022). *Auditoría en Seguridad Vial variante Condina ruta nacional 29RSD, desde el K 0+000 hasta el K 6+500 en el departamento de Risaralda*. Universidad Antonio Nariño, Pereira.
- Dahlberg, L. L. (1981). Injury prevention: A challenge for epidemiology. *American Journal of Public Health, 71*(3), 241-243.
- Díaz, J. (s.f.). *Auditorías de seguridad vial. Experiencia en Europa*. Instituto Vial Iberoamericano.
- Dos Santos, P., Rizzoni, B., & WRA, B. (2022). *Auditorías de Seguridad Vial*. Obtenido de <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1967>
- El Diario. (27 de Enero de 2023). Radiografía de las muertes en accidentes de tránsito en el 2022. *El Diario*. doi:<https://www.eldiario.com.co/noticias/risaralda/radiografia-de-las-muertes-en-accidentes-de-transito-en-el-2022/>
- Elvik, R., & Vaa, T. (2004). *The Handbook of Road Safety Measures* (segunda ed.). Oslo: Emerald Group Publishing.
- European Transport Safety Council (ETSC). (2016). *The six pillars of road safety: A new approach to systems thinking*. Brussels, Belgium: European Transport Safety Council.
- FIA, F. I. (2014). *Manual de auditoría de seguridad vial*. Obtenido de <https://www.fia.com/sites/default/files/basicpage/file/Manual%20de%20Auditoria%20de%20Seguridad%20Vial%20-%20Versi%C3%B3n%20en%20espa%C3%B1ol.pdf>
- García, F., Rosero, N. M., & Quintero, P. (2022). *Auditoría en Seguridad Vial, desde la Glorieta Punto 30 - Terminal de Transporte de Pereira. Km 27+600- Km 37+000 del departamento de Risaralda*. Tesis de pregrado, Universidad Antonio Nariño, Pereira.
- Garzón, M., Escobar, D., & Galindo, J. (2017). Auditorías de seguridad vial. Ejemplo de aplicación metodológica. *Revista De Ingeniería, 41*(10).
- Gichaga, F. J. (2017). The impact of road improvements on road safety and. *IATSS Research, 72*, 72-75.
- Gross, F., Nabors, D., & Gibbs, M. (2009). *Federal and Tribal Lands Road Safety Audits: case studies*. Washington, DC United States. Obtenido de <https://trid.trb.org/view/1094091>
- Haddon, W. (1980). The changing approach to the epidemiology, prevention, and amelioration of trauma: the transition to approaches etiologically rather than descriptively based. *American Journal of Public Health, 70*(20), 461-468.

- Huvarinen, Y., Svatkova, E., Oleshchenko, E., & Pushchina, S. (2017). Road Safety Audit. *Transportation Research Procedia*, 20, 236 – 241.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2011). Seguridad vial. Obtenido de <https://www.insht.es/Portada/Seguridadvial>
- Jansson, J., & Lennman, B. (2013). *Practical Road Safety Auditing* (3ra ed.). Trafikverket.
- Lara, E. M., & Álvarez, S. C. (2022). *Auditoría en Seguridad Vial al tramo La Paila – Armenia Km 44+000 al Km 50+000 del Departamento del Quindío*. Tesis de pregrado, Universidad Antonio Nariño, Pereira.
- Londoño, A., Escobar, D. A., & Moncada, C. A. (2017). Metodología cualitativa y cuantitativa para calificación y priorización en auditorías de seguridad vial. *Espacios*, 38(41).
- Mansuri, F. A., Al-Zalabani, A. H., Zalat, M. M., & Qabshawi, R. I. (2015). Road safety and road traffic accidents in Saudi Arabia. A systematic review of existing evidence. *Saudi Med J*, 36(4), 418-424.
- Mejía, Á. (2018). *Auditoria en Seguridad Vial de la vía concesionada: Armenia – Pereira, K 0 +000 – K 36+ 700*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Manizales.
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2019). *Política Nacional de Seguridad Vial 2019-2030*. Obtenido de <https://www.mintransporte.gov.co/documentos/politica-nacional-de-seguridad-vial-2019-2030>
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2020). *Guía Técnica de Auditorías e Inspecciones de Seguridad Vial para Colombia*. Recuperado el 2 de mayo de 2023, de <http://www.mintransporte.gov.co/documentos/guia-tecnica-de-auditorias-e-inspecciones-de-seguridad-vial>
- OMS. (2013). *Informe mundial sobre la seguridad vial 2013*. Obtenido de https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013/en/
- OMS. (2013). *Manual de seguridad vial: Para funcionarios encargados de formular políticas y profesionales de la seguridad vial*. Obtenido de <https://www.who.int/publications/i/item/9789243564444>
- OMS. (2018). *Accidentes de tránsito*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>.
- OMS. (2023). *7a Semana Mundial de la ONU para la Seguridad Vial 2023*. Obtenido de <https://www.paho.org/es/campanas/7>

Poisson, S. D. (1837). *Recherches sur la probabilité des jugements en matière criminelle et en matière civile, précédées des règles générales du calcul des probabilités*. París.

Superintendencia de transporte. (2018). *Tasa de víctimas por accidentes de Tránsito en concesiones viales bajó 7,3% en 2017*. Bogotá D.C. - Colombia: Supertransporte.

Tabasso, C. C. (2012). *Paradigmas, teorías y modelos de la seguridad y la inseguridad vial*. Instituto Vial Ibero-Americano, Madrid. Obtenido de http://www.institutoivia.com/doc/tabasso_124.pdf

Valverde, G. (2011). *Manual SCV Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carretera*. Universidad de Costa Rica, Vicerrectoría de Investigaciones. Obtenido de <https://www.ancosev.org/wp-content/uploads/2021/09/Manual-SCV-Gu%C3%ADa-para-el-an%C3%A1lisis-y-dise%C3%B1o-de-seguridad-vial.pdf>

Anexos

Anexo 1. Señalización.

Anexo 2. Barreras de contención.

Anexo 3. Riesgos físicos.

Anexo 4. Comportamiento agresivo.

Anexo 5. Matriz de riesgo.

Anexo 6. Operativo de velocidad.