

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



TESIS:

***“GENERACIÓN DE ÍNDICES DE SEVERIDAD COMO
HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN DE LA SEGURIDAD VIAL EN
TRAMOS CARRETEROS MONTAÑOSOS. CASO DE ESTUDIO:
AUTOPISTA CENTINELA - LA RUMOROSA”***

**PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS**

PRESENTA:

ITZEL NÚÑEZ LÓPEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. LEONEL GABRIEL GARCÍA GÓMEZ

CO-DIRECTOR DE TESIS:

DR. MARCO ANTONIO MONTOYA ALCARAZ

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MAYO 2024

RESUMEN

La seguridad vial es un tema de gran preocupación en el mundo, y que las Naciones Unidas considerada necesario promover como una política prioritaria en cada país. Esta investigación contribuye al cumplimiento de los Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 11 y 3, que promueve la creación de ciudades y comunidades sostenibles, teniendo como principales ejes el fomentar un entorno seguro y con salud.

El objetivo de esta investigación es proponer una metodología para establecer Índices de Severidad (IS), a través de la identificación de los lineamientos de mayor incidencia internacional en las Auditorías de Seguridad Vial (ASV), para evaluar las condiciones de seguridad del tramo carretero montañoso de la Autopista Centinela - La Rumorosa, en Baja California en México, en el cual se suscitan una gran cantidad de accidentes al año, y definir recomendaciones durante la toma de decisiones en beneficio del usuario. La investigación se justifica por la necesidad urgente de mejorar la seguridad vial en países en vías de desarrollo, donde la infraestructura y las medidas de seguridad suelen ser inadecuadas. Al adoptar un enfoque basado en el conocimiento y experiencias de otros países, se busca adaptar y aplicar prácticas efectivas que puedan reducir los accidentes y mejorar la seguridad en carreteras con características similares.

La hipótesis central de esta investigación sustenta que al establecer IS basados en los principales lineamientos de las ASV permitirá evaluar la seguridad de carreteras en países en vías de desarrollo, donde la información es limitada para realizar este tipo de análisis. Este enfoque facilitará la priorización en la toma de decisiones basadas en una clasificación de severidad.

La metodología propuesta incluye la recopilación de datos de accidentes de un periodo de 23 años, análisis de riesgos y definición de puntos en conflicto, así como la aplicación de métodos matemático-estadísticos para desarrollar los IS y proponer posibles recomendaciones generales.

Al implementar esta metodología, se espera proporcionar una herramienta valiosa para las autoridades de transporte en países en vías de desarrollo, facilitando una evaluación de la seguridad vial y apoyando la toma de decisiones informadas para mejorar las condiciones de las carreteras para la disminución de accidentabilidad.

ABSTRACT

Road safety is a major concern worldwide, and the United Nations has deemed it necessary to promote it as a priority policy in every country. This research contributes to the achievement of Sustainable Development Goals (SDGs) 11 and 3, which promote the creation of sustainable cities and communities, focusing on fostering a safe and healthy environment.

The objective of this research is to propose a methodology for establishing Severity Indices (SI) by identifying the most internationally relevant guidelines in Road Safety Audits (RSAs) to assess the safety conditions of the mountainous section of the Centinela - La Rumorosa Highway in Baja California, Mexico, where a large number of accidents occur annually, and to define recommendations during decision-making for the benefit of the user. The research is justified by the urgent need to improve road safety in developing countries, where infrastructure and safety measures are often inadequate. By adopting an approach based on the knowledge and experiences of other countries, the aim is to adapt and apply effective practices that can reduce accidents and improve safety on roads with similar characteristics.

The central hypothesis of this research posits that establishing SIs based on the main guidelines of RSAs will allow for the evaluation of road safety in developing countries, where information is limited for such analyses. This approach will facilitate prioritization in decision-making based on risk classification. The proposed methodology includes the collection of accident data over a 23-year period, risk analysis, identification of conflict points, and the application of mathematical-statistical methods to develop the SIs and propose possible general recommendations.

By implementing this methodology, it is expected to provide a valuable tool for transportation authorities in developing countries, facilitating the evaluation of road safety and supporting informed decision-making to improve road conditions and reduce accident rates.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios, a mi madre, hermano y a mi esposo que siempre me apoyaron durante la etapa de formación de maestría. A mis hijos que son el motor de mi esfuerzo y trabajo Yulianna y Julio Alberto.

Agradezco al Dr. Leonel Gabriel García Gómez por apoyarme y tomarme en cuenta en las líneas de investigación, por su paciencia, amabilidad, por su guía constante y su dedicación, al Dr. Marco Antonio Montoya Alcaraz por su valiosa atención y ayuda en mi proceso de obtención de grado de maestría.

A mis maestros por su orientación, al Dr. Alejandro Sánchez Atondo, al Dr. José Manuel Gutiérrez Moreno. A mis amistades Cynthia y Esmeralda.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por haber creído en mí durante la etapa de posgrado y por supuesto a mi alma-mater, la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) que es la que me ha formado profesionalmente y sobre todo como ser humano.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	8
1.1 Problemática	9
1.2 Justificación	10
1.3 Hipótesis.....	11
1.4 Objetivos de la investigación.....	12
1.5 Consideraciones metodológicas generales	12
1.6 Estructura de contenido.....	13
2 ANTECEDENTES	13
2.1 Delimitación territorial de Autopista Centinela - La Rumorosa	13
2.2 Antecedentes en materia de seguridad vial.....	16
2.2.1 Contexto Internacional.....	16
2.2.2 Contexto Nacional	18
3 MARCO TEÓRICO.....	21
3.1 Seguridad vial	21
3.2 Factores técnicos de la Seguridad vial	21
3.3 Herramientas para evaluaciones de seguridad vial	23
3.3.1 Evaluación de impacto de la seguridad vial	24
3.3.2 Auditoría de Seguridad Vial (ASV)	25
3.3.3 Inspecciones de Seguridad Vial (ISV).....	28
3.3.4 Clasificación Red de Seguridad.....	29
3.3.5 Tramos de alta concentración de accidentes.....	29
3.4 Índices de severidad (IS).....	29
4 METODOLOGÍA.....	30
4.1 Análisis y definición de los principales lineamientos de ASV (M1)	31
4.1.1 Aplicación metodología PRISMA ScR	31
4.2 Identificación de puntos con alta concentración de accidentes (M2)	33
4.2.1 Delimitación del tramo de estudio.....	33
4.2.2 Análisis y extracción de datos	33
4.2.3 Identificación puntos de conflicto.....	34
4.3 Definición de IS (M3)	35
4.3.1 Verificación de características geométricas y de seguridad en puntos de conflicto	35
4.3.2 Definición de niveles de severidad.....	35
4.3.3 Comparativa entre parámetros de diseño e IS	36

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
5.1 Análisis y definición de los principales lineamientos de ASV	37
5.1.1 Búsquedas	37
5.1.2 Características de los estudios	38
5.1.3 Estándares de datos	38
5.2 Identificación de puntos de conflicto con alta concentración de accidentes en tramo de estudio.....	43
5.2.1 Aplicación de la Regla 68-95-99.7	47
5.3 Definición de IS.....	49
6 CONCLUSIONES	57
6.1 Línea de investigaciones futuras	60
7 REFERENCIAS.....	61
8 ANEXO	68
Anexo A	68
Anexo B	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Enfoques de seguridad vial.....	8
Figura 2. Metodología general de análisis.....	12
Figura 3. Mapa de ubicación de la Autopista Centinela-Rumorosa	14
Figura 4. Mapa de ubicación del tramo de estudio en la zona montañosa.....	14
Figura 5. Tránsito Diario Promedio Anual de la Autopista Centinela - La Rumorosa.....	15
Figura 6. Accidentes en el tramo montañoso de la Autopista Centinela - La Rumorosa....	16
Figura 7. Principales factores que intervienen en la seguridad vial	22
Figura 8. Etapas y fases en las que se puede implementar un ASV en carreteras	25
Figura 9. Metodología general.....	30
Figura 10. Diagrama de flujo PRISMA-ScR del proceso de selección y cribado de literatura	37
Figura 11. Estudios publicados por año.....	38
Figura 12. Frecuencia de aplicación de lineamientos.....	43
Figura 13. Tipo de vehículos involucrados en ascenso del tramo de estudio	44
Figura 14. Tipo de vehículos involucrados en descenso del tramo de estudio	44
Figura 15. Cantidad de vehículos involucrados en ascenso y descenso del tramo de estudio.....	45
Figura 16. Tipos de accidentes en ascenso del tramo de estudio	45
Figura 17. Tipos de accidentes en descenso del tramo de estudio	46
Figura 18. Tipos de accidentes del tramo de estudio	47
Figura 19. Puntos de conflicto del tramo de estudio.....	47
Figura 20. Puntos de conflicto ascenso tramo de estudio	48
Figura 21. Puntos de conflicto descenso tramo de estudio	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Intervenciones y beneficios de ASV.....	27
Tabla 2. Proceso general de las ASV según la FHWA	28
Tabla 3. Proceso general de las ISV.....	28
Tabla 4. Definición de población, concepto y contexto	32
Tabla 5. Listado de documentos revisados en países desarrollados y subdesarrollados..	39
Tabla 6. Lista de documentos revisados en países en vías de desarrollo.....	39
Tabla 7. Agrupación de los principales lineamientos utilizados en un ASV.....	40
Tabla 8. Principales lineamientos utilizados en ASV en países desarrollados	41
Tabla 9. Principales lineamientos utilizados en ASV en países en vías de desarrollado ...	41
Tabla 10. Principales lineamientos utilizados en ASV en países subdesarrollados.....	42
Tabla 11. Resultado de análisis según la Regla 68-95-99.7	48
Tabla 12. Identificación de IS del tramo de estudio en ascenso.....	52
Tabla 13. Identificación de IS del tramo de estudio en descenso	54

GENERACIÓN DE ÍNDICES DE SEVERIDAD COMO HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN DE LA SEGURIDAD VIAL EN TRAMOS CARRETEROS MONTAÑOSOS. CASO DE ESTUDIO: AUTOPISTA CENTINELA - LA RUMOROSA

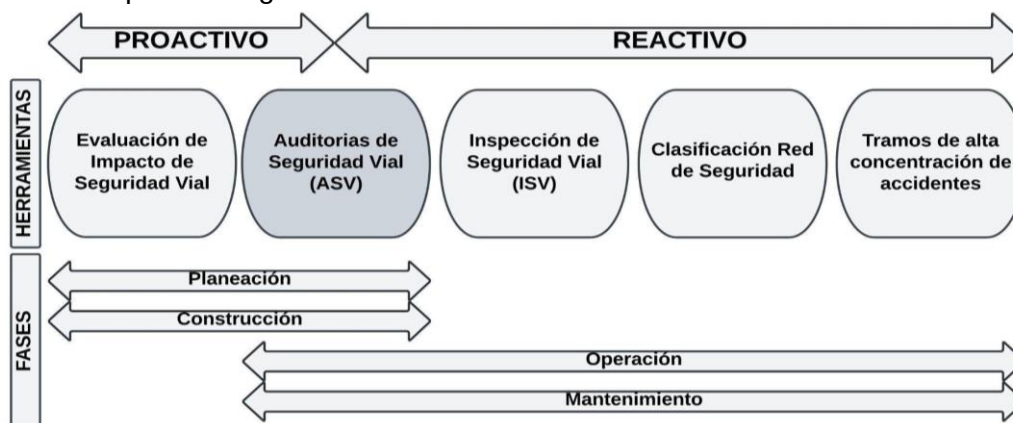
1 INTRODUCCIÓN

La infraestructura carretera proporciona una base esencial para el funcionamiento de todos los países y genera una amplia gama de beneficios económicos y sociales (García et al., 2019). Así como también son el activo de transporte más importante en ámbito nacional e internacional, comprendiendo millones de kilómetros de infraestructura que proporcionan accesibilidad y conectividad en un territorio (PIARC, 2018). Según cálculos basados en el valor agregado de los servicios de transporte, el sector carretero representa entre un 3% y 5% del PIB de un país (De Buen Oscar, 2014). Aunado a esto, el tema de la seguridad en este tipo de infraestructura se vuelve un tema a considerar, ya que la accidentabilidad vial constituye un grave problema a nivel mundial por las pérdidas humanas, sociales y económicas, razón por la cual las diferentes instituciones viales del mundo han planteado diversas técnicas para reducirlas.

A partir de lo anterior, es que la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó la proclamación del periodo 2021-2030 como la Segunda Década de Acción para la Seguridad Vial, en concordancia con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, reiterando en su meta 3.6 el de reducir en un 50% el número de muertes por lesiones causadas por el tránsito en la infraestructura vial (Olmos Rojas et al., 2022). Por su parte, Alves et al. (2018) y la Naciones Unidas (2021) establecen que el 90% de las muertes por accidentes de tránsito afectan en países de ingreso bajo y mediano. Por lo que, se vuelve indispensable el desarrollar propuestas de investigación relacionadas con el análisis y búsqueda de la disminución de accidentes en países subdesarrollados o en vías de desarrollo.

La evaluación de impacto en la seguridad vial debe comenzar desde la etapa inicial del proceso de planificación de la carretera y deberá incluir aspectos relacionados con el proceso de toma de decisiones, durante todas las fases que involucra este tipo de infraestructura (UNECE, 2018). En este sentido, de manera general existen dos tipos de enfoques para contrarrestar la problemática de accidentabilidad vial, uno de ellos el proactivo y otro el reactivo (ver Figura 1).

Figura 1. Enfoques de seguridad vial



Fuente: elaboración propia.

Según la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos (FHWA por sus siglas en inglés) un enfoque proactivo previene problemas de seguridad antes de que se manifiesten, según el patrón y ocurrencia de accidentes viales (FHWA, 2006). Este se basa en identificar medidas correctivas en el diseño geométrico de las carreteras, el equipamiento y el entorno vial (PIARC, 2019). En dicho enfoque se destacan procedimientos como las Auditorías de Seguridad Vial (ASV) donde se identifica cualquier deficiencia de seguridad vial y los potenciales focos de accidentes de tránsito (Alves et al., 2018); cabe destacar que, las auditorías pueden ser implementadas en distintas fases de una carretera, es decir, no solo en las fases de planificación, construcción y mantenimiento, sino también en la operación. Por otro lado, dentro del enfoque reactivo se implementan las Inspecciones de Seguridad Vial (ISV) que tienen como objetivo reducir el número de víctimas de accidentes viales, previniendo los problemas de seguridad vial mediante un análisis de riesgos. Es decir, tanto las ASV como las ISV son evaluaciones que analizan las condiciones de seguridad de una infraestructura vial, sin embargo, la diferencia radica en la fase que se aplica. Las ASV se practican en todas las fases del proyecto, mientras que las ISV en infraestructura vial existente (Dorado et al., 2018).

Por otro lado, el enfoque reactivo se realiza cuando ya se generan accidentes en un tramo carretero, es entonces que se identifican y priorizan las zonas de alta concentración de accidentes, conocidos como puntos de conflicto, y se define el problema a través del análisis de datos de accidentes (PIARC, 2019). Posteriormente, se deben aplicar medidas correctivas en los tramos identificados para contrarrestarse. Asimismo, es importante que se determine el grado de eficiencia de acuerdo con su relación costo-beneficio, para priorizar las medidas de mitigación propuestas, dentro de este enfoque se encuentra la clasificación de red de seguridad y la definición de tramos de alta concentración de accidentes (Austroads, 2022). Cabe mencionar que, este tipo de enfoque es más utilizado en países subdesarrollados o en vías de desarrollo, debido a que no se cuenta con la información necesaria para llevar a cabo una ASV o ISV de manera adecuada o completa.

Para efectos de esta investigación, se decide intervenir tomando como base, aspectos importantes de ambos enfoques, tanto del proactivo como del reactivo, debido a que existen carreteras en México con un alto índice de accidentabilidad y con poca información disponible. Por lo tanto, se evalúa la seguridad vial en el tramo carretero montañoso de la Autopista Centinela-La Rumorosa y se crean Índices de Severidad (IS) a partir de un enfoque proactivo, a través de lineamientos derivados de un análisis de guías de aplicación de ASV y la consideración de manuales de diseño geométrico internacionales y nacional, para ser evaluados en carreteras de fase de operación.

1.1 Problemática

Los accidentes viales son un problema socioeconómico de impacto mundial, estos reflejan una numerosa cantidad de muertos, heridos y altos costos económicos (Banco Mundial, 2023). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el 2022 la deficiencia en seguridad vial atañe alrededor del 3% del Producto Interno Bruto Mundial. Aunado a lo anterior, los accidentes de tránsito son la principal causa de muerte entre las personas de 5 a 29 años y se encuentran entre las 10 principales causas de muerte para todos los grupos de edad (Naciones Unidas, 2021b). Asimismo, los procedimientos e implementación de medidas de seguridad en tramos carreteros son rentables pero limitadas, ya que se debe dar prioridad a las secciones de alto riesgo, teniendo en cuenta los costos socioeconómicos y diferentes restricciones derivadas por la falta de especialistas.

Adicionalmente, en países subdesarrollados o en vías de desarrollo no se cuenta con la información necesaria para llevar a cabo correctamente las ASV, por lo que regularmente se llevan a cabo análisis del enfoque reactivo. Sin embargo, se considera necesario establecer metodologías de análisis que contemplen elementos del enfoque proactivo y reactivo.

Cabe mencionar que, existe escasez de normatividad y falta de especialistas en seguridad vial en México siendo un problema fundamental la ausencia de un marco regulatorio que establezca la realización de ASV (Mendoza et al., 2008). En contraste, los países que ya cuentan con normatividad definen los casos en que la ASV es obligatoria, así como procedimientos específicos y el perfil requerido del equipo auditor. En la mayoría de los casos, las auditorías las han realizado ingenieros civiles con experiencia en proyectos, supervisión y construcción de carreteras, pero sin formación en seguridad vial. Por lo que, se vuelve indispensable, como requisito a futuro, la capacitación y certificación obligatoria de los equipos de auditores. En resumen, la falta de normatividad y la escasez de auditores especializados en seguridad vial son dos grandes obstáculos para mejorar la seguridad en las carreteras de México. Por lo tanto, se requiere un esfuerzo conjunto por parte del gobierno, las organizaciones profesionales y las instituciones educativas para abordar estos problemas y crear un sistema de ASV efectivo.

Las ASV tienen poco más de tres décadas de implementación exitosa en algunos países; sin embargo, en México y en general en Latinoamérica no se ha logrado instituir oficialmente (Mendoza et al., 2020). Es por eso que se proponen IS como resultado de una revisión de lineamientos evaluados en los instrumentos de las ASV a nivel internacional, tomando en cuenta diferentes elementos de seguridad vial y diseño de carreteras. Dichos índices facilitan al auditor, durante el proceso de evaluación de la seguridad vial, el verificar las condiciones del tramo y con ello intervenir con medidas correctivas, para lograr una disminución de la accidentabilidad y su gravedad.

Por lo tanto, el diseño geométrico en carreteras montañosas exige un nivel de seguridad mayor ya que se distingue del resto a partir de las características topográficas que definen el desarrollo de una red funcional, las características geológicas y geotécnicas de la roca, la distribución y tipología de la red de drenaje y ciertas condiciones climáticas como los vientos (Altamira, 2020). Por lo que, el diseño debe imposibilitar la ocurrencia de siniestros o al menos reducir sus consecuencias.

1.2 Justificación

La seguridad vial constituye una grave preocupación para las Naciones Unidas, por lo que a su interior la componen varias entidades que contribuyen de forma directa o indirecta con la seguridad vial, señalando este problema como una política prioritaria (Naciones Unidas, 2021a). Es por ello que, en el 2015, los líderes mundiales, a través de las Naciones Unidas, adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una Nueva Agenda de Desarrollo Sostenible. Para ello se establecieron 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) los cuales tienen metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años. En lo que respecta al Objetivo 11 “Ciudades y Comunidades Sostenibles”, establece que se debe proporcionar acceso a sistemas de transportes seguros para todos y mejorar la seguridad vial (Naciones Unidas, 2020), y que la seguridad vial debe ser concebida como un sistema integral que disminuya los riesgos del usuario al trasladarse, con el fin de reducir los accidentes de tránsito, minimizar los traumatismos y defunciones.

Por lo tanto, esta investigación contribuye al cumplimiento del Objetivo 11, al proponer una metodología para elaborar IS, a través de los aportes efectuados en otros países para evaluar la seguridad vial durante la fase de operación de un sistema carretero. Aunado a lo anterior, el Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020-2024 del Gobierno de México prioriza la mejora de la seguridad vial en la Red Carretera Federal para el bienestar de todos los usuarios. Para lograr este objetivo, dicho programa implementa estrategias integrales y la adopción de las mejores prácticas internacionales en materia de seguridad vial (DOF, 2020).

Actualmente en México, se ha buscado el incremento de la seguridad vial mediante la mejora de infraestructura existente, es decir desde el enfoque correctivo con la identificación y atención de puntos de conflicto en vialidades en operación. Sin embargo, debe preverse también desde el enfoque preventivo con la implementación de ASV. Por lo que, se vuelve necesaria la creación y ejecución de procedimientos que promuevan la seguridad vial en el país. En este sentido, en el 2018 la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) elaboró el Manual de Auditorías de Seguridad Vial de Carreteras, con la participación del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), a través de la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte. Dicho manual es el primer documento y acercamiento en materia de gestión de ASV en proyectos de modernización de vías existentes, construcción de carreteras e intersecciones nuevas y replanteamiento o modificaciones al proyecto original durante la ejecución de las obras (SCT, 2018); así como poner atención a problemas de accidentabilidad como lo han hecho otros países como Australia, Nueva Zelanda y algunos de Europa donde se han llevado a cabo por décadas las ASV, como un procedimiento proactivo (Soria, 2018).

Por otro lado, el Secretariado Técnico del Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes (STCONAPRA) es la entidad administrativa encargada de implementar políticas públicas para la prevención y control de accidentes, que además viene a impulsar la capacitación de especialistas sobre ASV, y la realización e implementación de ISV. Cabe mencionar que, al cierre del año 2020 se realizaron 116 inspecciones y de las cuales 28 de ellas se implementaron mejoras en materia de seguridad vial (Secretaría de Salud, 2022).

Como parte del procedimiento del Manual de Auditorías de Seguridad Vial se tiene como herramienta de apoyo para el auditor una lista de verificación, la cual tiene como objetivo mostrar los aspectos de seguridad que se revisarán en la carretera y que se estructura con base a una serie de preguntas clasificadas de acuerdo con los conceptos de revisión en la etapa correspondiente del proyecto carretero, y donde será necesario responder con un Sí o No (SCT, 2018). Es por ello que, en esta investigación se buscará la creación de IS los cuales actuarán como herramientas de apoyo en dicho procedimiento, como una estrategia para que el auditor obtenga resultados basados en un análisis científico y no en conjeturas y criterios propios, así como priorizar en aquellos aspectos que evidencian mayor riesgo.

1.3 Hipótesis

Hipótesis: Establecer IS a partir de los principales lineamientos de las ASV permitirá evaluar la seguridad vial de carreteras de países en vías de desarrollo en donde no se cuenta con suficiente información para realizar este tipo de procedimiento, y priorizar la toma de decisiones con base a una clasificación de riesgo.

1.4 Objetivos de la investigación

Proponer una metodología para establecer IS a través de la identificación de los lineamientos de mayor incidencia internacional en las ASV, para evaluar las condiciones de seguridad del tramo carretero montañoso Autopista: Centinela - La Rumorosa, y definir recomendaciones durante la toma de decisiones en beneficio del usuario.

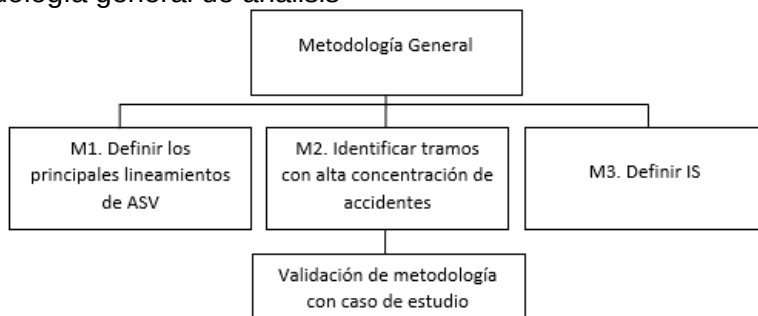
Objetivos específicos

- Identificar los lineamientos de mayor incidencia en ASV en un contexto internacional
- Establecer los parámetros de diseño a nivel nacional e internacional con base a criterios establecidos en las guías o manuales de diseño de proyecto geométrico
- Identificar tramos de alta concentración de accidentes del caso de estudio: Autopista Centinela – La Rumorosa
- Determinar IS a partir de los lineamientos de ASV y parámetros de diseño para evaluar la seguridad vial con base a una clasificación de riesgo
- Redactar informe de resultados de seguridad vial con base a implementación de IS y revisión del cumplimiento u omisión de parámetros de diseño
- Establecer recomendaciones en zonas del tramo donde se identificaron problemas relacionados con los lineamientos o parámetros de diseño carretero.

1.5 Consideraciones metodológicas generales

Antes de iniciar con el desarrollo de esta investigación, es preciso argumentar el porqué de las componentes del mismo, ya que cada una de ellas son pieza clave para el cumplimiento de los objetivos e hipótesis. Por lo tanto, se propone una metodología general de análisis que consta de tres metodologías particulares (ver Figura 2). Es importante mencionar que para llevar a cabo esta investigación se toman criterios del enfoque proactivo, específicamente de las ASV, en donde se obtienen los principales lineamientos aplicables a nivel internacional y se toman como base para el establecimiento de IS. Estos índices son tales que permiten medir la gravedad y las condiciones de los aspectos de diseño carretero; teniendo la capacidad de medir los factores de riesgo en la red que presenta un estado inseguro, calificado con niveles de severidad alta, media y baja. Por otro lado, incluye también criterios del enfoque reactivo al realizar un análisis de concentración de accidentes en tramos carreteros. La importancia de esta metodología radica en considerar criterios de ambos enfoques para hacer una evaluación integral de la seguridad vial, ya que involucra lineamientos de ASV, información de registros de accidentes, parámetros de diseño de carreteras e identificación de puntos de conflicto. La integración de estas variables permite identificar los factores de riesgo en la ocurrencia de accidentes; el registro de estos puede encaminar a la definición de acciones para mejorar la seguridad vial, ya que permitiría focalizar los recursos disponibles en materia de inversión en infraestructura y conservación y mantenimiento.

Figura 2. Metodología general de análisis



Fuente: elaboración propia.

La primera metodología particular (M1) se establece para identificar los lineamientos de mayor incidencia en las ASV en un contexto internacional, para ello se realiza una revisión de literatura a través de la metodología de Trico, et. al. (2018) “The Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews” (PRISMA-ScR), utilizando cuatro cadenas de búsqueda y las bases de datos de Google Scholar y Scopus. Posteriormente, la segunda metodología particular (M2) se identifican los puntos en conflicto del tramo montañoso de la Autopista Centinela - La Rumorosa a partir de un análisis de accidentabilidad. En la tercera metodología particular (M3), se realiza un análisis a nivel nacional e internacional para establecer los IS a partir de los lineamientos de ASV y de parámetros geométricos carreteros aplicables al caso de estudio establecidos mediante un modelo estadístico-matemático. Finalmente se validan los IS obtenidos al caso de estudio a partir de una comparativa normativa de los parámetros de diseño carretero y los IS establecidos, como parte del proceso de evaluación de seguridad vial a bajo costo en países subdesarrollados o en vías de desarrollo que pueda ser replicada en otros casos de estudio.

1.6 Estructura de contenido

El contenido de esta investigación consta de seis apartados. El primero de ellos, corresponde al apartado introductorio, en donde se exponen los objetivos, hipótesis, problemática, justificación de esta investigación y consideraciones metodológicas generales. Posteriormente, en los siguientes dos apartados se hace una recopilación de información literaria y del caso de estudio, es decir, en el segundo apartado se encuentran antecedentes tanto del caso de estudio como de la situación actual de seguridad vial en México y a nivel internacional, mostrando los planes y programas que buscan mejorar la seguridad vial y reducir accidentes. En el apartado tres, se hace una revisión de literatura en torno al concepto de seguridad vial, los enfoques existentes y los debates científicos actuales en materia de seguridad vial. El apartado cuatro describe la metodología a implementar para llevar a cabo esta investigación, la cual considera tres metodologías particulares. En dicho apartado metodología se explica detalladamente el procedimiento para obtener los principales lineamientos de ASV que servirán como base para desarrollar los IS, por otro lado, el análisis de accidentes y la ubicación de puntos de conflicto de concentración de accidentes, y finalmente la evaluación de los parámetros de diseño del caso de estudio y la definición de los IS. El quinto apartado comprende la obtención de los resultados, siendo pieza clave para validar la metodología de análisis, por ello se aplicarán los IS obtenidos de los lineamientos de ASV y parámetros de diseño y se identificarán los tramos con alta concentración de accidentes en el caso de estudio entregando una evaluación de seguridad vial de carreteras montañosas de países en vías de desarrollo. Finalmente, en el sexto y último de los apartados se describen las conclusiones y las aportaciones de este trabajo de investigación de acuerdo a los resultados obtenidos. Además, se presentan las limitaciones que se suscitaron en el transcurso del estudio y la propuesta de líneas futuras de investigación.

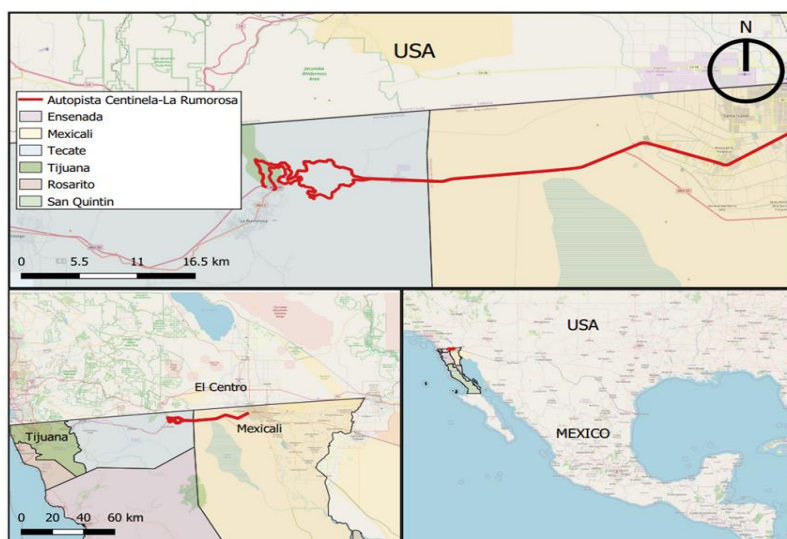
2 ANTECEDENTES

2.1 Delimitación territorial de Autopista Centinela - La Rumorosa

Las carreteras en terreno montañoso tienen la particularidad de concentrar una gran cantidad de accidentes debido a que cuentan con pendientes pronunciadas, un sistema complejo de curvas y limitación de espacio. Es por ello que, se toma como caso de estudio la carretera Centinela – La Rumorosa (ver Figura 3). Está se encuentra entre los municipios de Mexicali y Tecate en Baja California, México pertenecientes a la Carretera Federal Mexicana Número 2 y es administrado por Fideicomiso Público de Administración de

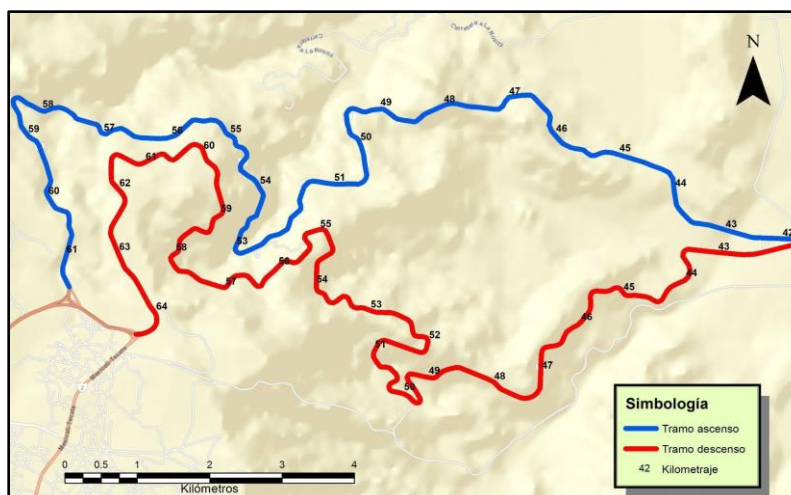
Fondos e Inversión del Tramo Carretero Centinela-Rumorosa (FIARUM) con 64 kilómetros de longitud, esta vía tiene dos cuerpos separados con diferentes trazos y condiciones topográficas. Desde el tramo vial 0+000 al 18+000, se considera un área urbana de Mexicali, la cual tiene una topografía plana y tramos viales rectos; De la misma forma, esto ocurre con el tramo de carretera 18+000 a 42+000. Adicionalmente esta vía tiene una zona montañosa con un sistema de curvas considerable desde el tramo de carretera 42+000 a 64+000 (Montoya Alcaraz et al., 2020). De acuerdo a lo anterior, el caso de estudio se centra en el tramo montañoso que corresponde al kilometraje 42+000 al 64+000 (ver Figura 4). El tramo de ascenso montañoso cuenta con dos carriles de 3.5 metros de ancho con acotamiento de 3 metros de ancho en todo su recorrido, mientras que el tramo de descenso montañoso tiene 3.5 metros de ancho por carril, pero sin acotamiento.

Figura 3. Mapa de ubicación de la Autopista Centinela-Rumorosa



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Mapa de ubicación del tramo de estudio en la zona montañosa



Fuente: elaboración propia.

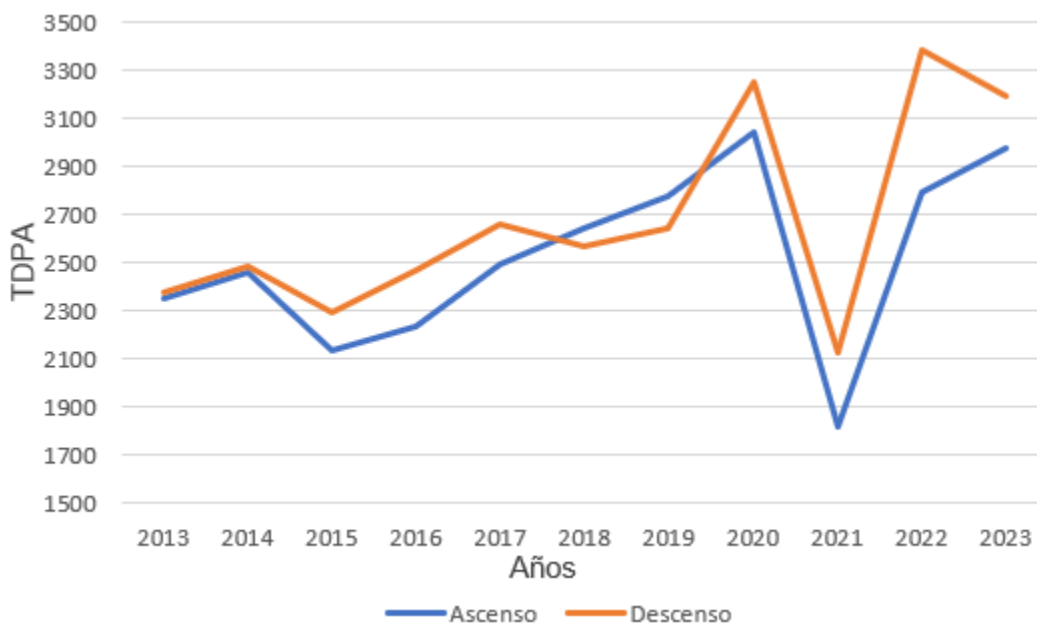
Si bien el tramo se encuentra en constante modernización, el promedio de accidentes viales que ocurren anualmente es de 200. Por lo tanto, la vía sigue siendo considerada una de las más peligrosas del país. Cabe mencionar que además de la topografía y el sistema de curvas de la carretera, las condiciones climáticas y el entorno donde se ubica el tramo promueven la siniestralidad vial. Las temperaturas mínimas registradas caen por debajo de los -7 grados centígrados y las máximas superan los 54.3 grados centígrados más la presencia de lluvia y nieve, además, esta vía se encuentra en una zona sísmica y por lo tanto sufre daños estructurales y deslizamientos de tierra en la zona montañosa (Montoya Alcaraz et al., 2020).

Es importante mencionar que, en el año 2017, la Universidad Autónoma de Baja California en convenio con FIARUM desarrollaron un proyecto de investigación aplicada denominado “Análisis de las condiciones de seguridad de la Autopista Centinela - La Rumorosa”. Dentro de este proyecto se determinó la necesidad de alojar rampas de frenado en el tramo montañoso descendente y se determinaron puntos de conflicto de concentración de accidentes para el periodo 2000 - 2016. Sin embargo, la determinación de estos puntos fue a través de un sistema de información geográfico y con la acumulación de puntos geográficos.

Con la declaración de pandemia COVID-19 en el año 2020, como estrategia para evitar la propagación, el Gobierno de México suspendió las actividades no esenciales, teniendo una reducción significativa de viajes.

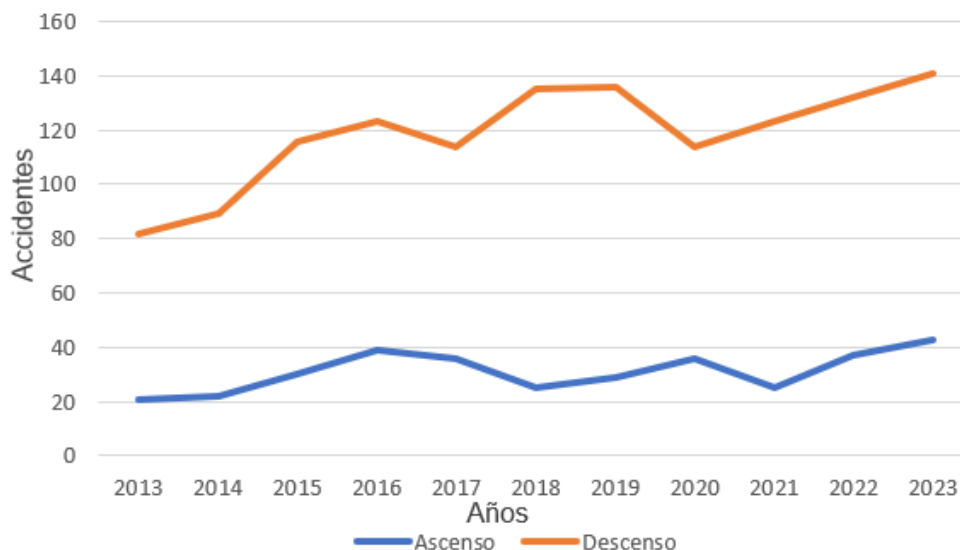
La SICT ha realizado aforos de tránsito a partir del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) en el caso de estudio (ver Figura 5), demostrándose una reducción de aproximadamente un 40% del año 2020 al 2021; asimismo, los accidentes registrados en la zona montañosa (ver Figura 6), específicamente en el tramo de ascenso se puede observar una disminución del 30.5% de accidentes; por otro lado, aunque poco significativo en el descenso se incrementó un 7.8% los accidentes.

Figura 5. Tránsito Diario Promedio Anual de la Autopista Centinela - La Rumorosa



Fuente: elaboración propia con base a SCT, 2023.

Figura 6. Accidentes en el tramo montañoso de la Autopista Centinela - La Rumorosa



Fuente: elaboración propia con base a FIARUM, 2024.

En la ciudad de México, el Sistema de Movilidad Integrada observó el tránsito vehicular de octubre a diciembre del mismo año tuvo una reducción de 45% respecto a su comportamiento típico. Sin embargo, el porcentaje de hechos de tránsito con personas lesionadas y víctimas fatales aumentó como proporción del total de hechos de tránsito, atribuible que a menores niveles de congestión los usuarios emplean mayores velocidades (SEMOVI, 2024).

2.2 Antecedentes en materia de seguridad vial

El desarrollo e implantación de un proceso de Auditorías de Seguridad Vial (ASV) es una de las estrategias para reducir la accidentabilidad y sus consecuencias asociadas. Los resultados de esta investigación beneficiarán a la sociedad en la búsqueda de la mejora de las condiciones de seguridad vial, así como a los organismos encargados de la toma de decisiones en materia de seguridad vial. Por otro lado, puede ser utilizada como referencia por dependencias encargadas de la dotación de infraestructura vial a nivel nacional.

En este sentido, el presente documento tiene como objetivo identificar la inclusión de la propuesta de índices de severidad a partir de los lineamientos de una ASV con los planes y programas de seguridad vial a nivel internacional, nacional, regional y local.

Para ello, se enmarcan las demandas específicas que buscan atender los documentos gubernamentales que son enlistados a continuación.

2.2.1 Contexto Internacional

En la actualidad, existen numerosos manuales y experiencias de aplicación de ASV en el mundo. Desde su introducción en 1990 en Australia y Nueva Zelanda, se ha trabajado en la investigación en materia de seguridad vial, formación de auditores y promoción de la estrategia para su inclusión en los planes de seguridad vial nacionales, regionales y locales.

En la Región de las Américas existen organismos que lideran las políticas de seguridad vial con estructura, marco legal y financiamiento propio. Por ejemplo, la Unidad Nacional de Seguridad Vial de Uruguay establecida en el 2007, la Agencia Nacional de Seguridad Vial de Argentina en 2008, el National Road Safety Council de Trinidad y Tabago creado en el 2011, la Agencia Nacional de Seguridad Vial de Colombia en el 2013, la Agencia Nacional de Tránsito y Seguridad Vial de Paraguay 2014 y la Secretaría Nacional de Tránsito de Brasil establecida en el 2021, por otro lado, no relativamente nuevas, en países como Costa Rica existe el Consejo de Seguridad Vial de Costa Rica creado desde el año 1979, o la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito de Chile, creada en 1993. Jamaica en 1993 su National Road Safety Council, que incluye tanto actores del sector público y privado (OPS & OMS, 2023).

Las agencias, comisiones y consejos de nivel nacional son fundamentales para liderar las políticas del país y actuar con organismos internacionales para establecer iniciativas en seguridad vial. Cada país se compromete a designar una entidad de enlace nacional que instaure redes para facilitar la cooperación con la OMS a fin de dar seguimiento a los avances en el marco del Segundo Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2021-2030 (Naciones Unidas, 2021b).

2.2.1.1 Organización Mundial de la Salud (OMS)

La OMS (2023) a través de su informe sobre la situación mundial de la seguridad vial muestra que desde 2010 han disminuido 5% las víctimas mortales por accidentes de tránsito.

El mismo informe revela que solo seis países disponen de leyes en materia de seguridad que se ajustan a las prácticas óptimas de la OMS para todos los factores de riesgo: exceso de velocidad, conducción en estado de embriaguez y uso del casco de motociclista, el cinturón de seguridad y los sistemas de retención infantil, mientras que 140 países aplican leyes que cumplen esas prácticas para al menos uno de esos factores de riesgo.

La OMS y las Comisiones Regionales de las Naciones Unidas, han elaborado un Plan Mundial para el decenio de acción para la seguridad vial 2021-2030 y sus objetivos. Este Plan describe las medidas necesarias como lo son elaborar y financiar planes nacionales y locales con objetivos y niveles de financiación claros, para alcanzar esa meta, y se hace un llamado a los gobiernos y asociados para aplicar un enfoque de sistemas seguros integrados.

2.2.1.2 Organización de las Naciones Unidas (ONU)

La Asamblea General de la ONU adoptó un plan de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que abarcan aspectos de económica, sociales y ambientales, conformado por metas para conseguir un futuro sostenible, relacionando e incorporando los desafíos que se enfrentan día con día en busca de la prosperidad, la paz y la justicia.

En este sentido, el Objetivo 3 “Buena Salud”, está enfocado en reducir a la mitad el número de muertes y lesiones causadas por accidentes de tráfico en el mundo (Naciones Unidas, 2020). A su vez, el Objetivo 11 “Ciudades y Comunidades Sostenibles” busca proporcionar acceso a sistemas de transportes seguros para todos y mejorar la seguridad vial (Ibidem). Lo anterior, concuerda con las metas de una ASV, el cual pretende garantizar que un camino cumpla con criterios óptimos de seguridad (Mendoza et al., 2019).

2.2.2 Contexto Nacional

El gobierno mexicano con la proclamación del Decenio de Acción para la Seguridad Vial y la Estrategia Nacional de Seguridad Vial 2011-2020 busca aplicar medidas de seguridad vial, en ejes como la gestión de la seguridad vial, el desarrollo de infraestructura, la concientización de los usuarios y la mejora en la atención médica, entre otros.

En México, se busca incrementar la seguridad vial mediante la mejora de infraestructura a través de la atención de puntos de conflicto en carreteras. La aplicación de medidas correctivas en la infraestructura ha demostrado un alto grado de eficiencia de acuerdo con su relación costo-beneficio, lo que ha impulsado que los recursos asignados a la aplicación de este tipo de medidas se consideren prioritarios (Ibidem).

2.2.2.1 Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2019-2024

A nivel nacional, el PND está enfocado al desarrollo sostenible, en donde establece en la sección II. Política y social, el compromiso a impulsar el desarrollo sostenible, con la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad y necesidades de las generaciones futuras.

Igualmente responde al Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes derivado del PND 2019-2024, en su estrategia prioritaria 1.2: Mejorar la seguridad vial en la Red Carretera Federal para el bienestar de todos los usuarios, mediante las acciones puntuales que empatan con los objetivos del proyecto propuesto de investigación “Metodología integral para Auditorías de Seguridad Vial en tramos carreteros de México y propuesta de intervenciones”, tales son:

1.2.2 Diseñar e implementar un programa preventivo de seguridad vial en la Red Carretera Federal.

1.2.4 Incorporar tecnologías de punta y mejores prácticas internacionales para incrementar la seguridad vial.

1.2.5 Establecer lineamientos y criterios para que los proyectos ejecutivos de construcción y modernización de carreteras, se diseñan atendiendo la seguridad vial de todos los usuarios, desde la fase de anteproyecto.

1.2.6 Implementar las Auditorías de Seguridad Vial (ASV) en la red carretera federal.

1.2.7 Realizar campañas informativas para difundir entre la población los aspectos fundamentales de seguridad vial y crear progresivamente una cultura vial.

2.2.2.2 Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos

El Programa Integral de Seguridad Vial 2021-2024 se rige por un marco legal que se desprende de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. A continuación, se describe la alineación estratégica con las agendas globales de desarrollo.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos reconoce en el artículo 4 el derecho a la movilidad en condiciones de seguridad vial, accesibilidad, eficiencia, sostenibilidad, calidad, inclusión e igualdad. Consecuente a esto en el 2022 se redactó la Ley General de Movilidad y Seguridad Vial (SNMySV) tiene la facultad de formular manuales y lineamientos que permitan el cumplimiento del Art.4 (SEDATU,2024).

2.2.2.3 Ley General de Movilidad y Seguridad Vial, 2022

La Ley de Movilidad y Seguridad Vial permite que México avance en el cumplimiento de los objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, como el de promover la inclusión y reducir el número de muertes y lesiones causados por accidentes viales. Esta ley tiene como objetivo principal proteger la vida e integridad física de las personas que utilizan las vías públicas del país. Para lograr este objetivo, se priorizará un enfoque preventivo que reduzca los factores de riesgo y la incidencia de lesiones graves. Esto se logrará mediante la creación de sistemas de movilidad seguros.

El Sistema Nacional de Movilidad y Seguridad Vial será el mecanismo de coordinación entre las autoridades competentes en materia de movilidad y seguridad vial, de los tres órdenes de gobierno, a fin de cumplir con la Ley General, la política, el Plan Nacional de Desarrollo, la Estrategia Nacional y los instrumentos de planeación específicos (SEDATU et al., s.f.).

La Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), en coordinación con la SICT dará seguimiento a acciones específicas establecidas en la ley. Donde le corresponde:

- Participar en la realización de manuales y lineamientos técnicos de diseño vial e infraestructura, así como otros en materia de movilidad y seguridad, con el objetivo de homologar las disposiciones a nivel nacional.
- Participar en el diseño de las políticas públicas en materia de movilidad y seguridad vial, educación vial.
- Emitir en conjunto con las dependencias que integren el Sistema Nacional, los lineamientos técnicos para la realización de las ASV, a efecto de proveer de una metodología homologada a nivel nacional

De acuerdo con el Reporte Anual de Actividades y Resultados del SNMySV (SEDATU et al., s.f.) a nivel nacional, de las treinta y dos (32) entidades federativas, veintinueve (29) cuentan con una Ley de Movilidad Estatal, de las cuales, hasta la fecha, sólo han armonizado quince (15) con la Ley General y diecisiete (17) no cuentan con armonización. Las entidades con Leyes armonizadas (15) son: Baja California, Baja California Sur, Sonora, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Nayarit, Jalisco, Aguascalientes, Colima, Michoacán, Puebla, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. Por otro lado, las entidades sin armonizar (17): Chihuahua, Zacatecas, Veracruz, Querétaro, Estado de México, Oaxaca, Tabasco, Chiapas, Coahuila, Sinaloa, Guanajuato, Hidalgo, Ciudad de México, Tlaxcala, Guerrero, San Luis Potosí y Morelos.

2.2.2.4 Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano

El artículo 71, fracción VII, establece que las políticas y programas de movilidad deberán establecer políticas, planes y programas para la prevención de accidentes y el mejoramiento de la infraestructura vial y de movilidad (DOF, 2016).

2.2.2.5 Estrategia Nacional de Movilidad y Seguridad Vial (ENAMOV), 2023

Este establece las bases de políticas, planes y acciones para el desarrollo de la movilidad y la seguridad vial del país. Estos programas, leyes y planes de desarrollo contribuyen al bienestar social mediante el desarrollo y consideración de estrategias y líneas de acción para una infraestructura carretera accesible, segura, eficiente y sostenible, que conecte a las personas de cualquier condición. Algunas de estas estrategias que ofrecen los instrumentos de planeación forman parte de los beneficios que se esperan con la aplicación y creación del proyecto de investigación propuesto, lo que afirma solucionaría la demanda y necesidad de implementar la seguridad vial.

El Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes (CONAPRA) en concordancia con la presente estrategia, coadyuva en el fortalecimiento de la capacidad de gestión de la seguridad vial, a su vez este consejo busca sustentar con la revisión de infraestructura y de transporte más seguro.

La implementación de ASV se promueve a través de la capacitación de equipos auditores por parte de la CONAPRA y la aplicación del reciente Manual de Auditorías de Seguridad Vial de SICT. Este manual posibilita el inicio de la práctica formal de este tipo de auditorías.

2.2.2.6 Programa Nacional de Atención a Puntos de Conflicto

A partir de 1997 la SICT implementó el Programa Nacional para la Atención de Puntos de Conflicto en la Red Federal Libre de Peaje que se realiza de acuerdo con el “Manual de Procedimiento para el Programa Nacional de Atención a Puntos de Conflicto” con el fin de reducir y evitar accidentes en tramos en los que el camino es una de las causas principales de los accidentes, esto mediante la aplicación de medidas de mejora directamente en la infraestructura vial, sin embargo este manual no se encuentra en acceso abierto.

La SICT (2022) define un punto de conflicto a una sección vial de alrededor de un kilómetro donde, han ocurrido repetidamente accidentes significativos (cuatro o más accidentes, un accidente con muertes, o dos con heridos graves) en los últimos dos años. Estos puntos suelen encontrarse en lugares como curvas, intersecciones, puentes, y cruces ferroviarios.

2.2.2.7 Plan Estatal de Desarrollo, 2022-2027

Ante el panorama de decesos por accidentes de tráfico, este plan en el apartado 7.2 “Salud y Calidad de vida” plantea la necesidad a través de la promoción de salud y reforzar las medidas de sensibilización en seguridad vial, para disminuir los accidentes viales. A su vez, el subapartado 7.6.6 “Movilidad para Todas y Todos” propone determinar estrategias para evitar el aumento de pérdidas humanas correspondientes a peatones, por motivos de estos mismos accidentes.

Es crucial establecer organismos dedicados a la dirección de políticas de seguridad vial a nivel local. Esto permitirá adaptar las medidas de seguridad vial a las características específicas de cada región, tomando en cuenta las necesidades y capacidades particulares de cada entorno.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Seguridad vial

En este apartado se realiza un repaso sobre aportaciones científicas en torno al concepto de seguridad vial y el impacto en la movilidad del usuario, introduciendo brevemente a los elementos de interés y herramientas de aplicación en un sistema de gestión de seguridad vial. Además, se presenta el alcance general y su función principal.

La seguridad vial consiste en una serie de acciones y normas diseñadas con el fin de prevenir accidentes y minimizar sus consecuencias causadas por el tránsito, resaltándose que la responsabilidad atañe a todos los usuarios de la vía pública (CAPUFE, 2022). El concepto hace referencia a todos los comportamientos que las personas deben tener en la vía pública y así propiciar su seguridad y la de los otros. Para garantizar esto, se han creado una serie de reglas, leyes y normativas que permiten regular el orden vial creando un entorno más seguro, accesible, y sostenible para los sistemas de transporte y para todos los usuarios (Basantes Silva, 2021).

Por otro lado, el creciente flujo vehicular, así como de los diversos modos de transporte, aunados al crecimiento demográfico, repercuten directamente en la importancia de la seguridad vial, pues todas y todos formamos parte de ese sistema de algún modo (Ibidem). Además, la velocidad excesiva, siendo una de las principales causas de contrarrestar la seguridad vial, contribuye a aproximadamente un tercio de todas las muertes causadas por el tráfico en países de altos ingresos y la mitad de ellos en países de ingresos bajos y medio (OPS,2023). Lo que hace desconocer las limitaciones del vehículo y no solo atribuirse la generación de accidentes a un factor humano.

Es así que, la alta tasa de accidentabilidad vial, así como las repercusiones sociales y económicas, preocupa a los técnicos de diferentes administraciones a nivel mundial, dado que la creciente demanda de movilidad acelera este problema; es por ello que, se requiere la aplicación de medidas para fortalecer la seguridad vial.

3.2 Factores técnicos de la Seguridad vial

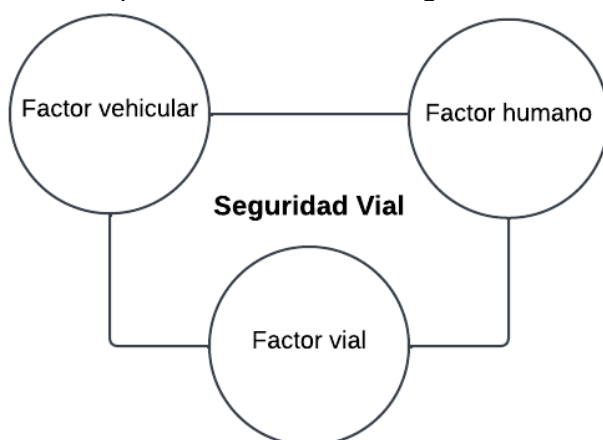
Los accidentes viales son una gran preocupación para las Naciones Unidas, ya que varias entidades dentro del sistema de la organización contribuyen a la seguridad vial, manifestándose como uno de los temas de mayor prioridad a abordar a través de la política internacional, ya que cada año mueren más de 1.25 millones de personas en accidentes de tránsito y entre 20 y 50 millones de personas sufren lesiones no mortales (Naciones Unidas, 2021a).

No hay nada más importante que las vidas humanas, pero también es necesario considerar las pérdidas económicas que un accidente puede causar y determinar que influye en el propicio de los mismos. La seguridad vial evalúa diversos factores que se interrelacionan y contribuyen al riesgo de accidentes en carreteras, pudiéndose agrupar en tres categorías principales, para lograr un análisis integral, los cuales son: humano, vehicular y vial (ver Figura 7). Es necesario comprender qué factores contribuyen a la alta frecuencia de lesiones en accidentes de tránsito para guiar la investigación y diseñar intervenciones (DeNicola et al., 2016).

Las evaluaciones deben verse como una herramienta dentro de una gama integrada de instrumentos destinados a promover las metas y objetivos de un programa integral de gestión de la seguridad vial (OPS, 2019). En otras palabras, un análisis que incorpora un enfoque integral de los diversos factores que intervienen en un proyecto vial.

Tal como propone la FHWA (2006) en la seguridad vial existen factores que interactúan entre sí y deben ser considerados, los tres principales están relacionados con todo tipo de vehículos, usuarios (conductores mayores, peatones de diferentes grupos de edad incluyendo niños y personas con discapacidad física, ciclistas, tráfico comercial, recreativo, agrícola, etc.), así como el sistema vial (que a su vez involucra el clima, entorno y la red vial y dispositivos de seguridad) por donde transitan los mismos.

Figura 7. Principales factores que intervienen en la seguridad vial



Fuente: elaboración propia con base a FHWA, 2006.

El primer factor es el factor “humano” (conductores, pasajeros, peatones, ciclistas y motociclistas) (SEDATU, 2019) que debería integrarse en el sistema de gestión como el vínculo más importante pero menos confiable y más vulnerable. Los humanos pueden distraerse fácilmente, cansarse relativamente rápido y su comportamiento está influenciado por muchos factores impredecibles. Las carreteras y la gestión del tráfico a menudo se dan por sentado y se centran únicamente en cómo los usuarios se adaptan al sistema y sus condiciones.

La contribución del factor humano a la ocurrencia de un accidente es muy significativa ya que los accidentes se atribuyen en gran medida a las condiciones físicas y psicológicas del usuario (Sakhapov et al., 2018). La psicología del tráfico es una disciplina fundamental para comprender. Los investigadores coinciden en que el factor humano explica entre el 70% y el 90% de los accidentes (Faus et al., 2023).

Otro factor a considerar es el “vehicular”, que implica identificar las diferencias de dimensiones y funcionamiento entre los tipos de vehículos utilizados por los usuarios en la zona analizada. Los vehículos motorizados se pueden dividir en dos categorías: vehículos pesados y vehículos ligeros (DOF, 2023). Cada uno de estos tipos tiene diferencias tanto en el diseño geométrico como en el funcionamiento de la vía. Asimismo, es importante considerar el factor “vial”, en el que existe una estrecha relación entre la infraestructura y el usuario. El objetivo primordial debe ser hacer que esta relación sea lo más favorable posible para que los humanos cometan el menor número de errores posibles (Soria et al., 2018), y estos errores no conduzcan a accidentes o incluso a muertes.

En el factor vial, la seguridad vial cuenta con elementos y herramientas prácticas que implican información, prohibición y avisos sobre los mismos, implica analizar estos elementos y sus interrelaciones para identificar las áreas de mayor riesgo y desarrollar estrategias para prevenir accidentes.

Para tomar decisiones adecuadas sobre la implantación de actuaciones de seguridad vial es necesario conocer su eficacia y el impacto que ocasiona cada elemento. Un aspecto que se considera por tener efectos más significativos, en las distintas evaluaciones de seguridad vial, es el alineamiento horizontal y vertical que demuestra haber logrado una reducción de accidentes de hasta un 50%, según el Departamento del Transporte de Texas (2015). Asimismo, se observa que existe una relación proporcional entre el aumento de la velocidad media y la probabilidad de que ocurra una colisión, así como con la gravedad de sus consecuencias (OMS, 2021). Si el gobierno quiere desarrollar un sistema de transporte vial en el cual nadie muera o sufra una discapacidad permanente, la velocidad es el factor más importante que se debe regular (Elvik et al., 2004).

3.3 Herramientas para evaluaciones de seguridad vial

El impacto social de la accidentabilidad vial es un grave problema de salud pública con elevados costes económicos y de salud, por lo cual diferentes organismos administrativos de carreteras recurren a implementar herramientas en materia de seguridad vial (Vázquez et al., 2011). Estas herramientas esenciales de gestión de la seguridad vial son esenciales para desempeñar y fortalecer la seguridad vial en los países.

La gestión de la seguridad vial es el primer y fundamental pilar del Plan Mundial para el Decenio de Acción (UNRSC, 2011), por lo que actualmente se están realizando esfuerzos en todo el mundo para reducir el número de accidentes de tráfico mediante mejoras de infraestructura. Según Ahmed, Puan e Ismail (2013) existen dos tipos de enfoques para contrarrestar los problemas de seguridad vial: el enfoque proactivo y el enfoque reactivo (ver Figura 1), y en donde se implementan diversas herramientas como lo son:

- Evaluación de impacto de la seguridad vial
- Auditorías de Seguridad Vial (ASV)
- Inspecciones de Seguridad Vial (ISV)
- Clasificación Red de Seguridad
- Tramos de alta concentración de accidentes

Es importante que estas evaluaciones, sobre todo las proactivas (evaluación de impacto de la seguridad vial y ASV) se realicen periódicamente en infraestructura existente, pues el entorno evoluciona con el tiempo y cambia las condiciones en su operación, particularmente en un país como México, donde existen grandes deficiencias en cuanto a control de la urbanización y proliferación de desarrollos a los costados de los caminos, práctica extendida en todo tipo de vialidades (AMIVTAC, 2020).

Establecer e implementar procedimientos adecuados de gestión de la seguridad de la infraestructura vial se considera esencial para mejorar la seguridad de la infraestructura carretera. Es así que, en los últimos años, el número de muertes y heridos en accidentes de tránsito disminuyó en la mayoría de los Estados miembros de TEM (Armenia, Austria, Bosnia y Herzegovina, Turquía), suponiendo que muchos países hayan implementado medidas sistemáticas de seguridad vial (UNECE, 2018).

En todo el mundo se han realizado evaluaciones de las ASV empleadas que muestran resultados claros y tangibles. Experiencias en Estados Unidos, Europa, Australia demuestran la eficacia y rentabilidad de las ASV como una herramienta proactiva para mejorar la seguridad, de igual manera indica que los auditores identifican problemas de seguridad que de otro modo no habrían sido descubiertos mediante una revisión de seguridad tradicional.

En 2012, la FHWA publicó en su evaluación de programas y proyectos de ASV resultados cuantitativos de lo que se resume una reducción de accidentes y lesiones en distintas vialidades de Estados Unidos, demostrando la eficiencia de las ASV aplicadas (Safe System Solutions & Ontario Good Roads Association, s. f.).

Un estudio del Reino Unido encontró que después de la implementación de un método proactivo como las ASV, el número promedio de accidentes fatales y con lesiones en los sitios del proyecto se redujo en 1.25 accidentes por año (de 2.08 a 0.83 accidentes por año). Por otro lado, la experiencia en Estados Unidos, del Departamento de Transporte de Nueva York informa una reducción del 20% al 40% en los accidentes en zonas con alto índice de accidentes. El realizar e implementar las mejoras de seguridad recomendadas en el diseño suele costar el 5 % de los honorarios generales de diseño de ingeniería (FHWA, 2006).

En Dinamarca, un estudio realizado a 13 proyectos sometidos a ASV y sus recomendaciones produjeron una reducción entre 25 y 28 accidentes de tránsito totales por año; por otro lado, en Alemania se estimó que una ASV puede prevenir hasta el 70% de todos los accidentes en la construcción de nuevas carreteras (Alves et al., 2018).

En Australia, las primeras guías para ISV y ASV se elaboraron en 1994; con el paso de los años y las nuevas experiencias y modificaciones de las mismas actualmente se realizan ISV en carreteras existentes, sin embargo, se ha reconocido ampliamente que el mayor aporte de este tipo de procedimientos se da cuando se realizan en la etapa de diseño, en el cual toma el nombre de ASV (Dorado et al., 2018).

En México las ISV se realizan por solicitud de autoridades responsables de la red, los cuales se han enfocado en incluir este tipo de evaluación. La importancia de incorporar estas inspecciones se debe a que los proyectos se diseñan según las normas vigentes, eso no garantiza que estén contemplando cuestiones de seguridad que involucre a todos los usuarios de la vía.

Los sistemas de gestión en todos los países presentan deficiencias en los resultados alcanzados, como en la calidad de las medidas implementadas. Los resultados reflejan que las medidas adoptadas y la eficacia se determina por el desarrollo de los sistemas de apoyo, los compromisos y financiamiento, el alcance de la legislación y dependerá de las condiciones del país para la ejecución de estas herramientas.

3.3.1 Evaluación de impacto de la seguridad vial

En este tipo de evaluación se efectúa un análisis comparativo estratégico de impacto en la carretera sobre el desempeño de la seguridad, debiendo comenzar en la etapa de planificación e incluir aspectos de seguridad vial en el proceso de toma de decisiones. Se utiliza para estimar la situación actual del nivel de seguridad de la red existente (UNECE, 2018).

El equipo de revisión de seguridad por lo general no es completamente independiente del equipo de diseño, lo realiza un equipo con solo experiencia en diseño y/o seguridad, a menudo se concentra en el tráfico motorizado y frecuentemente no consideran los problemas del factor humano al igual que no genera un informe formal (FHWA, 2012).

Un enfoque proactivo considera la probabilidad de una interacción hombre-carretera incorrecta como un medio para identificar las deficiencias de la carretera que son capaces de desencadenar errores operativos y de conducción que, si no se corrigen a tiempo, provocan la ocurrencia de un accidente.

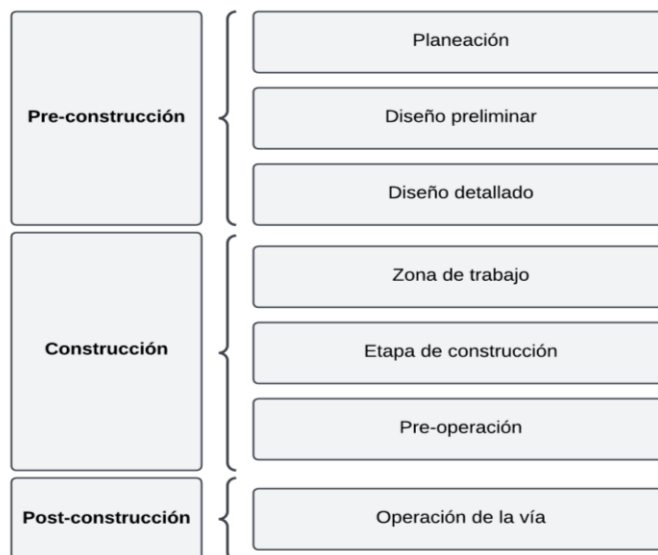
3.3.2 Auditoría de Seguridad Vial (ASV)

Una ASV se entiende como un proceso formal de revisión de un proyecto en una carretera nueva antes de que ésta sea abierta al tránsito, o durante los trabajos de conservación y mantenimiento, operación y funcionamiento, o de cualquier otro proyecto que afecte las condiciones de circulación de un camino (Mayoral et al., 2001).

Es un análisis formal que pretende garantizar que un camino existente o futuro cumpla con criterios óptimos de seguridad, llevado a cabo por un equipo de expertos, cuyos miembros son independientes del proyecto del camino (Mendoza et al., 2009).

Las ASV, son exámenes formales realizados por un equipo independiente de expertos. Estos exámenes se pueden realizar en todas las etapas de un proyecto (ver Figura 8), desde la fase de planificación de una carretera hasta su operación (Austroads, 2022). Además, Mayoral et al. (2001) mencionan que las ASV han demostrado ser una herramienta eficaz para reducir la gravedad de los accidentes. En este sentido, el resultado de un ASV es un informe que identifica cualquier deficiencia de seguridad vial, y el auditor debe formular recomendaciones destinadas a eliminar o reducir estas deficiencias (PIARC, 2012). Por otro lado, la Inspección de Seguridad Vial (ISV) es un examen formal de las condiciones de seguridad vial de una carretera existente, en otras palabras, sólo puede realizarse durante la fase operativa, siendo un sistema más reactivo. Sin embargo, al igual que las ASV las ISV también son realizadas por un equipo independiente y calificado (NCHRP, 2004).

Figura 8. Etapas y fases en las que se puede implementar un ASV en carreteras



Fuente: elaboración propia con base a FHWA, 2006.

Previamente mencionado, la implementación de ASV puede ocurrir en cualquier fase y/o etapa de un proyecto vial. Generalmente los proyectos se desarrollan en tres etapas, la primera etapa denominada pre-construcción, comprende trabajos preliminares como planificación, diseño preliminar del proyecto, estudios geométricos y todo lo necesario para establecer el cronograma del proyecto. La segunda etapa, construcción, se refiere a todos los procesos desde la nivelación del terreno, la señalización y el despeje del sitio hasta la finalización del proyecto antes de la operación. Finalmente, la etapa de post-construcción es cuando la vía se encuentra abierta al tráfico y en operación por los usuarios.

Según la OMS (2022) aproximadamente 1.3 millones de personas mueren en colisiones de tránsito cada año, lo que significa más de dos muertes por minuto. Con base en esto, se puede argumentar que la implementación de una ASV es relevante actualmente, ya que se espera reducir la gravedad y el número de accidentes que ocurren a través de este medio a nivel mundial. Otro beneficio de implementar ASV es la reducción de gastos relacionados con accidentes, ya que se promueven vías más seguras y con menor probabilidad de colisiones, lo que a su vez también reduce costos en la vida útil de la vía y fomenta una cultura de seguridad vial (Morales et al., 2015). De acuerdo con lo anterior, refleja la necesidad e importancia de implementar ASV.

La FHWA (2006) identifica varios beneficios de implementar ASV, estos incluyen abordar la seguridad de manera proactiva, donde los diseños de carreteras analizados por ASV deberían resultar en menos accidentes y menos graves. Las ASV también ayudan a identificar mejoras de bajo costo y alto valor, mejora la coherencia en las consideraciones de seguridad y promueve una cultura de seguridad.

Según la FHWA, los informes generados en el proceso de ASV son rentables. Sin embargo, es importante mencionar que la mayoría de estos informes se refieren a beneficios cualitativos. Porque la relación costo-beneficio no es el factor motivador detrás de la implementación de ASV. En este sentido, los beneficios son sustanciales, como la reducción de costos sociales, pero en gran medida inconmensurables (FHWA, 2022). Sin embargo, ha sido posible encontrar beneficios cuantificables a través de experiencias en varios países. La Tabla 1 presenta las intervenciones relacionadas con ASV, así como sus beneficios en términos de accidentes viales.

En la Tabla 1, se mencionan diferentes países desarrollados que han logrado reducir el número de accidentes mediante la aplicación de ASV y estrategias de seguridad adicionales. Asimismo, Huvarinen et al. (2017) afirman que las auditorías pueden prevenir alrededor del 27% de los accidentes, y la relación costo-beneficio de implementar ASV en distintos países oscila entre aceptable y excelente (Garzón et al., 2017). En este orden de ideas, la OMS informa que se han tenido más avances en la reducción del número de muertes por accidentes de tránsito en los países de ingresos medios y altos que en los países de ingresos bajos. De hecho, afirma que no ha habido reducción en el número de muertes por accidentes de tránsito en ningún país de bajos ingresos desde el año 2013 (OMS, 2023).

Tabla 1. Intervenciones y beneficios de ASV

País	Intervención	Resultado
New York, Estados Unidos de América	Estados Unidos ASV Mejoras de seguridad y superficies de bajo costo Reducción del 20% al 40% en choques en más de 300 ubicación de alto choque	Reducción del 20 % al 40 % en accidentes a más de 300 ubicación de alto choque
Arizona, Estados Unidos de América	Los hallazgos de las ASV se han utilizado para actualizar las políticas y estándares del DOT	Reducción del 54% en accidentes totales y del 50 % en accidentes con lesiones mortales o incapacitantes
Florida, Estados Unidos de América	Las mejoras al diseño dan como resultado ahorros durante la vida útil de un proyecto. Un requisito ASV para permisos de diseño	Reducción del 10.8% en accidentes totales
Nueva Jersey, Estados Unidos de América	El proceso pudo identificar ubicaciones para mejoras rápidas y de bajo costo que conducirán a la mayor reducción de accidentes graves	Reducción del 25.6% en accidentes totales
Tennessee, Estados Unidos de América	Las ASV se llevan a cabo de una manera más eficiente y rentable	Reducción del 13.7% en accidentes totales y del 31.3% en accidentes con heridos
Dinamarca	Tratamientos recomendados por la ASF como mejora de iluminación, eliminación de obstáculos, implementación de dispositivos de seguridad, entre otros	Reducción de accidentes del 5% al 40%
Alemania	Implementación de ASV	Reducción del 70% de colisiones en construcciones de nuevas carreteras
Reino Unido	Implementación de ASV	Reducción del 1.25% en víctimas mortales
Irlanda	Estrategia de seguridad vial que incluye la implementación de ASV en todos los esquemas viales nacionales	Las muertes se redujeron en un 48% y un 38.8% reduce las lesiones graves

Fuente: elaboración propia con base a FHWA (2006), Road Safety Authority (2013), IDB (2018) y FHWA (2012).

El uso de una guía de evaluación o una lista de verificación puede resultar muy útil para realizar ASV. El valor de estos radica principalmente en proporcionar indicadores del estado de seguridad de una carretera y los elementos que necesitan ser revisados (Mayoral et al., 2001).

El proceso de ASV requiere de estudios de campo y listas de verificación de seguridad vial que aseguren el mejor desempeño. Es importante comprender que las listas de verificación son un medio y no el fin de las ASV. Por lo tanto, el auditor debe decidir qué y cómo utilizar estos instrumentos, que no deben incluirse en el informe final (Dourthe y Salamanca, 2003).

El propósito de las listas de verificación es ayudar al equipo de auditoría a identificar posibles problemas de seguridad y garantizar que no se pase por alto nada importante. Estas listas de verificación también pueden ser utilizadas por los ingenieros de diseño de carreteras para identificar de manera proactiva posibles problemas de seguridad a medida que desarrollan un diseño geométrico de la carretera (FHWA, 2006).

Durante el desarrollo de una ASV, es necesario revisar y analizar los principios básicos sobre los cuales se ha diseñado y construido una carretera. La FHWA (ibidem) define un proceso general para ASV con ocho pasos. Este proceso proporciona orientación detallada sobre cada paso a seguir y se adapta a las necesidades específicas de cada proyecto (ver Tabla 2).

Tabla 2. Proceso general de las ASV según la FHWA

Paso	Proceso
Paso 1	Identificar el proyecto o vía en servicio a auditar
Paso 2	Seleccionar el equipo ASV
Paso 3	Celebrar una reunión previa a la auditoría para revisar la información del proyecto
Paso 4	Realizar observaciones de campo en diversas condiciones
Paso 5	Realizar un análisis de auditoría y preparar un informe de hallazgos
Paso 6	Presentar los resultados de la auditoría al propietario del proyecto
Paso 7	El propietario del proyecto/equipo de diseño prepara una respuesta formal
Paso 8	Incorporar los hallazgos al proyecto según corresponda

Fuente: elaboración propia con base a FHWA, 2006.

3.3.3 Inspecciones de Seguridad Vial (ISV)

Una ISV se presenta en una carretera existente la cual consiste en identificar características en relación con las condiciones de seguridad que provocaran accidentes en la misma, y es efectuado por expertos en seguridad vial (PIARC, 2012). En otras palabras, es una revisión periódica de las características y defectos de seguridad vial de la carretera y sus componentes. Es un control de seguridad formal y detallado que puede inspeccionarse a partir de los datos de accidentes para identificar peligros potenciales y proponer intervenciones correctivas.

El objeto de los trabajos de ISV es garantizar que las características de seguridad de las vías concuerden con su clasificación funcional, así como detectar cualquier circunstancia que con el tiempo pudiera convertirse en un problema de seguridad. Las inspecciones no consisten en una revisión de la normativa vigente ni en una comprobación exhaustiva de los elementos de la carretera, sino en un recorrido de las carreteras con un análisis de la legibilidad y visibilidad de señales (Cuenca & Masero, 2021). Para llevar a cabo una ISV puede variar ligeramente la metodología a seguir, pero en general se siguen los siguientes pasos (ver Tabla 3):

Tabla 3. Proceso general de las ISV

Paso	Proceso
Paso 1	Identificar del proyecto y alcance
Paso 2	Seleccionar el equipo inspector
Paso 3	Recopilar información del tramo que será inspeccionado
Paso 4	Realizar una reunión inicial del organismo encargado del tramo carretero y el equipo inspector
Paso 5	Realizar visitas de campo para ejecutar la inspección
Paso 6	Elaborar informe de inspección con los hallazgos y las observaciones del equipo inspector
Paso 7	Seguimiento a la retroalimentación por parte del encargado de la operación del tramo carretero

Fuente: elaboración propia con base a Dorado, 2018.

Según el Servicio de Conservación de la Dirección General de Infraestructuras Viarias en España, distingue entre dos tipos de inspecciones, las periódicas que corresponden a comprobar características y defectos que requieran una intervención de mantenimiento y deben realizarse al menos cada 6 años. Por otro lado, las inspecciones específicas que deberán realizarse en tramos de alto riesgo con objeto de definir medidas correctivas (Ibidem).

3.3.4 Clasificación Red de Seguridad

Identifica posibles problemas de seguridad, siendo un método para identificar, analizar y clasificar la red carretera existente de acuerdo con su potencial para el desarrollo de la seguridad y el ahorro de costos por accidentes (UNECE, 2018).

Se pueden clasificar y priorizar diferentes secciones de la red según el impacto en la seguridad vial basándose principalmente en datos de accidentes, cálculos de accidentes por km y tasas de costes de accidentes.

Esta evaluación pretende analizar los riesgos de las carreteras y clasificar el nivel de seguridad de las mismas. Dicha evaluación debe realizarse de las propias características de la carretera examinadas de manera visual y del análisis de accidentabilidad registrada en función del volumen de tráfico (Llamas Rubio, 2021).

3.3.5 Tramos de alta concentración de accidentes

Este método reactivo identifica, analiza y clasifica tramos de la red carretera que operan desde hace más de tres años y en los que se ha producido un gran número de accidentes mortales en proporción al flujo de tráfico.

Ha demostrado ser eficaz y rentable en términos de reducción de los costos de los accidentes (muertes y lesiones) en comparación con los costos de implementación en donde se toman medidas en los lugares identificados donde se producen una alta concentración de accidentes (FHWA, 2006).

El procedimiento de identificación de tramos de concentración de accidentes es muy popular en diversas administraciones titulares de carreteras, mostrando buenos resultados desde hace muchas décadas con su aplicación, se considera eficiente intervenir en aquellos tramos en los que exista la mayor concentración de accidentes para obtener mayor potencial de reducción de la accidentabilidad vial (Llamas Rubio, 2021).

3.4 Índices de severidad (IS)

Los IS aplicados en materia de seguridad vial son herramientas para evaluar la gravedad de las deficiencias en una carretera y determinar las acciones correctivas y que deberían realizarse como un método de apoyo en las ASV. Estos índices se determinan según la ocurrencia y gravedad de accidentes de acuerdo a las deficiencias que presente un parámetro de diseño carretero.

Alarcón (2015) propone IS con tres niveles de gravedad a través de una revisión de la normatividad existente a nivel internacional de los diferentes elementos de la seguridad vial y una exhaustiva revisión del estado del arte referente a las ASV, teniendo en cuenta las condiciones particulares de las carreteras colombianas. Estos índices apoyan al auditor, durante el proceso de ASV, en la priorización de los aspectos de la seguridad vial que se deben intervenir con medidas correctivas para lograr una disminución significativa de la accidentalidad y su gravedad.

En general, a los IS se les asigna un valor de riesgo, los cuales se clasifican en tres niveles:

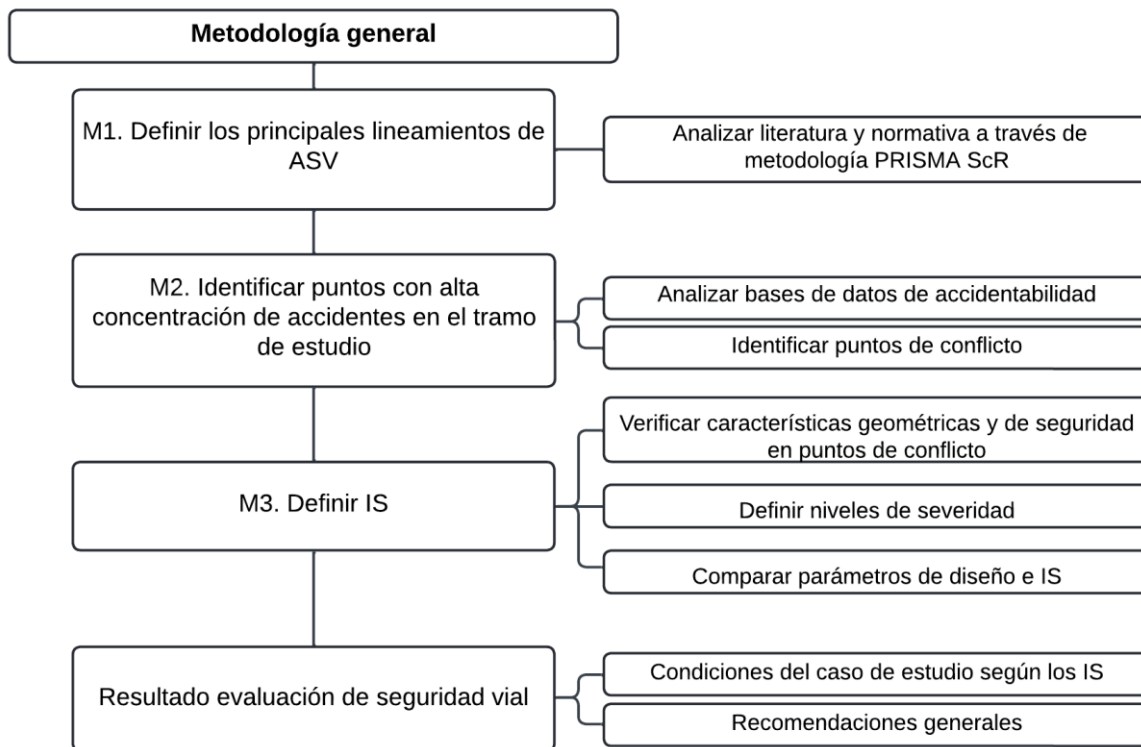
- Severidad baja: es poco probable que estas deficiencias causen un accidente o, si lo hacen, pueden ser de baja gravedad.
- Severidad media: es probable que estas deficiencias causen un accidente o, si ocurren, pueden causar un accidente más grave.
- Severidad alta: estas deficiencias pueden provocar accidentes graves o incluso mortales.

Acorde con lo anterior, se definen y proponen IS para ocho elementos viales que influyen en la seguridad vial para mejorar las condiciones de seguridad vial, y cooperar a que las medidas implementadas estén acordes con los estándares internacionales (Ibidem).

4 METODOLOGÍA

En este apartado se expone la metodología a implementar en el análisis, se detallan los elementos principales a considerar y que intervienen en la generación de IS como herramientas de medición de la seguridad vial del tramo de estudio. Siendo necesaria una revisión de normatividad enfocada en materia de seguridad vial de diferentes partes del mundo y de México, para establecer los principales lineamientos que debe de componer una ASV (M1), así como analizar los parámetros de diseño y condiciones de accidentabilidad (M2), para definir y validar los IS (M3), así como obtener resultados de su aplicación en el tramo de estudio, tal y como se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Metodología general



Fuente: elaboración propia.

4.1 Análisis y definición de los principales lineamientos de ASV (M1)

En este apartado se realizó una revisión de literatura para definir los principales lineamientos de ASV siguiendo la metodología descrita en “Elementos de informes preferidos para revisiones sistemáticas y extensión de metaanálisis para revisiones de alcance” (PRISMA-ScR por sus siglas en inglés) de Peters, 2020. Esta metodología incluye elementos esenciales de presentación de informes que deben considerarse en una revisión del alcance. Se utilizó la herramienta de gestión de referencias Rayyan (Ouzzani et al., 2016) para ayudar en la revisión de títulos y resúmenes. Durante este proceso, se excluyeron los artículos o normativa que no cumplieran con los criterios de elegibilidad o los duplicados.

4.1.1 Aplicación metodología PRISMA ScR

Se emplea la metodología PRISMA ScR para mejorar la transparencia y la calidad en la elaboración de revisiones siguiendo una guía estructurada para la identificación, selección y síntesis de la literatura científica.

4.1.1.1 Fuentes de datos y estrategia de búsqueda

Se utilizaron las bases de datos Google Scholar y Scopus. Los campos de la ciencia y la ingeniería se seleccionaron en función de su cobertura de contenido. Cabe mencionar que, durante la revisión de la literatura no se encontró ningún documento que compare los principales lineamientos utilizados en ASV en el marco nacional e internacional.

La búsqueda en las bases de datos Google Scholar y Scopus se agrupó en dos bloques: 1) clasificación de documentos: auditorías, guía, lineamientos, metodología, informe; 2) área de interés: caminos, autopistas, seguridad, vía, calzadas. Para el idioma inglés se utilizaron 1) audit, guidelines y 2) road. Además, los términos se agruparon para crear las siguientes cadenas de búsqueda utilizando operadores booleanos (AND, OR), y los criterios de elegibilidad y exclusión se definieron mediante filtros de búsqueda. Finalmente, se generaron un total de cuatro cadenas de búsqueda genéricas:

1. (auditorías OR metodología OR guía OR lineamientos OR informe) AND (seguridad OR seguridad vial OR seguridad en carreteras OR seguridad vial);
2. (auditorías OR metodología OR guía OR lineamientos OR informe) AND (carretera OR camino OR camino OR camino OR caminos);
3. (auditorías de seguridad vial OR auditorías de carreteras OR auditorías de carreteras OR auditorías de carreteras);
4. (road) AND (safety or safety audit or guidelines or guidelines for safety).

4.1.1.2 Criterios de elegibilidad y exclusión

En esta investigación solo se consideran revistas indexadas, capítulos de libros indexados y revisados por pares, estudios experimentales, informes, manuales o guías que presenten la aplicación de las guías ASV. Estas publicaciones deben publicarse y completarse en inglés o español. Posteriormente se seleccionaron las publicaciones de las 10 primeras páginas de Google Scholar, ordenadas por relevancia. Por otro lado, se excluyeron los documentos presentados en congresos que reportaban accidentes o únicamente la aplicación del ISV. Esto incluye ensayos, revistas de divulgación científica, artículos de opinión, además de manuales presentados en congresos.

Para seleccionar los estudios para el análisis, la Tabla 4 presenta los criterios de elegibilidad y exclusión relacionados con la población, el concepto y el contexto recomendados por el marco metodológico del JBI para las revisiones de alcance (Peters, 2020).

Tabla 4. Definición de población, concepto y contexto

Categoría	Incluir	Excluir
Población	Conductores, peatones y ciclistas	-
Concepto	Publicaciones que abordan ASV y seguridad vial	Publicaciones que abordan ISV, accidentes
Contexto	Países desarrollados, países subdesarrollados y países en vías de desarrollo	-

Fuente: elaboración propia con base a Dorado, 2018.

4.1.1.3 Selección de artículos

La estrategia de selección se divide en cuatro etapas; la primera etapa consiste en la “identificación” de revistas indexadas, capítulos de libros indexados y revisados por pares, informes de casos individuales, estudios experimentales, informes, manuales o guías que presenten la aplicación de las pautas ASV publicadas y completadas tanto en inglés como en español. , con una búsqueda inicial limitada en las bases de datos Google Scholar y Scopus, identificando las palabras clave establecidas en los títulos y resúmenes.

En la segunda etapa, llamada “revisión”, las publicaciones que aparecen en más de una base de datos se eliminan para excluir duplicados, y luego las publicaciones se seleccionan mediante un título y una lectura basada en resúmenes para cumplir con los criterios de elegibilidad utilizando la herramienta de software Rayyan para la revisión del alcance. En la tercera etapa, denominada “selección”, se revisan las publicaciones en texto completo para excluir aquellas que no cumplieron con los requisitos. Finalmente, en la etapa denominada “inclusión” se analizan y extraen datos de las publicaciones que cumplieron con los criterios de elegibilidad.

4.1.1.4 Extracción de datos

Después de realizar una lectura del texto completo de las publicaciones seleccionadas, se extrae la información relevante utilizando un formulario personalizado de Google, como se describe en el Anexo A.

La información recopilada se organiza en tres categorías:

1) “Características de la publicación”, tienen como objetivo caracterizar los datos de la publicación, incluyendo:

- Tipo de documento: Especificar si es un artículo, libro, etc.
- Título de la publicación.
- Autor(es) de la publicación para identificar a los principales investigadores en este campo.
- Año de publicación: Se espera que tenga publicaciones recientes y actuales.
- Año de vigencia de la guía ASV utilizada.
- Ubicación geográfica donde se aplica ASV: Se refiere al caso de estudio mencionado en la publicación.

2) “Detalles del estudio” tiene como objetivo obtener información sobre el estudio de caso, incluyendo:

- Métodos: Especificar la metodología utilizada para aplicar ASV.
- Contexto: Definir si el estudio de caso se ubica en un país desarrollado, en desarrollo o subdesarrollado.
- Participante o población: Se refiere a conductores, peatones y ciclistas. Se extraerán datos para la revisión de la literatura, incluidas solo publicaciones que incorporen análisis de impulsores.
- Herramientas: Proporcionar detalles sobre las tecnologías o software utilizados, como simuladores, paquetes informáticos, etc.

3) “Información relacionada con los estudios” presenta las variables consideradas en los estudios de caso y las metodologías propuestas para la realización del ASV, junto con sus descripciones, tales como:

- Factor humano: Identificar si se utilizó esta variable y qué elementos relacionados con el factor humano se analizaron.
- Factor vial o proyecto: Detalle si se utilizó esta variable y qué elementos relacionados al factor vial se analizaron.
- Factor vehículo: Especifique si se utilizó esta variable y qué elementos relacionados con el factor vehículo se analizaron.

4.2 Identificación de puntos con alta concentración de accidentes (M2)

Esta metodología consiste en la identificación de puntos de conflicto, considerando accidentes de tránsito registrados en un periodo de tiempo determinado, de acuerdo con la base de datos de FIARUM. El alcance espacial se define por el tramo de estudio seleccionado (ver Figura 4), considerándose para este caso de estudio el tramo montañoso. Asimismo, se utilizó análisis estadístico para el procesamiento de los datos obtenidos apoyándose de tablas dinámicas de Excel y aplicación de un modelo matemático.

4.2.1 Delimitación del tramo de estudio

En primera instancia se define el tramo de estudio, considerando las condiciones topográficas que la definen como una carretera peligrosa, así como la extensión del tramo y el volumen de accidentes que impacta en la seguridad vial de la carretera a nivel estatal. Por otro lado, se establece el periodo de estudio para el análisis de accidentabilidad dentro del rango de fechas del año 2000 al 2023, con base a la disponibilidad de datos históricos de accidentes proporcionados por FIARUM.

4.2.2 Análisis y extracción de datos

- Se realiza un análisis de la base de datos de accidentabilidad y se extrae las siguientes variables:
 - Ubicación del accidente (cadenamiento).
 - Periodo temporal del accidente.
 - Severidad del accidente (lesiones, fatalidades).
 - Tipo de accidente (choque, incendio, volcadura, salida del camino, entre otros).
 - Tipo del vehículo.
- Procesamiento de datos, realizando las siguientes acciones:
 - Limpiar y organizar los datos para su análisis.
 - Estandarizar formatos y unidades de medida.
 - Detectar y corregir errores o inconsistencias en los datos.

4.2.3 Identificación puntos de conflicto

Aplicación de técnicas de análisis espacial, tales como:

- Análisis de clusters: agrupar accidentes en función de su proximidad espacial. Logrando con este método una agrupación de elementos de un conjunto, según sus características.
- Densidad de puntos: identificar puntos con alta concentración de accidentes.
- Obtención de estadísticos tales como la media, varianza y desviación estándar.
- Aplicación e interpretación del método estadístico -matemático

4.2.3.1 Método estadístico - matemático

El Teorema del Límite Central (TLC) y la Regla 68-95-99.7 son conceptos fundamentales en estadística ampliamente aplicados en diversas disciplinas para analizar, interpretar y tomar decisiones basadas en datos. Entre los que se destacan su implementación en procesos de control de calidad y manufactura en industrias para monitorear y mejorar la calidad de los productos, asegurando que los procesos de producción estén bajo control estadístico, en educación para interpretar puntajes de pruebas estandarizadas (Bhandari, 2023), así como en investigación científica y análisis de datos para interpretar resultados de experimentos (Pérez-Rodríguez & Zwietering, 2012); y además, en el área médica (Yan et al., 2021), por mencionar algunos.

Del mismo modo, los estudios demuestran cómo este tipo de método se aplican en diferentes campos de la investigación científica para analizar e interpretar datos, asegurando precisión y validez en los resultados obtenidos. Sin embargo, en el sector carretero se ha aplicado para el análisis de grandes volúmenes de tráfico (Taïpe, 2019), por lo que estas herramientas permitirán evaluar el impacto de los lineamientos y medidas de seguridad vial a lo largo del tiempo.

Para identificar patrones y tendencias en la distribución espacial de los accidentes matemáticamente se propuso en esta investigación hacer un análisis estadístico del conjunto de datos obtenido en la base de datos consultada. Para considerar un análisis básico, un histograma puede ser utilizado para analizar la forma y dispersión de los datos observados en cada ubicación espacial específica. Un histograma funciona mejor cuando el tamaño de la muestra es al menos de 20 según Minitab Statistical Software (2021). Sin embargo, de los resultados se espera realizar un análisis estadístico replicable, seleccionando un tamaño de muestra que nos permitiría obtener estimaciones confiables de la media y la varianza, asegurar la normalidad de la distribución según el TLC, reducir el error estándar, aumentar la potencia estadística, manejar adecuadamente la heterogeneidad de los datos.

En esta sección se presenta el método aplicado, que incluye un enfoque detallado para identificar puntos de conflicto. Este enfoque se basa en localizar puntos donde la cantidad de accidentes supera 1, 2 o 3 desviaciones estándar (σ) por encima de la media (μ) de la población. Este análisis está fundamentado en la Regla 68-95-99.7 (Salvatore, 2021), que establece que en una distribución normal:

- Aproximadamente el 68% de los datos se encuentran dentro de una desviación estándar de la media.
- Aproximadamente el 95% de los datos se encuentran dentro de dos desviaciones estándar de la media.
- Aproximadamente el 99.7% de los datos se encuentran dentro de tres desviaciones estándar de la media.

La lógica empleada en este análisis permite determinar los puntos en conflicto si la cantidad de accidentes en esa ubicación de la carretera supera 1, 2 o 3 desviaciones estándar por encima de la media. Este enfoque establece umbrales cuantitativos precisos para definir la normalidad en una distribución de datos. Esta metodología proporciona un criterio claro y objetivo para identificar puntos en conflicto con el fin de asegurar un análisis robusto y replicable para diferentes casos de estudio montañosos. Al basarse en principios estadísticos bien establecidos, este método facilita la identificación de puntos críticos.

4.3 Definición de IS (M3)

En este apartado se desarrolla una metodología para la evaluación de la seguridad vial en puntos de conflicto, que considera: verificación de características geométricas y de seguridad en puntos de conflicto del caso de estudio, definición de niveles de severidad y comparativa de parámetros de diseño con los IS.

Dicha metodología se aplica a la evaluación de la seguridad vial en puntos de conflicto específicos, previamente identificados. Por lo que, fue necesario del apoyo del software Minitab Statistical Software para ejecutar funciones estadísticas-matemáticas básicas y avanzadas para la identificación de las tendencias y relaciones de la red de datos.

4.3.1 Verificación de características geométricas y de seguridad en puntos de conflicto

Se realiza un análisis de los parámetros de diseño del caso de estudio y sus características de operatividad y seguridad vial.

4.3.1.1 Recopilación de información

Obtener información detallada sobre el diseño geométrico y la infraestructura vial en los puntos de conflicto, realizando las actividades que a continuación se mencionan.

- **Inspección de campo:** Realizar una inspección visual detallada de los puntos de conflicto, considerando aspectos como:
 - Estado de la superficie del pavimento y señalización vial.
 - Presencia de obstáculos o elementos que puedan afectar la seguridad vial.
- **Levantamiento topográfico:** Consulta de levantamiento topográfico preciso del área de estudio, incluyendo:
 - Dimensiones y geometría del tramo.
 - Pendientes.
 - Radio.
 - Grado de curvatura.
 - Sobreelevación.
 - Velocidades.
 - Señalamiento horizontal y vertical.
 - Dispositivos de seguridad vial (barreras).
 - Ancho de calzada, carriles y acotamiento.

4.3.2 Definición de niveles de severidad

Para implementar un análisis específico de los IS en estos puntos, se emplea la correlación de Pearson como una medida estadística para evaluar la fuerza y la relación entre dos variables. Calculando la correlación de Pearson, se podría determinar si existe una relación significativa entre el lineamiento con la incidencia de accidentes. Entre sus aplicaciones prácticas en la investigación se encuentran el área clínica (Overko, 2022), así como en materia de ingeniería electrónica en el análisis de procesamiento de señales (Mendhe et al., 2015).

Algunas revistas académicas específicas publican artículos relacionados con la implementación de la correlación de Pearson en diversas investigaciones, principalmente aquellas con áreas temáticas en la investigación médica y métodos estadísticos.

La correlación de Pearson, también conocida como coeficiente de correlación de Pearson (r), se define matemáticamente como:

$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Donde:

X_i y Y_i son los valores individuales de las variables X y Y

$\bar{X}$ y $\bar{Y}$ son las medias de las variables X y Y

El valor de r oscila entre -1 y 1:

$$r = 1$$

$$r = -1$$

$$r = 0$$

Se interpreta como una correlación

- Positiva: Un valor positivo indica que, a medida que una variable aumenta, la otra también tiende a aumentar.
- Negativa: Un valor negativo indica que, a medida que una variable aumenta, la otra tiende a disminuir.
- Cercano a 0: Indica poca o ninguna relación lineal.

Previamente realizado el análisis matemático, se definen los IS en los puntos de conflicto, según su severidad en tres niveles (Alarcón, 2015).

- Severidad baja: es poco probable que los parámetros y sus deficiencias causen un accidente.
- Severidad media: es probable que estos parámetros y sus deficiencias causen un accidente o, si ocurren, pueden causar un accidente más grave.
- Severidad alta: estas deficiencias pueden provocar accidentes graves o incluso mortales.

4.3.3 Comparativa entre parámetros de diseño e IS

Finalmente, se hace un análisis comparativo entre los establecido en los diferentes IS desarrollados en esta investigación con los lineamientos de diseño expuestos en la normatividad nacional, específicamente en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, SCT, elaborado en el 2018, y determinar la similitud de los parámetros expuestos en los niveles de severidad con los estipulados en dicho manual.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

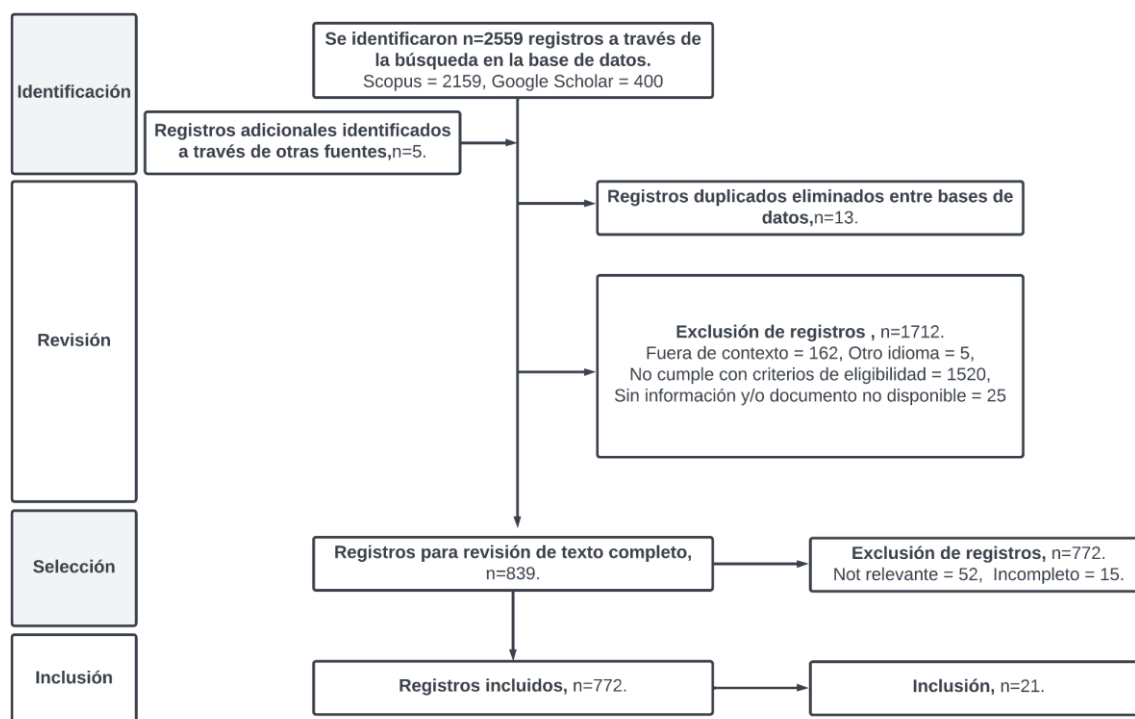
5.1 Análisis y definición de los principales lineamientos de ASV

En este apartado se presentan los resultados obtenidos del análisis documental y normativo para llegar a definir los principales lineamientos de ASV, que definieron los IS expuestos más adelante.

5.1.1 Búsquedas

En la Figura 10, se muestran los resultados de la búsqueda a través de un diagrama de flujo siguiendo la extensión PRISMA-ScR. Los datos extraídos incluyen detalles específicos sobre los factores y hallazgos relevantes encontrados en cada publicación que permiten responder a la pregunta de investigación. Además, incluye detalles sobre el contexto en el que se realizó la investigación, los participantes involucrados y los métodos de estudio utilizados. La información relevante se extrae del texto completo de los artículos seleccionados mediante un formulario personalizado de Google. Consulte el Anexo A para obtener más detalles.

Figura 10. Diagrama de flujo PRISMA-ScR del proceso de selección y cribado de literatura



Fuente: elaboración propia.

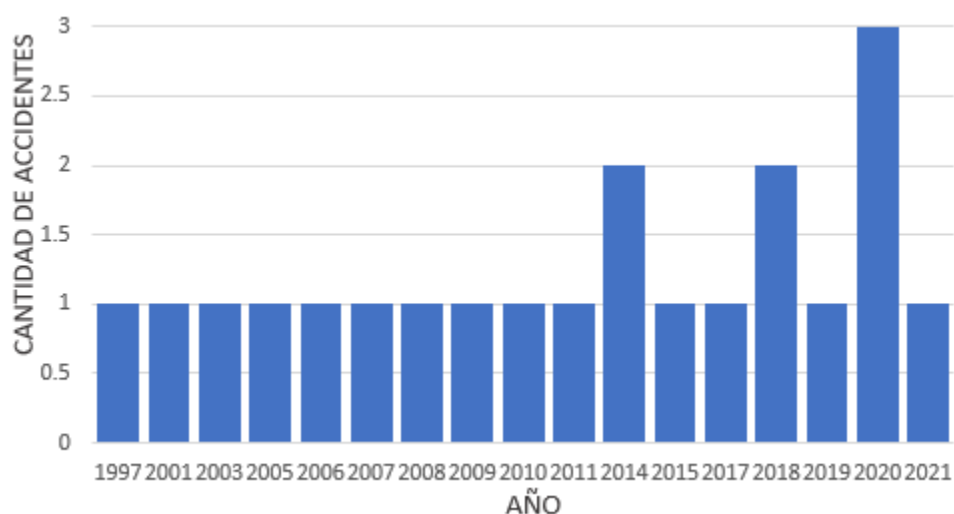
El proceso inició mediante búsquedas en las bases de datos Google Scholar y Scopus, donde se identificaron un total de 2559 publicaciones y se añadieron 5 a través de otras fuentes, de las cuales 13 fueron eliminadas por ser duplicados. Por tanto, se examinaron los títulos y resúmenes de 2551 publicaciones. Posteriormente, fueron excluidas 1712 publicaciones por los siguientes motivos: fuera de contexto ($n = 162$); escrito en un idioma distinto al de los criterios de elegibilidad establecidos ($n = 5$); no cumplir con los criterios de elegibilidad ($n = 1520$); y falta de información o acceso al documento, marcado como error ($n = 25$).

Las 839 publicaciones restantes fueron seleccionadas para una evaluación adicional, que implicó una revisión del texto completo. Se descartaron un total de 67 publicaciones por considerarse irrelevantes ($n = 52$) o por no estar disponible el documento completo ($n = 15$), quedando un total de 772 publicaciones. Además, se aplicó un filtrado final, seleccionando un total de 21 publicaciones que presentaban manuales de ASV y estudios de casos para esta revisión de la literatura.

5.1.2 Características de los estudios

Los estudios seleccionados para el análisis ($n = 21$) fueron clasificados por año de publicación, tipo y contexto. Al respecto, la Figura 11 muestra que los estudios, incluyendo auditorías, lineamientos, marcos, metodologías para lograr el ASV y su implementación, fueron publicados a partir del año 2000 en adelante. Se considera una revisión reciente, representando el 52.38% de los estudios de la última década (11), y el 47.62% (10) de años anteriores.

Figura 11. Estudios publicados por año



Fuente: elaboración propia.

5.1.3 Estándares de datos

Se reconoce la importancia de las directrices y metodologías en el ámbito de la seguridad vial, así como de las normas ASV. Por lo tanto, esta investigación se centra en el análisis e identificación de lineamientos a través de la revisión de 21 documentos entre los que se encuentran metodologías, guías y reportes, con base en la disponibilidad de publicaciones y la aplicación de ASV. Estos representan economías en diferentes niveles, clasificadas según su contexto. La revisión del alcance incluyó parámetros, métodos, lineamientos, factores y beneficios en la implementación de ASV. Por tanto, los estándares de datos aseguran que la información seleccionada e interpretada por la metodología sea correcta.

Se segmenta para presentar la lista de nombres de estudios y años de publicación de los estudios revisados, como parte fundamental del análisis es clasificar cada publicación según su contexto, categorizándolas en países desarrollados como: Estados Unidos, Francia, Reino Unido y Rusia; países en vías de desarrollo como Bosnia y Herzegovina, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, India, Indonesia y México; y países subdesarrollados como Bangladesh, Camboya y Nepal. Además, también se considera el caso específico de América Latina y el Caribe, que comprende tanto países subdesarrollados como países en desarrollo (ver Tabla 5 y 6).

Tabla 5. Listado de documentos revisados en países desarrollados y subdesarrollados

Contexto	País	Guía, metodología, manual y/o normativa	Año	Contexto	País	Guía, metodología, manual y/o normativa	Año
Desarrollados	Estados Unidos de América	FHWA Pedestrian Road Safety Audit Guidelines and Prompt Lists (Nabors et al., 2007)	2007	Subdesarrollados	Bangladesh	Guidelines for Road Safety Audit, Roads and Highways Department (RHD,2005)	2005
		FHWA Road Safety Audit Guidelines, US Department of Transportation (FHWA, 2006)	2006		Camboya	Safety Audit of Construction Drawing Design of the NR3 Highway Reconstruction & Expansion Project and Traffic Safety Developing Suggestion in Cambodia (Gong et al., 2020)	2020
	Francia	Road Safety Audit Guidelines for Safety Checks of New Road Projects - PIARC (PIARC, 2011)	2011		Nepal	Road Safety Audit Manual, Department of Roads (Traffic Engineering & Safety Unit Design Branch, 1997)	1997
		Guidelines for Road Safety Audit, Institution of Highways and Transportation (Carpenter, 2008)	2008		América Latina y el Caribe*	Guía técnica para la aplicación de Auditorías de Seguridad Vial en los países de América Latina y el Caribe (Pineda et al., 2018)	2018
		Design manual for roads and bridges HD19/15 (Transport, Department for & Highways Agency of London, 2015)	2015			*Comprende tanto países subdesarrollados como países en vías de desarrollo.	
	Rusia	Road safety research in a safety audit (Mukhametshina & Zagidullin, 2021)	2021				

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Lista de documentos revisados en países en vías de desarrollo

Contexto	País	Guía, metodología, manual y/o normativa	Año	Contexto	País	Guía, metodología, manual y/o normativa	Año
En vías de desarrollo	Bosnia y Herzegovina	Road Safety Audit and Road Safety Inspection on the TEM network - UNECE (Strnad, 2018)	2018	En vías de desarrollo	Ecuador	Reporte de ASV: Auditoría En Seguridad Vial de la carretera de primer orden Riobamba – Pallatanga (Gómez & Gómez, 2014)	2017
		Guía para Realizar una Auditoría de Seguridad Vial (Dourthé & Salamanca, 2003)	2003		India	Manual on Road Safety Audit, Indian Roads Congress (Indian Roads Congress, 2010)	2010
	Colombia	Reporte de ASV: Guía base para la elaboración de informes de Auditorías e Inspecciones de Seguridad Vial para vías concesionadas de Colombia (Roman, 2020)	2020		Indonesia	Safety audit of Becakayu toll road (Setyarini et al., 2020)	2020
		Reporte de ASV: Auditoría de Seguridad Vial en los accesos e intercambiadores viales en la zona de movilidad del Aeropuerto de Bogotá – El Dorado (Angulo & Giraldo, 2019)	2019		México	Auditorías de Seguridad Vial de carreteras en operación (Mendoza et al., 2009)	2009
		Reporte de ASV: Auditorías de Seguridad Vial. Ejemplo de aplicación metodológica (Garzón et al., 2017)	2017			Auditorías en Seguridad Carretera. Procedimientos y prácticas (Mayoral et al., 2001)	2001
	Costa Rica	Reporte de ASV: Desarrollo de Auditorías y Evaluaciones De Seguridad Vial en Costa Rica (Chaverri et al., 2014)	2014				

Fuente: elaboración propia.

Las tablas presentadas muestran 11 metodologías distintas empleadas en la creación de guías para la aplicación de ASV y 10 reportes de aplicación de ASV. Cada metodología es evaluada en función de varios criterios, incluyendo su enfoque, aplicabilidad, y los principales componentes que aborda. La comparación de estas 11 metodologías revela una diversidad en enfoques y herramientas, algunas proyectando el procedimiento estándar a seguir. La elección de la metodología adecuada dependerá del contexto local, los recursos disponibles, y los objetivos específicos de la ASV. Sin embargo, todas comparten el objetivo común de mejorar la seguridad vial a través de un análisis riguroso y la implementación de medidas basadas en datos.

De las publicaciones analizadas se incluyen lineamientos sobre los principios básicos del diseño y construcción de carreteras, así como metodologías y recomendaciones para la seguridad de los usuarios en la red. Algunas de estas publicaciones también proporcionan una estructura para el informe de ASV, incluido el nombre del auditor, el tramo o camino auditado y las recomendaciones emitidas.

Una vez realizada la revisión de la literatura, es posible identificar y agrupar los lineamientos más utilizados en un ASV, lo que da como resultado un total de 10 como los principales, tomando en cuenta factores humanos y relacionados con las carreteras (ver Tabla 7).

Tabla 7. Agrupación de los principales lineamientos utilizados en un ASV

L1 - Lineamiento 1	Datos de accidentes.
L2 - Lineamiento 2	Informes de auditorías anteriores.
L3 - Lineamiento 3	Percepción visual del usuario.
L4 - Lineamiento 4	Necesidades del peatón y ciclista.
L5 - Lineamiento 5	Diseño geométrico incluyendo: pendientes transversales, intersecciones (forma de cruce, posición, ángulo y distancia visual), trazado de la carretera, alineación horizontal, alineación vertical, datos de volumen, datos de velocidad, resistencia al deslizamiento de la superficie de la carretera, planos de diseño, distancia de visibilidad, tipo de carretera.
L6 - Lineamiento 6	Señalamiento horizontal y vertical e iluminación.
L7 - Lineamiento 7	Dispositivos de seguridad, mobiliario vial (barreras, bádenes), áreas de descanso, áreas de servicio.
L8 - Lineamiento 8	Obras adicionales como zonas de trabajo, drenajes, puentes, obras complementarias.
L9 - Lineamiento 9	Operación del camino como: semáforos, gestión del tráfico, clasificación funcional de las carreteras.
L10 - Lineamiento 10	Otros aspectos externos (plantas, vegetación, clima, características naturales, distracciones visuales).

Fuente: elaboración propia.

Para un análisis más estructurado y eficiente, se agrupan los principales lineamientos de las metodologías de Auditorías de Seguridad Vial (ASV) según el factor de seguridad al que corresponden. Esta categorización facilita la identificación de áreas clave y permite una mejor evaluación de los distintos aspectos de seguridad involucrados en la red vial.

El L1 y L2 se enfocan en los antecedentes específicos del caso de estudio. Esto incluye la recopilación y análisis de datos históricos sobre accidentes y la evaluación de las condiciones actuales del tramo carretero en cuestión. Por otro lado, los L3 y L4 se relacionan con el factor humano y sus necesidades. Los L5, L6, L7, L8 y L9 se centran en la red vial. La mayoría de estos lineamientos involucran aspectos relacionados con la infraestructura carretera, tales como el diseño geométrico, la señalización, la calidad del pavimento, y la gestión del tráfico. Finalmente, el L10 abarca aspectos externos que, si bien no son parte de la red vial, se presentan al entorno de ella.

En la Tablas 8,9,10 se muestran por cada documento revisado, qué lineamientos son los que toma en cuenta su análisis, y en relación con los 10 mencionados anteriormente. Cabe mencionar que, estas tablas se agrupan a partir de los diferentes contextos, para una mejor presentación de los resultados.

Tabla 8. Principales lineamientos utilizados en ASV en países desarrollados

Contexto	País	Guía, metodología, manual y/o normativa	Factor humano				Factor vial					
			G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Desarrollado	Estados Unidos de América	Reporte de ASV: FHWA Pedestrian Road Safety Audit Guidelines and Prompt Lists, 2007			√	√	√	√	√		√	√
		FHWA Road Safety Audit Guidelines, US Department of Transportation, 2006			√	√	√	√	√		√	√
	Francia	Road Safety Audit Guidelines for Safety Checks of New Road Projects - PIARC, 2011	√			√	√	√		√		√
	Reino Unido	Guidelines for Road Safety Audit, Institution of Highways and Transportation, 2008			√	√	√	√	√	√		√
		Design manual for roads and bridges HD19/15, 2015			√	√	√	√	√	√		√
	Rusia	Road safety research in a safety audit, 2021			√		√	√			√	√

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Principales lineamientos utilizados en ASV en países en vías de desarrollo

Contexto	País	Guía, metodología, manual y/o normativa	Factor humano				Factor vial					
			G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
En vías de desarrollo	Bosnia y Herzegovina	Road Safety Audit and Road Safety Inspection on the TEM network - UNECE, 2018		√			√	√	√		√	
	Chile	Guía para Realizar una Auditoría de Seguridad Vial, 2003	√				√	√	√	√	√	√
	Colombia	Guía base para la elaboración de informes de Auditorías e Inspecciones de Seguridad Vial para vías concesionadas de Colombia, 2020	√			√	√					√
		Auditoría de Seguridad Vial en los accesos e intercambiadores viales en la zona de movilidad del Aeropuerto de Bogotá – El Dorado, 2019		√	√		√	√				
		Auditorías de Seguridad Vial. Ejemplo de aplicación metodológica, 2017		√	√		√					
	Costa Rica	Desarrollo de Auditorías y Evaluaciones De Seguridad Vial en Costa Rica, 2014	√			√	√	√	√	√		
	Ecuador	Auditoría En Seguridad Vial de la carretera de primer orden Riobamba – Pallatanga, 2014	√		√		√	√				√
	India	Manual on Road Safety Audit, Indian Roads Congress, 2010					√	√				
	Indonesia	Safety audit of Becakayu toll road, 2020	√				√	√	√	√		
	México	Auditorías de Seguridad Vial de carreteras en operación, 2009	√			√	√	√	√	√	√	
		Auditorías en Seguridad Carretera. Procedimientos y prácticas, 2001				√	√	√		√		

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Principales lineamientos utilizados en ASV en países subdesarrollados

Contexto	País	Guía, metodología, manual y/o normativa	Factor humano				Factor vial					
			G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Subdesarrollados	Camboya	Safety Audit of Construction Drawing Design of the NR3 Highway Reconstruction & Expansion Project and Traffic Safety Developing Suggestion in Cambodia, 2020	√		√		√	√				√
	Nepal	Road Safety Audit Manual, Department of Roads, 1997	√				√		√			
	América Latina	Guía técnica para la aplicación de Auditorías de Seguridad Vial en los países de América Latina y el Caribe, 2018					√	√	√	√	√	

Fuente: elaboración propia.

Las tablas muestran la presencia de distintos lineamientos en una serie de documentos analizados. A continuación, se presenta un análisis detallado de la frecuencia con la que cada lineamiento aparece en estos documentos:

L1 es mencionado en el 43% de los documentos, indicando una relevancia moderada en las metodologías aplicadas. Esto sugiere que es un componente importante pero no universalmente reconocido en todas las guías revisadas.

L2 aparece en el 14% de los documentos, lo que indica que es un aspecto menos frecuente en las metodologías. Su menor presencia puede sugerir que es relevante solo en contextos específicos o bajo ciertas condiciones.

Tanto L3 como L4 están presentes en el 48% de los documentos. La frecuencia moderadamente alta de estos lineamientos refleja su importancia considerable en las guías de aplicación de ASV, aunque no son los más prevalentes.

L5 está presente en todos los documentos revisados, lo que destaca su importancia crítica. Es un lineamiento esencial que todas las metodologías consideran indispensable para la evaluación de la seguridad vial.

Con una presencia del 81%, L6 es uno de los lineamientos más frecuentemente citados. Esto refleja su relevancia sustancial y su aplicación en las metodologías de ASV.

L7 aparece en el 57% de los documentos, indicando que más de la mitad de las metodologías lo consideran importante. Esto sugiere que es un componente significativo, pero no universalmente requerido.

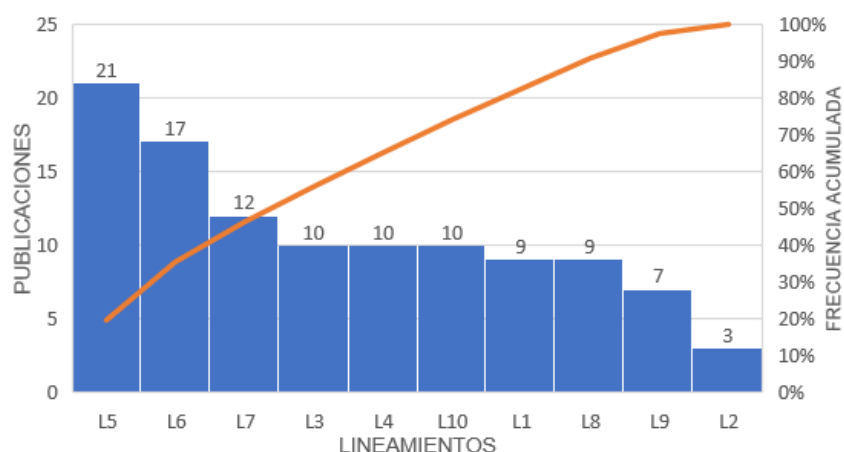
L8 está presente en el 43% de los documentos, similar a L1. Su frecuencia moderada indica que es valorado en muchas metodologías, pero no es un componente central.

L9 aparece en el 33% de los documentos, lo que sugiere que es un lineamiento relevante pero menos común. Su inclusión puede depender de contextos específicos o de las particularidades de ciertos estudios.

L10 está presente en el 48% de los documentos, igual que L3 y L4. Esta frecuencia refleja su importancia considerable en casi la mitad de las metodologías revisadas.

Cabe señalar que las guías más frecuentemente aplicadas son L5, L6 y L7, representando el 46,3% de la frecuencia relativa acumulada pertenecientes al factor vial (ver Figura 12). Esto podría indicar que, por la frecuencia de aplicación en los países considerados, estos lineamientos son los más relevantes a la hora de formular una guía, metodología, manual o estándar para ASV. Otros lineamientos, como L2 y L9, tienen una menor frecuencia, sugiriendo que son relevantes en contextos más específicos. Este análisis ayuda a identificar cuáles son los componentes esenciales y cuáles son más contextuales en las guías de aplicación de auditorías de seguridad vial.

Figura 12. Frecuencia de aplicación de lineamientos



Fuente: elaboración propia.

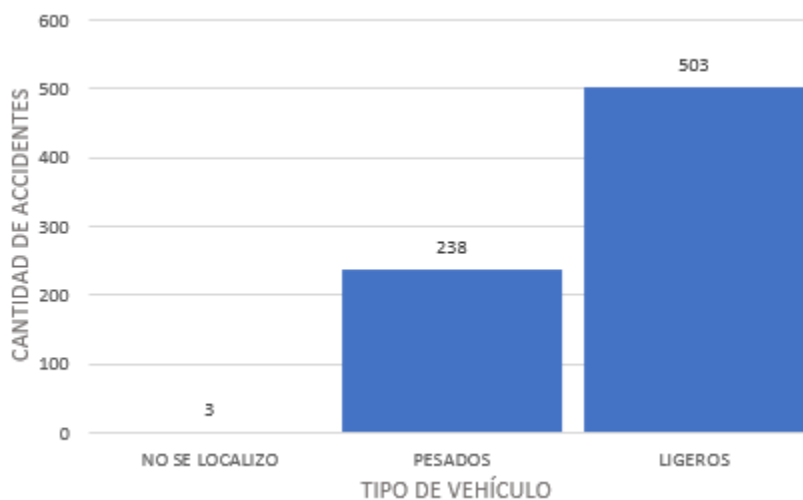
De la revisión y análisis, se determinó que los lineamientos de mayor incidencia son los relacionados con el diseño geométrico (L5), que incluye consideraciones como pendiente transversal, diseño de intersecciones, alineación vial, alineación horizontal y vertical, volumen y velocidad, resistencia al deslizamiento de la carretera, distancia de visibilidad y tipo de carretera.

Además, los lineamientos relacionados con la señalización horizontal y vertical, la iluminación (L6), los lineamientos que abarcan los dispositivos de seguridad y el mobiliario vial (barreras, delineadores, reductores de velocidad), así como áreas de descanso y áreas de servicio (L7) también jugar un papel importante. Vale la pena señalar que estos tres lineamientos pertenecen al factor vial. Para definir los IS se consideraron los lineamientos: pendiente, grado de curvatura, sobreelevación, barrera de protección a orilla de corona.

5.2 Identificación de puntos de conflicto con alta concentración de accidentes en tramo de estudio

De acuerdo con la base de datos de FIARUM del periodo 2000 a 2023 del caso de estudio, la autopista cuyas condiciones geométricas y topográficas la definen como conflictiva tras los múltiples accidentes presentados. A partir del análisis del tramo montañoso en ambos sentidos, ascenso y descenso, se registraron 3453 accidentes con una media aproximada de 144 accidentes por año. Siendo los vehículos pesados los de mayor incidencia en accidentes superando a los ligeros con un 5% para cualquier sentido. Los accidentes según el tipo de vehículo involucrado por sentido se distribuyeron de la siguiente manera (Ver Figura 13 y 14).

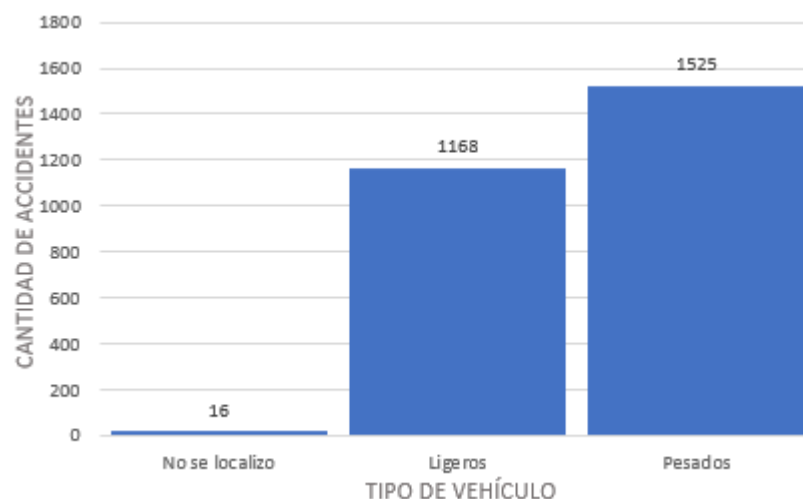
Figura 13. Tipo de vehículos involucrados en ascenso del tramo de estudio



Fuente: elaboración propia.

A partir de la figura se puede observar que en ascenso los vehículos ligeros se presentan con 47.3% mayor ocurrencia que los pesados (ver Figura 13). Correspondiéndole a los ligeros el 67%, el 32% a los pesados y aproximadamente el 1% a los vehículos no localizados según lo establecido en la base de datos proporcionada por FIARUM.

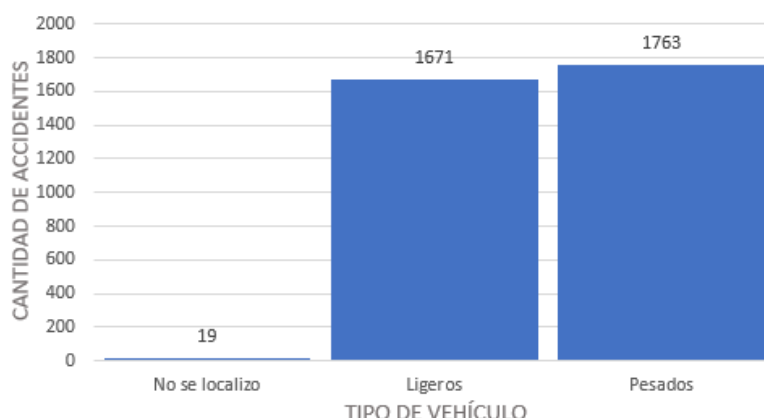
Figura 14. Tipo de vehículos involucrados en descenso del tramo de estudio



Fuente: elaboración propia.

En descenso los vehículos que más incidencia tienen en accidentes son los pesados con un 56%, los ligeros un 43% y aquellos vehículos que no se localizaron según lo establecido en la base de datos por FIARUM corresponde al 1% (ver Figura 14).

Figura 15. Cantidad de vehículos involucrados en ascenso y descenso del tramo de estudio

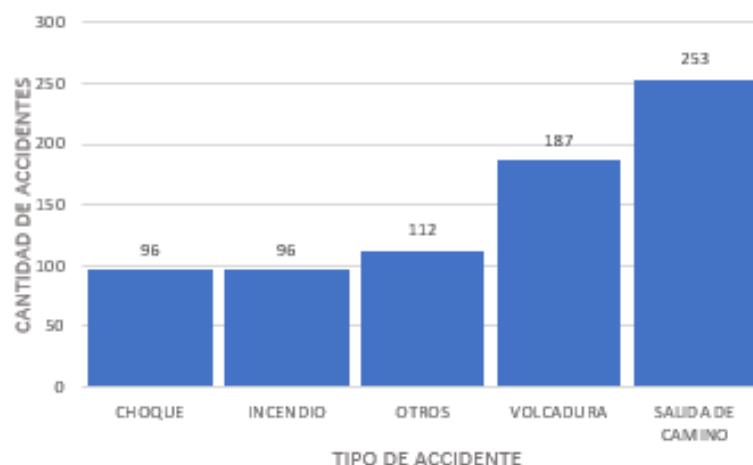


Fuente: elaboración propia.

La Figura 15 muestra la cantidad de accidentes en descenso y ascenso clasificados según el tipo de vehículo involucrado, vehículos ligeros y vehículos pesados. Además, incluye una categoría adicional para los casos en los que no se pudo determinar el tipo de vehículo. Al analizar estos datos, se observa que los vehículos pesados registran el mayor número de accidentes con un total de 1763, lo que representa el 51% del total de accidentes. Por otro lado, los vehículos ligeros tienen 1671 accidentes, equivalentes al 48.4% del total. La categoría "No se localizó" cuenta con una cantidad muy pequeña de accidentes, 19 en total, lo que constituye solo el 0.6% de los casos. Aunque la diferencia no es muy significativa, destaca que los accidentes con vehículos pesados son más frecuentes en accidentabilidad dentro del tramo de estudio.

En la limpieza y manejo de datos de la base de FIARUM, para este estudio se clasificaron los accidentes en: volcadura, choque, salida del camino, incendio, otros (falla del vehículo, derrape). En la Figura 16 se puede observar el tipo de accidente de mayor acontecimiento en ascenso.

Figura 16. Tipos de accidentes en ascenso del tramo de estudio

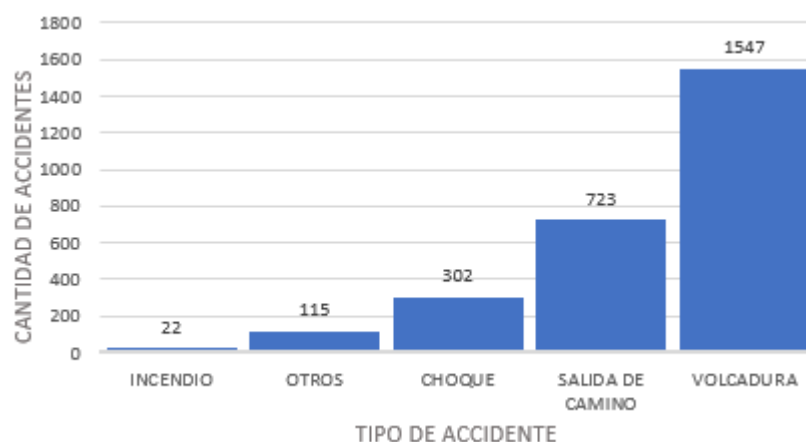


Fuente: elaboración propia.

La Figura 16 muestra la distribución de accidentes por tipo, en ascenso. Los choques como los incendios presentan una incidencia baja con un total de 96 accidentes cada uno (25.8% entre ambos), lo que los posiciona como los accidentes de menor incidencia en este tramo. Por otro lado, los accidentes clasificados como "otros" alcanzan un total de 112 (15%), mostrando una ligera mayor ocurrencia en comparación con los choques e incendios. Las volcaduras suman un total de 187 accidentes (25.13%). Sin embargo, el tipo de accidente más común en este tramo de ascenso son las salidas de camino, con un total de 253 incidentes registrados lo equivalente a 34%.

La Figura 17 presenta un análisis detallado de los tipos de accidentes en descenso, que incluyen incendios, otros incidentes, choques, salidas de camino y volcaduras. Según los datos proporcionados, las volcaduras son el tipo de accidente más común, representando el 57.1% del total de accidentes, seguidas de las salidas de camino que corresponden al 26.7%. Los choques constituyen el 11.2% de los accidentes, mientras que los incidentes categorizados como "otros" representan el 4.2%. Los incendios son el tipo menos frecuente, abarcando solo el 0.8% del total de accidentes registrados.

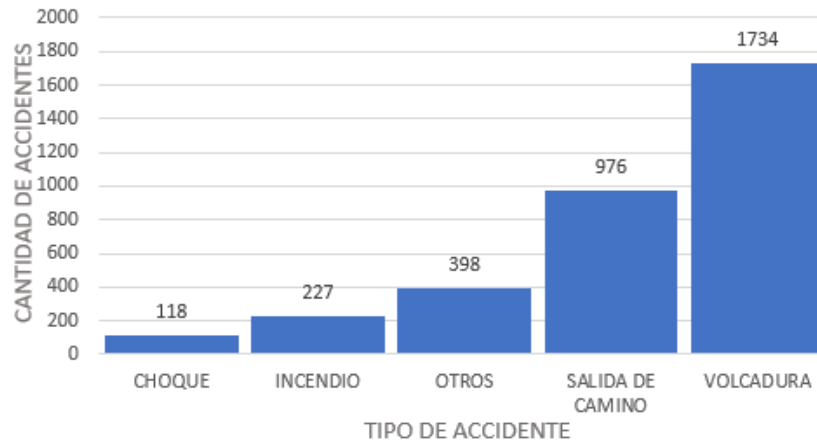
Figura 17. Tipos de accidentes en descenso del tramo de estudio



Fuente: elaboración propia.

La Figura 18 presenta un desglose de los diferentes tipos de accidentes identificados en el tramo de estudio, incluyendo volcaduras, salidas de camino, otros incidentes, incendios y choques, junto con el porcentaje correspondiente del total de accidentes. Se destaca que las volcaduras son el tipo de accidente más predominante, representando el 50.2% del total registrado, seguido de las salidas de camino que constituyen el 28.3%. Los incidentes clasificados como "otros" abarcan el 11.5%, mientras que los incendios representan el 6.6% del total de accidentes y los choques son el tipo menos frecuente, abarcando solo el 3.4% del total de accidentes documentados.

Figura 18. Tipos de accidentes del tramo de estudio



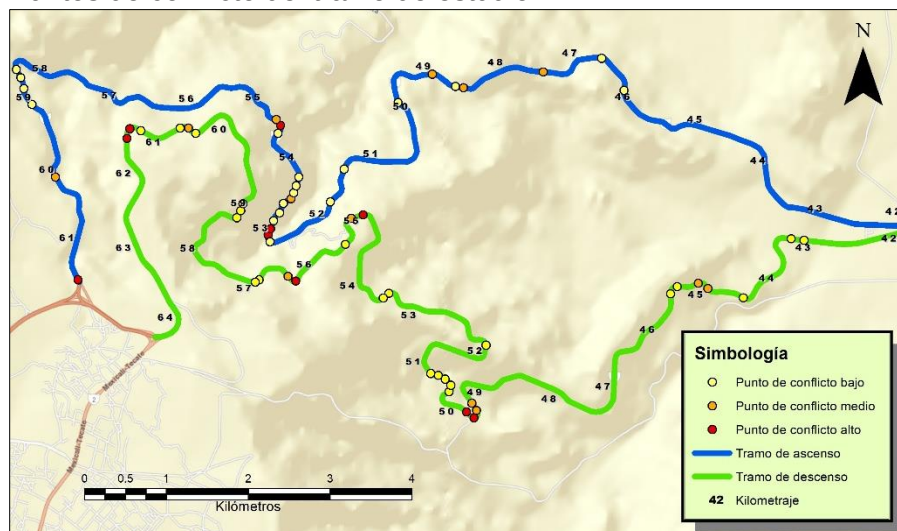
Fuente: Elaboración propia.

Una vez recopilada y analizada la base de datos, el análisis de densidad y clúster de las ubicaciones permite visualizar en qué punto se suscitaron los accidentes (ver Anexo B), obteniéndose en términos estadísticos, del conjunto de datos ($n = 671$) de ubicaciones con registro de accidentes a lo largo de los 24 años, una media aproximada de tres accidentes por ubicación y una desviación estándar de 2.97 en ascenso, por otro lado en descenso se obtuvieron una de media de seis accidentes y desviación estándar de 11.88; lo cual indica que se tiene una esperanza mayor de ocurrencia de accidentes por ubicación en el descenso del tramo de estudio que ascenso.

5.2.1 Aplicación de la Regla 68-95-99.7

A partir de los valores estadísticos previamente calculados se aplicó la Regla 68-95-99.7, para establecer los puntos de conflicto del tramo de estudio (ver Figura 19). Estas se definen como puntos de conflicto porque se encuentran uno, dos o tres desviaciones estándar encima de la media de accidentes, siendo la media una medida para establecer cuantitativamente cuántos accidentes se puede considerar que debe tener una ubicación de acuerdo a la distribución de accidentes (ver Tabla 11).

Figura 19. Puntos de conflicto del tramo de estudio



Fuente: elaboración propia.

Tabla 11. Resultado de análisis según la Regla 68-95-99.7

Accidentes				
	Media	1σ	2σ	3σ
Ascenso	3	6	9	12
Descenso	6	17	29	41

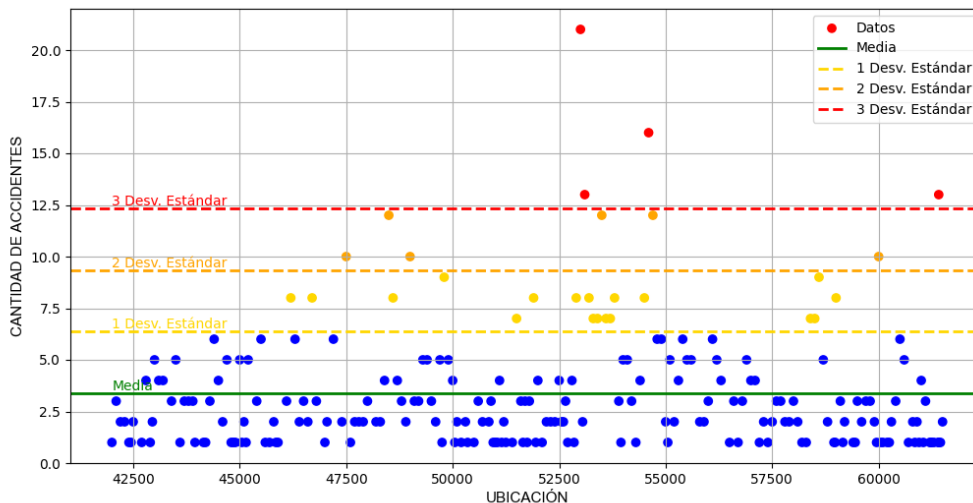
Fuente: elaboración propia.

Los valores presentados en la tabla son la media, es decir la esperanza de que suceda un accidente tanto en tramo de ascenso como de descenso, sin embargo, también existen valores atípicos, que superan a la media por encima de una, dos y tres desviaciones estándar (σ).

En el tramo de ascenso se identificaron un total de 28 ubicaciones, detalladamente se encuentran cuatro ubicaciones con al menos 12 accidentes, 10 ubicaciones tienen al menos nueve accidentes, 28 ubicaciones tienen al menos seis accidentes cada una, definiéndose como puntos de conflicto sobresalientes, ya que la cantidad de accidentes en estos lugares exceden tres, dos y una desviación estándar respectivamente de la media de accidentes (ver Figura 20).

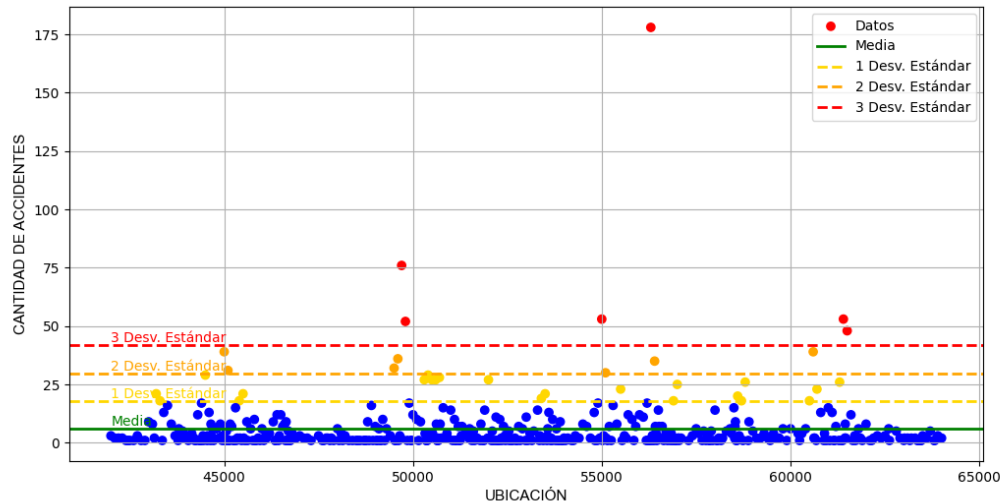
De la misma manera se identifica que en descenso se obtuvo seis ubicaciones con al menos 41 accidentes superándose por tres desviaciones estándar por encima de la media de accidentes; 13 ubicaciones tienen al menos 29 accidentes excediendo dos desviaciones estándar por encima de la media y 35 ubicaciones tienen al menos 17 accidentes sobre una desviación estándar, dichas ubicaciones son consideradas como puntos de conflicto del tramo de estudio (ver Figura 21).

Figura 20. Puntos de conflicto ascenso tramo de estudio



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Puntos de conflicto descenso tramo de estudio



Fuente: elaboración propia.

5.3 Definición de IS

A partir de la identificación de los puntos de conflicto se verificaron sus características geométricas y de seguridad tales como grado de curvatura, sobreelevación máxima, pendiente máxima, señalamiento horizontal, señalamiento vertical y dispositivos de seguridad, y se determinó la correlación con la herramienta Minitab Statistical Software de cada parámetro con la incidencia de accidentes, aunado a esto se obtiene para cada lineamiento mencionado los IS que se enlistan a continuación:

- Grado de curvatura
 - Severidad alta: $\geq 10^\circ$
 - Severidad media: $10^\circ - 5.5^\circ$
 - Severidad baja: $5.5^\circ - 4.5^\circ$

La variable presenta una correlación positiva, es decir que a medida que aumenta el grado de curvatura se aumenta la cantidad de accidentes. Para el tramo de estudio, tanto en ascenso (0.220) como en descenso (0.328) la correlación indica que, a mayor grado de curvatura, los accidentes tienden a aumentar ya que las curvas son más pronunciadas.

- Sobreelevación máxima
 - Severidad alta: $\leq 4\%$
 - Severidad media: $7\% - 4\%$
 - Severidad baja: $10\% - 7\%$

Para el análisis de la sobreelevación máxima se consideraron los valores de las curvas que presentan sobreelevación, despreciando a las curvas en espiral debido a que su comportamiento transversal no permite que llegue a convertirse a una sobreelevación. La correlación obtenida demuestra mayor incidencia de accidentes al disminuir el valor de la sobreelevación, según la muestra de estudio en ascenso y descenso. En sentido de ascenso la correlación es -0.381, en descenso es -0.200, lo que indica que en ascenso este tiene mayor impacto.

- Pendiente
 - Severidad alta: $\geq 6\%$
 - Severidad media: $3.5\% - 6\%$
 - Severidad baja: $\leq 3.5\%$

Se interpreta como severidad alta este rango y puede validarse ya que la normativa vigente establecida en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de la SICT establece un máximo de 6% para este tipo de carretera. Según los resultados de la muestra este parámetro presenta una correlación negativa no perfecta (-0.160) es decir que no asegura la pendiente influya altamente en la incidencia de accidentes en el sentido de ascenso, sin embargo, en sentido de descenso la pendiente está altamente correlacionada (0.403) a la cantidad de accidentes, esto puede deberse a que existen condiciones distintas que intervienen tales como en ascenso donde el vehículo tiende a forzarse y en descenso el vehículo obtiene mayor velocidad por gravedad.

Por la naturaleza del parámetro de los lineamientos señalamiento horizontal y vertical, su evaluación es analizada como un atributo, siendo 0 la nula existencia y 1 la existencia de estos.

- Rayas y botones:
 - Severidad alta: no presenta botones, rayas delimitadoras y separadoras de carril
 - Severidad media: presenta botones, rayas delimitadoras y separadoras de carril sin reflexión
 - Severidad media: presenta botones, rayas delimitadoras y separadoras de carril con reflexión

Las características del tramo de estudio no permiten relacionar el señalamiento horizontal con la incidencia de los accidentes, ya que todo el tramo presenta botones, rayas delimitadoras y separadoras de carril para contrastar con puntos donde no existieran, sin embargo, según el análisis de literatura demuestra que las marcas viales inciden en la seguridad vial, ya que estas proporcionan a los conductores información crucial sobre la trayectoria de la carretera (Babić et al., 2022).

- Reductores de velocidad
 - Severidad alta: no se establecen de reductores de velocidad previo a un punto de conflicto
 - Severidad media: se establecen reductores de velocidad previo a un punto de conflicto

La presencia de reductores de velocidad previo a una curva considerada como punto de conflicto presenta una diferencia de 43.48% de incidencia de accidentes, es decir se suscitan con un 56.52% más accidentes en puntos donde no existen reductores de velocidad.

- Señales preventivas
 - Severidad alta: no presenta señalamiento preventivo
 - Severidad baja: presenta señalamiento preventivo

De acuerdo a los resultados del análisis de accidentes, se determinó que al que no presentarse señales preventivas anunciando una curva en ascenso se propiciaron el 29% de los accidentes, para el descenso fueron el 22% de los accidentes.

Por la naturaleza del parámetro de dispositivo de seguridad, su evaluación es analizada como un atributo, siendo 0 la nula existencia, 0.5 la existencia, pero no cumpliendo con lo establecido en el Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad (2018) y 1 la existencia de este.

- Barrera de contención
 - Severidad alta: no presenta barrera de contención
 - Severidad media: la barrera de contención no es la ideal según al TDPA, clasificación vehicular que transita por el tramo de estudio
 - Severidad baja: presenta barrera de contención de acuerdo a las características del tramo de estudio

Analizado todos los puntos en conflicto, 15 de ellos lo equivalente a 19% del total de ubicaciones no presentaban barrera de contención, específicamente, tres ubicaciones en ascenso y 12 en descenso. En ascenso el 50% de los accidentes ocurrieron donde se tenía, pero no con las condiciones ideales según el Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad. Las barreras de contención de tres crestas, según la normativa mexicana, se recomiendan para carreteras como el tramo de estudio, ya que requieren niveles altos de protección debido a su diseño y las condiciones del tráfico, sin embargo, a lo largo del tramo de estudio, se presentan curvas sin barreras, así como también con barreras de dos crestas.

Del análisis entre la incidencia de accidentes y los lineamientos a los que fue posible aplicarse correlación, se determina para ascenso el lineamiento con mayor incidencia en accidentes es la sobreelevación, posteriormente el grado de curvatura y finalmente la pendiente. Por otro lado, en descenso las correlaciones de los lineamientos y los accidentes se enlistan según el siguiente orden prioritario: pendiente, grado de curvatura y sobreelevación. A través de los IS establecidos se permitió identificar las condiciones y sus niveles de severidad para cada parámetro del tramo de estudio. A continuación, se presentan los resultados (ver Tabla 12 y 13) representando el color rojo al nivel de severidad alto, naranja nivel medio y amarillo nivel bajo.

Tabla 12. Identificación de IS del tramo de estudio en ascenso

Cadenamiento	Curva	Accidentes (2020-2023)	Índices de severidad							
			Sobreelevación máxima (%)	Grado de Curvatura (°)	Pendiente (%)	Dispositivo de seguridad Barrera de protección a orilla de	Señalamiento horizontal			Señalamiento vertical Señales preventivas
							Rayas	Botones	Reductores de velocidad	
53000	C44	21	3.80%	16.55	6.02%	0.5	1	0	0	1
53100	C43	13	3.17%	1.73	6.50%	0.5	1	1	0	0
45500	C75	6	2.25%	9.68	6.23%	0.5	1	1	0	1
46300	C71	6	5.93%	13.31	5.20%	0	1	1	0	0
46700	C70	8	6.35%	11.16	5.69%	0.5	1	1	0	1
54600	C34	16	6.62%	16.38	4.56%	1	1	1	0	0
59000	C9	8	6.39%	9.17	6.70%	1	1	1	0	1
51900	C50	8	6.53%	7.54	6.46%	0.5	1	1	0	1
54700	C32	12	8.71%	16.92	6.88%	1	1	1	0	0
54800	C31	6	8.49%	14.03	8.04%	1	1	1	0	1
54900	C30	6	8.10%	15.99	8.16%	1	1	1	0	1
58400	C12	7	9.67%	18.47	6.78%	1	1	1	0	1
47200	C68	6	9.57%	14.34	5.87%	0.5	1	1	0	1
52900	C44	8	10.62%	16.55	5.31%	0.5	1	1	0	1
53300	C41	7	7.63%	11.93	5.91%	1	1	1	0	1
49000	C63*	10	Bombeo	12.43	7.24%	0.5	1	1	0	0
48500	C65*	12	Bombeo	12.69	5.18%	0.5	1	1	0	1
54500	C35*	8	Bombeo	3.71	7.82%	1	1	1	0	0
55400	C27*	6	Bombeo	4.99	4.15%	0.5	1	1	0	0
56100	C24*	6	Bombeo	4.13	5.52%	0.5	1	1	0	1
46200	Recto	8	No aplica		5.84%	0	1	1	0	1
48600	Recto	8	No aplica		4.62%	0.5	1	1	0	1
49800	Recto	9	No aplica		6.33%	0.5	1	1	0	0
53200	Recto	8	No aplica		5.48%	0.5	1	1	0	1
53500	Recto	12	No aplica		2.01%	1	1	1	0	1
53800	Recto	8	No aplica		3.86%	1	1	1	0	1
58600	Recto	9	No aplica		3.85%	1	1	1	0	1
61410	Recto	13	No aplica		0.60%	1	1	1	0	1

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 12 presentada ofrece una visión detallada de la distribución de los Índices de Severidad (IS) en diferentes factores de seguridad vial, permitiendo identificar la prevalencia de puntos de conflicto en relación con el grado de curvatura, sobreelevación, pendiente, señales y barreras. A continuación, se detalla el análisis de cada factor:

Grado de Curvatura

- IS Alto: 65% de los puntos de conflicto presentan un IS alto.
- IS Medio: 15% de los puntos de conflicto tienen un IS medio.
- IS Bajo: 20% de los puntos de conflicto muestran un IS bajo.

El análisis revela que la mayoría de los puntos de conflicto (65%) tienen un IS alto en relación con el grado de curvatura, indicando que las curvas cerradas o mal diseñadas son un factor significativo en la ocurrencia de accidentes.

Sobreelevación

- IS Alto: 20% de los puntos de conflicto presentan un IS alto.
- IS Medio: 33.3% de los puntos de conflicto tienen un IS medio.
- IS Bajo: 46.7% de los puntos de conflicto muestran un IS bajo.

Para la sobreelevación, se observa que casi la mitad de los puntos de conflicto (46.7%) tienen un IS bajo, mientras que un 33.3% presentan un IS medio y un 20% un IS alto. Esto sugiere que la sobreelevación inadecuada contribuye a los accidentes, aunque no es el factor predominante.

Pendiente

- IS Alto: 42.8% de los puntos de conflicto presentan un IS alto.
- IS Medio: 50% de los puntos de conflicto tienen un IS medio.
- IS Bajo: 7.2% de los puntos de conflicto muestran un IS bajo.

La pendiente se destaca como un factor crítico, con el 42.8% de los puntos de conflicto presentando un IS alto y el 50% un IS medio. Solo un 7.2% tienen un IS bajo, lo que indica que las pendientes pronunciadas son un riesgo considerable para la seguridad vial.

Señales

- IS Alto: 28.6% de los puntos de conflicto presentan un IS alto.
- IS Bajo: 71.4% de los puntos de conflicto tienen un IS bajo.

En cuanto a las señales, la mayoría de los puntos de conflicto (71.4%) presentan un IS bajo, mientras que un 28.6% tienen un IS alto. Esto podría indicar que, aunque las señales son importantes, su influencia directa en los puntos de conflicto es menor en comparación con otros factores como el grado de curvatura y la pendiente.

Barreras

- IS Alto: 7.15% de los puntos de conflicto presentan un IS alto.
- IS Medio: 50% de los puntos de conflicto tienen un IS medio.
- IS Bajo: 42.85% de los puntos de conflicto muestran un IS bajo.

En relación con las barreras, un 50% de los puntos de conflicto presentan un IS medio, seguido por un 42.85% con un IS bajo y solo un 7.15% con un IS alto. Esto sugiere que, aunque las barreras son necesarias, su impacto en la severidad de los puntos de conflicto varía y suele ser menor comparado con factores como la pendiente.

Tabla 13. Identificación de IS del tramo de estudio en descenso

Cadenamiento	Curva	Accidentes (2020-2023)	Índices de severidad							
			Pendiente (%)	Grado de Curvatura (°)	Sobreelevación máxima (%)	Dispositivo de seguridad Barrera de protección a orilla de corona	Señalamiento horizontal			Señalamien to vertical Señales preventivas
							Rayas	Botones	Reductores de velocidad	
56300	C50	178	8.20%	23.39	9.36%	1	1	1	1	1
49700	C23	76	10.94%	25.58	10.70%	0	1	1	1	1
55000	Recto	53	6.22%	No aplica		0.5	1	1	0	1
55000	Recto	53	6.21%	No aplica		0.5	1	1	0	1
45100	C8	31	6.18%	17.67	11.21%	0	1	1	0	1
50400	C26	29	6.81%	20.29	10.30%	1	1	1	1	1
50700	C28	28	7.41%	18.58	10.36%	0	1	1	0	1
50300	C26	27	6.03%	20.29	9.69%	1	1	1	0	1
50600	Recto	27	6.29%	No aplica		0	1	1	0	1
45500	C10	21	7.46%	14.66	12.84%	0	1	1	1	1
53500	Recto	21	6.22%	No aplica		1	1	1	0	1
58600	C61	20	6.10%	18.15	17.44%	1	1	1	0	0
56900	C53	18	6.60%	15.17	12.42%	1	1	1	1	1
43300	Recto	18	7.22%	No aplica		0	1	1	0	1
45400	Recto	18	6.60%	No aplica		0	1	1	0	1
54900	Recto	17	6.47%	No aplica		1	1	1	0	1
61400	C74	53	4.10%	13.87	11.02%	1	1	1	0	1
49800	C23	52	5.91%	25.58	3.84%	0	1	1	1	1
61500	C75	48	3.60%	6.31	3.13%	1	1	1	1	1
45000	C8	39	5.98%	17.67	7.23%	1	1	1	0	1
49600	C23	36	4.13%	25.58	8.19%	0.5	1	1	0	0
56400	C50	35	5.91%	23.39	4.86%	1	1	1	1	1
49500	Recto	32	5.22%	No aplica		1	1	1	0	0
55100	C45	30	5.80%	17.93	9.18%	0	1	1	0	0
44500	C5	29	5.70%	4.62	10.33%	0.5	1	1	0	0
50500	Recto	27	5.94%	No aplica		1	1	1	0	1
52000	Recto	27	5.51%	No aplica		1	1	1	0	1
50500	Recto	27	5.94%	No aplica		1	1	1	0	1
58800	C62	26	4.26%	10.46	9.89%	1	1	1	0	1
61300	C73	26	3.74%	4.47	7.13%	1	1	1	0	1
57000	Recto	25	5.40%	No aplica		0.5	1	1	0	0
55500	Recto	23	5.42%	No aplica		1	1	1	0	1
53400	C38	19	5.24%	17.59	13.42%	1	1	1	0	1
58700	Recto	18	4.94%	No aplica		0.5	1	1	0	1
58700	Recto	18	4.94%	No aplica		1	1	1	0	1
56200	Recto	17	3.74%	No aplica		0	1	1	0	0
49900	Recto	17	5.27%	No aplica		0	1	1	0	0
60600	C69	39	2.90%	15.05	9.33%	1	1	1	0	1
60700	C69	23	3.26%	15.05	8.30%	1	1	1	1	1
43200	Recto	21	0.69%	No aplica		0	1	1	0	0
43200	Recto	21	0.69%	No aplica		0	1	1	0	1
60500	C68	18	1.54%	17.12	12.24%	1	1	1	1	1

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 13 presentada proporciona una visión detallada sobre la distribución de los IS en distintos factores de seguridad vial, permitiendo identificar cómo estos factores influyen en la aparición de puntos de conflicto. A continuación, se realiza un análisis específico de cada factor:

Grado de Curvatura

- IS Alto: 86.95% de los puntos de conflicto presentan un IS alto.
- IS Medio: 4.36% de los puntos de conflicto tienen un IS medio.
- IS Bajo: 8.69% de los puntos de conflicto muestran un IS bajo.

El análisis muestra que la gran mayoría de los puntos de conflicto (86.95%) tienen un IS alto relacionado con el grado de curvatura, lo que indica que las curvas cerradas o mal diseñadas son un factor significativo en la ocurrencia de accidentes.

Sobreelevación

- IS Alto: 8.69% de los puntos de conflicto presentan un IS alto.
- IS Medio: 4.36% de los puntos de conflicto tienen un IS medio.
- IS Bajo: 86.95% de los puntos de conflicto muestran un IS bajo.

En cuanto a la sobreelevación, el 86.95% de los puntos de conflicto tienen un IS bajo, mientras que solo un 8.69% presentan un IS alto. Esto sugiere que la sobreelevación inadecuada no es el principal factor contribuyente a los puntos de conflicto en esta muestra.

Pendiente

- IS Alto: 39% de los puntos de conflicto presentan un IS alto.
- IS Medio: 48.8% de los puntos de conflicto tienen un IS medio.
- IS Bajo: 12.2% de los puntos de conflicto muestran un IS bajo.

La pendiente muestra una distribución más equilibrada, con el 39% de los puntos de conflicto presentando un IS alto y el 48.8% un IS medio. Solo un 12.2% tienen un IS bajo, lo que indica que las pendientes pronunciadas son un riesgo considerable para la seguridad vial.

Señales

- IS Alto: 22% de los puntos de conflicto presentan un IS alto.
- IS Bajo: 78% de los puntos de conflicto tienen un IS bajo.

Para las señales, la mayoría de los puntos de conflicto (78%) presentan un IS bajo, mientras que el 22% tienen un IS alto. Esto podría indicar que, aunque las señales son importantes, su influencia directa en los puntos de conflicto es menor comparada con otros factores como el grado de curvatura y la pendiente.

Barreras

- IS Alto: 31.7% de los puntos de conflicto presentan un IS alto.
- IS Medio: 14.65% de los puntos de conflicto tienen un IS medio.
- IS Bajo: 53.65% de los puntos de conflicto muestran un IS bajo.

En relación con las barreras, un 31.7% de los puntos de conflicto presentan un IS alto, seguido por un 53.65% con un IS bajo y un 14.65% con un IS medio. Esto sugiere que, aunque las barreras son necesarias, su impacto en la severidad de los puntos de conflicto varía significativamente.

La normativa establece un valor máximo de pendiente del 6%, lo cual coincide con el IS bajo determinado en el análisis. Esta alineación sugiere que cumplir con la normativa no solo es una cuestión de conformidad regulatoria, sino también una medida efectiva para mantener la seguridad vial en niveles aceptables. Este valor, aplicado en el tramo de estudio, se encuentra en conformidad con el máximo permitido por la normativa para carreteras con condiciones similares. Cumplir con la pendiente máxima del 6% es crucial para asegurar la estabilidad vehicular y la seguridad de los usuarios, especialmente en tramos montañosos que presentan desafíos adicionales en términos de diseño y mantenimiento. Este alineamiento al compararlo con las normativas fortalece la fiabilidad del diseño y resalta el compromiso de promover seguridad vial en la infraestructura desarrollada.

5.4 Recomendaciones generales

En general, se puede concluir que el tramo de estudio en ascenso presenta una mayor relación con los lineamientos en el siguiente orden: sobreelevación, grado de curvatura y pendiente. Esto indica que, en los tramos ascendentes, la adecuada gestión de la sobreelevación es crucial para la seguridad vial, seguida por la correcta implementación del grado de curvatura y, finalmente, la pendiente. En contraste, en el tramo de descenso, el orden de influencia difiere, siendo la pendiente el lineamiento con mayor relación con los accidentes, seguida por el grado de curvatura y, finalmente, la sobreelevación. Este hallazgo sugiere que, en descensos, la gestión de pendientes pronunciadas es esencial para prevenir accidentes, mientras que el grado de curvatura y la sobreelevación también juegan roles importantes, aunque en menor grado.

En medida de lo posible, se establecen las siguientes recomendaciones generales.

- **Gestión de la Sobreelevación en tramo ascendente:**
Implementar y mantener una adecuada sobreelevación en tramos ascendentes es crucial para mejorar la seguridad vial. La sobreelevación debe diseñarse para contrarrestar la fuerza centrífuga en las curvas, mejorando la adherencia del vehículo al pavimento y reduciendo el riesgo de deslizamiento; revisar y ajustar la sobreelevación existente en tramos ascendentes, realizar inspecciones regulares y mantenimiento preventivo para asegurar que la sobreelevación se mantenga en condiciones óptimas.
- **Optimización del Grado de Curvatura:**
Asegurar que el grado de curvatura en las carreteras esté diseñado y mantenido correctamente es esencial para la seguridad, tanto en ascensos como en descensos. Se recomienda evaluar y rediseñar las curvas que presentan un alto grado de accidentes, así como instalar señalización adecuada que advierta a los conductores sobre las curvas cerradas.
- **Control y Gestión de la pendiente en descenso:**
Gestionar adecuadamente las pendientes en los tramos descendentes. Las pendientes pronunciadas deben ser cuidadosamente diseñadas para evitar problemas de control vehicular y sobrecalentamiento de frenos. Gestionar adecuadamente las pendientes en los tramos descendentes, por lo que deben ser cuidadosamente diseñadas y mantenidas para evitar problemas de control vehicular y sobrecalentamiento de frenos. Se recomienda implementar sistemas de frenado de emergencia.
- **Mejora integral de la infraestructura carretera:**
Considerar un enfoque integral que incluya la revisión de todos los aspectos del diseño geométrico, incluyendo la alineación horizontal y vertical, el diseño de intersecciones y la resistencia al deslizamiento del pavimento. Así como realizar ASV periódicas para identificar y corregir deficiencias en la infraestructura e incorporar monitoreo para evaluar las condiciones de la carretera y realizar ajustes necesarios.
- **Señalización:**
Mejorar la señalización horizontal y vertical para proporcionar información clara y oportuna a los conductores, y promover programas de educación vial que enfatizan la seguridad en tramos montañosos, mediante la instalación de señalización que indique la presencia de curvas peligrosas, pendientes pronunciadas y límites de velocidad adecuados.

El análisis de los IS en comparación con la normativa vigente según el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras (2018) proporciona hallazgos clave. Tanto la sobreelevación como el grado de curvatura definidos con severidad baja están alineados con los valores máximos permitidos, lo que confirma la adecuación del diseño respecto a las normativas vigentes. La conformidad con la normativa es esencial para la estabilidad vehicular y la seguridad de los usuarios en condiciones operativas. Esta alineación asegura una conducción más segura y eficiente en las condiciones específicas del tramo de estudio.

6 CONCLUSIONES

En este apartado se establecen una serie de conclusiones a partir de la discusión que se produjo al revisar la literatura, análisis del caso de estudio, así como producto del desarrollo metodológico y la obtención de los resultados, derivados del análisis de los lineamientos y aplicación de herramientas a favor de la promoción de la seguridad vial.

El enfoque analizado en esta investigación corresponde en promover intervenciones proactivas a través de ASV, que brinden acciones correctivas rentables y de alto valor a favor de una cultura de seguridad vial. Los principales hallazgos al efectuar un análisis comparativo entre las publicaciones seleccionadas demuestran que cada país sigue sus políticas y procedimientos para emitir recomendaciones sobre seguridad vial. En este sentido, la revisión de la literatura contribuyó a una rápida identificación de los lineamientos de ASV, y de analizar las listas de verificación de 16 países seleccionados, que representan diferentes contextos (desarrollados, subdesarrollados y en vías de desarrollo), entre los más trascendentales: aspectos de diseño geométrico como la pendiente, alineación vertical y horizontal, grado de curvatura, sobreelevación, dispositivos de seguridad y el mobiliario vial (barreras, delineadores, reductores de velocidad).

Después de una revisión comparativa de las directrices ASV de diferentes países, se coincide con lo establecido por diferentes autores. En primer lugar, con lo que menciona Ahmed et al. (2013), identificando cuatro parámetros importantes: calificaciones del auditor y requisitos de equipo, cuestiones de responsabilidad relacionadas con el tema, diagramas de flujo de trabajo para actividades y listas de verificación. Así como lo expresado en relación a seguridad vial por Rahoof y Kumar (2017) centrándose en establecer el concepto de ASV y sus etapas de solicitud. Por otro lado, Al-Adhoobi et al. (2017) al examinar la necesidad de implementar auditorías y revisiones de seguridad vial, analizando diferentes prácticas internacionales y realizando una evaluación crítica. También exploraron el papel de la concienciación sobre la seguridad vial y su impacto.

Si bien existen revisiones de la literatura que comparan metodologías de ASV, a menudo sólo de manera superficial y no adentrándose a los factores que son evaluados en sus listas de verificación. Sin embargo, con el análisis realizado en esta investigación se extraen los puntos convergentes pertenecientes al factor vial (L5,L6,L7), que puedan interpretarse como aspectos críticos para la formulación de una nueva propuesta metodológica de ASV.

Para lograr un análisis integral de estos lineamientos, que inciden en la seguridad vial, se deben tomar en cuenta tres factores: humano, vehicular y vial. Se identificó que los lineamientos de mayor impacto son aquellos relacionados con el diseño geométrico (L5), abarcando aspectos como la pendiente transversal, diseño de intersecciones, alineación vial, alineación horizontal y vertical, volumen y velocidad, resistencia al deslizamiento, distancia de visibilidad y tipo de carretera. Además, los lineamientos vinculados a la señalización horizontal y vertical, la iluminación (L6), y los que incluyen dispositivos de seguridad y mobiliario vial (barreras, delineadores, reductores de velocidad), junto con áreas de descanso y áreas de servicio (L7), también desempeñan un papel significativo. Es importante destacar que estos tres lineamientos pertenecen al factor vial.

Para definir los IS, se consideraron los lineamientos de pendiente, grado de curvatura, sobreelevación, y barrera de protección en el borde de la corona. De los 10 lineamientos considerados inicialmente, solo se emplearon aquellos relacionados con el factor vial. Esta selección se fundamenta en las características específicas del caso de estudio, que clasifican a la Autopista Centinela - La Rumorosa como una carretera de alta peligrosidad. La elección de estos lineamientos se realizó también en función de la naturaleza de los parámetros involucrados, los cuales pueden ser evaluados con precisión, garantizando así un análisis riguroso y relevante para la identificación de factores de mayor incidencia en la accidentabilidad.

Para llevar a cabo un análisis exhaustivo y preciso de los IS que impactan en la seguridad vial en carreteras, fue fundamental disponer de una base de datos detallada que registre los cadenamientos exactos donde se susciten los accidentes. La validez y confiabilidad de este análisis dependen en gran medida de la amplitud de la muestra de datos; por lo tanto, se requiere una muestra considerablemente mayor para obtener resultados significativos.

La metodología establecida en esta investigación fue diseñada inicialmente a partir de las características de una carretera montañosa, pero que tiene el potencial de ser replicada en cualquier obra carretera. Aunque los índices desarrollados en este estudio son aplicables a carreteras con características similares, la metodología es adaptable y puede ser utilizada para crear índices particulares de la carretera que se trate, según los parámetros geométricos y datos de accidentes con los que cuente. Estas adaptaciones garantizarán que los IS reflejen las condiciones y los riesgos particulares de cada carretera, contribuyendo así a las mejoras en materia de seguridad vial, y de acuerdo con aquellos parámetros que se encuentren en un nivel alto, medio o bajo de severidad.

Este análisis permite identificar puntos de conflicto de manera rigurosa y fundamentada en principios estadístico-matemáticos. Esto facilita la identificación precisa de ubicaciones, proporcionando una base confiable para la implementación de medidas preventivas y de mitigación. En esta investigación se han definido IS específicos para el caso de estudio, lo que contribuye a un enfoque sistemático y basado en datos para abordar la seguridad vial.

Para el tramo de estudio, el análisis de correlación entre los lineamientos analizados y la accidentabilidad ha permitido establecer un orden de influencia en la seguridad vial. El análisis del tramo de estudio revela que, en ascenso, los lineamientos de seguridad vial muestran una mayor correlación con los accidentes en el siguiente orden de relevancia: sobreelevación, grado de curvatura y pendiente. Este orden sugiere que la gestión y el diseño adecuados de la sobreelevación son cruciales para mitigar los riesgos asociados con accidentes en tramos ascendentes. La sobreelevación adecuada permite una mejor distribución de las fuerzas centrífugas, mejorando la adherencia de los vehículos al pavimento y reduciendo la probabilidad de deslizamientos.

En contraste, el tramo en descenso presenta un orden de influencia diferente, donde la pendiente es el lineamiento con mayor correlación con los accidentes, seguido por el grado de curvatura y, finalmente, la sobreelevación. La alta incidencia de accidentes relacionados con la pendiente en descensos se debe a la necesidad de controlar la velocidad del vehículo, lo cual requiere un esfuerzo considerable del sistema de frenado. Pendientes pronunciadas aumentan el riesgo de sobrecalentamiento de los frenos y pérdida de control del vehículo.

Por lo tanto, la adecuada gestión de la pendiente es fundamental para la seguridad vial en tramos descendentes, mientras que el grado de curvatura y la sobreelevación también deben ser considerados para una mitigación integral de riesgos. Este análisis subraya la importancia de priorizar diferentes factores de diseño vial según sea ascenso o descenso del tramo de estudio, asegurando así una reducción de severidad y una mejora general en la seguridad vial, permitiendo una planificación más efectiva de intervenciones viales basadas en la magnitud de su impacto en la severidad de accidentes.

Es importante considerar que un punto de conflicto que no presenta antecedentes de accidentes no necesariamente es seguro, pueden existir ubicaciones con características que la define como puntos de conflicto, pero que, por diversas razones, todavía no han registrado una incidencia significativa de accidentes. Estos lugares pueden tener condiciones que potencialmente contribuyan a la ocurrencia de accidentes, por lo que no deben ser ignorados en los análisis de seguridad vial.

El desarrollo y propuesta de IS para definir la severidad de los lineamientos del tramo de estudio, clasificados como severidad alta influyen en mayor grado en la accidentabilidad o gravedad por lo que requieren una atención urgente. Los elementos calificados con severidad media, si bien influyen negativamente en la seguridad pueden esperar un tiempo para su intervención y los elementos con severidad baja no requiere una intervención inmediata dado que su influencia en la seguridad vial e incidencia de accidentes es poco significativa.

A diferencia del estudio Alarcón (2015), que se basa en una revisión de literatura general para identificar puntos conflictivos, los índices obtenidos en nuestra investigación se derivan de los principales lineamientos de Auditorías de Seguridad Vial (ASV). Además, estos índices se adaptan específicamente a las condiciones particulares del caso de estudio, permitiendo identificar con mayor precisión si una ubicación presenta o no un punto conflictivo. Este enfoque basado en características específicas del terreno y condiciones locales asegura una evaluación más precisa y contextualizada de la seguridad vial, en contraposición a la metodología utilizada en el estudio colombiano que parte de los resultados de una ASV y a revisión de literatura para asignar valores a los rangos de sus índices.

De los 10 lineamientos analizados, se pudieron definir con mayor precisión los relacionados con el diseño geométrico (L5), así como los dispositivos de seguridad (L7). Sin embargo, debido a las características específicas del tramo estudiado, no fue posible definir un IS adecuado para la señalización horizontal (SH) dado que su presencia era uniforme en todo el tramo.

El análisis de los IS en comparación con la normativa vigente destaca varias conclusiones importantes. La comparación entre el índice de sobreelevación de 10% utilizado en esta investigación y el valor máximo establecido por la normativa del Manual de Diseño de Carreteras mexicano revela una alineación con los estándares regulatorios. La sobreelevación con un valor del 10%, coincide con el máximo permitido por la normativa para carreteras con características similares. Este cumplimiento normativo es crucial para garantizar la estabilidad vehicular y la seguridad de los usuarios en condiciones de operación, especialmente en tramos montañosos que presentan mayores desafíos en términos de diseño y mantenimiento.

6.1 Línea de investigaciones futuras

Se recomienda como línea futura de esta investigación desarrollar un estudio que incorpore detalladamente las especificaciones planteadas en la normatividad de diseño geométrico para categorizar los niveles de severidad relacionados con la señalización y diseño geométrico para categorizar sus niveles de severidad. En el desarrollo de esta investigación, se adoptó un enfoque binario para estos índices, simplemente considerando la presencia o ausencia de señalización vertical.

Otra línea de investigación puede estar orientada en realizar estudios comparativos en diferentes tipos de carreteras, para evaluar como las características del terreno y la alineación vial influyen en la severidad de los accidentes. De igual manera, en este sentido, en un futuro se pretende desarrollar una metodología que proponga estrategias de solución “específica” en materia de seguridad en puntos críticos de carreteras montañosas, utilizando el enfoque matemático de Modelo de Optimización Multiobjetivo, para priorizar la toma de decisiones bajo diferentes contextos. Este enfoque permitirá no solo una mejor comprensión de los factores que influyen en la seguridad vial, sino también el desarrollo de estrategias más efectivas para reducir la incidencia de accidentes considerando diversas condiciones.

7 REFERENCIAS

- Alarcón Dallos, J. R. (2015). Índices de severidad para auditorías de seguridad vial en carreteras colombianas. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 44, 203-221. Recuperado de <http://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/view/625/1160>
- Ahmed, I., Puan, O., and Ismail, C. (2013). A comparative review of road safety audit guidelines of selected countries. *J. Teknol.* 65 (3), 67–74.
- Al-Adhoobi, M. S., Jose, M., and Singh, A. V. (2017). “A review of international practices of road safety audits,” in 2017 6th international conference on reliability, infocom technologies and optimization (trends and future directions)(ICRITO) (IEEE), 704–710.
- Altamira, A. L. (2020). Diseño Geométrico de Caminos de Montaña: particularidades y desafíos. *Avances: Investigación en Ingeniería*, 17(2), 1-15.
- Alves, D. A. S., Zamora, E. H., Café, E., De León, M. P., & Pineda, M. (2018). Auditorías e inspecciones de seguridad vial en América Latina. <https://doi.org/10.18235/0001069>
- Angulo, R., & Giraldo, J. (2019). Auditoria de seguridad vial en los accesos e intercambiadores viales en la zona de movilidad del aeropuerto de Bogotá-El Dorado”. spa. Accepted: 2019-04-10T16:15:05Z bachelor thesis. Universidad Santo Tomás. Available at: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/16229> (Accessed August 16, 2023).
- Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C. [AMIVTAC] (Ed.). (2020). Vías terrestres. Issuu, 63, 2448 5292. https://issuu.com/viasterrestres/docs/vt63_d?fr=sZTA4ODQ4NTc5
- Austroroads (2022). Guide to road safety Part 6: road safety audit. Tech. rep.
- Babić, D., Babić, D., Fiolic, M., & Ferko, M. (2022). Road Markings and Signs in Road Safety. *Encyclopedia*, 2(4), 1738-1752. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2040119>
- Basantes Silva, L. F. (2021). Auditoría de Seguridad Vial en el tramo: Calpi - El Arenal, De la vía E35. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Bhandari, P. (2023). Normal Distribution | Examples, Formulas, & Uses. Scribbr. Retrieved May 27, 2024, from <https://www.scribbr.com/statistics/normal-distribution/>
- Caminos y Puentes Federales [CAPUFE]. (2022). Seguridad vial. Origen y evolución. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/capufe/articulos/seguridad-vial-origen-y-evolucion>
- Carpenter, K. (2008). IHT Road Safety Audit Guidelines. en. In. Chartered Institution of Highways and Transportation.
- Chaverri, J., Salas, M., and Solórzano, S. (2014). DESARROLLO DE AUDITORÍAS Y EVALUACIONES DE SEGURIDAD VIAL EN Costa Rica. Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
- Cuenca, A. I. A., & Masero, J. C. (2021). Inspecciones de seguridad viaria en las carreteras en servicio. Experiencia de más de dos décadas. *Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera*, (234), 45-54.

- De Buen, O. (2014). IMPORTANCIA DE LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS. Agosto 19, 2022, de Asociación Mundial de la Carretera Sitio web: <https://www.piarc.org/es/pedido-de-publicacion/22252-es-Importancia%20de%20la%20conservaci%C3%B3n%20de%20carreteras>
- DeNicola, E., Aburizaize, O. S., Siddique, A., Khwaja, H., and Carpenter, D. O. (2016). Road traffic injury as a major public health issue in the Kingdom of Saudi Arabia: a review. *Front. Public Health* 4. doi:10.3389/fpubh.2016.00215
- Departamento del Transporte de Texas. (2015). Programa de Reducción de Accidentes. https://fhwaapps.fhwa.dot.gov/hsipp/Attachments/46acd2e4-34c3-4fd1-b7ef-2410498ffdc3_hsi.pdf
- Dorado Pineda, M., Casanova Zavala, W. A., Cadengo Ramírez, M., & Mendoza Diaz, A. (2018). Recomendaciones para la inspección de seguridad vial de carreteras existentes.
- Dourthé, A., and Salamanca, J. (2003). Guía para realizar una auditoria de seguridad vial, 48. Santiago, Chile 47.
- Elvik, R, Christensen P, Amundsen A, (2004) Speed and Road Accidents, an evaluation of the Power Model, TOI, Norway
- Estrategia Nacional de Seguridad Vial 2011-2020, Secretaria de Gobernación, México, DOF: 06/06/2011, 10 de octubre de 2023 [citado 03-04-2024]; Disponible en internet: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5193284&fecha=06/06/2011&print=true
- Faus, M., Francisco, A., Angel, E., and Mahdi, R. (2023). Editorial: human factors in transport and road safety. *Front. Psychol.* 14. doi:10.3389/fpsyg.2023.1175488
- Federal Highway Administration [FHWA] (2006). FHWA road safety audit guidelines. Tech. rep.
- Federal Highway Administration [FHWA] (2012). Road safety audits: an evaluation of RSA programs and projects. Tech. rep.
- Federal Highway Administration [FHWA] (2022). Road safety audits (RSA) - safety. Available at: <https://safety.fhwa.dot.gov/rsa/benefits/>.
- García, L., Mungaray-Moctezuma, A., Calderón, J., Sánchez-Atondo, A., & Gutiérrez-Moreno, J. (2019). Impacto de la accesibilidad carretera en la calidad de vida de las localidades urbanas y suburbanas de Baja California, México. *www.eure.cl*. <https://doi.org/10.7764/2528>
- Garzón, M., Escobar, D., and Galindo, J. (2017). "Auditorias de seguridad vial. Ejemplo de aplicación metodológica," in *Revista espacios* 38.41. Available at: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n41/17384110.html> (Accessed August 16, 2023).
- Gómez, R. L., & Gómez, P. E. (2014). Auditoria en seguridad vial de la carretera de primer orden Riobamba-Pallatanga". B.S. thesis. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.

Gong, B., Shengde, D., Siyuan, H., Lei, C., and Zhiwei, Z. (2020). "Safety audit of construction drawing design of the NR3 highway reconstruction & expansion project and traffic safety developing suggestion in Cambodia," in IOP conference series: earth and environmental science 587.1 (IOP Publishing). en. ISSN: 1755-1315. doi:10.1088/1755-1315/587/1/012124

Huvarinen, Y., Elena, S., Elena, O., and Svetlana, P. (2017). "Road safety audit". In: Transportation Research Procedia 20. 12th International Conference "Organization and Traffic Safety Management in large cities", SPbOTSIC-2016, 28-30 September 2016 236–241. ISSN: 2352-1465. doi:10.1016/j.trpro.2017.01.061

IDB Inter-American Development Bank (2018). Auditorías e inspecciones de seguridad vial en América Latina. Tech. rep.

Indian-Roads-Congress (2010). Manual on road safety. Indian Roads Congress.

Llamas Rubio, R. (2021). Directiva 2019/1936 de Seguridad en las infraestructuras viarias. aplicación en España y líneas de mejora para el decenio 2021-2030. Instituto Ivia. <http://www.institutoivia.com/web-B%20CARRETERAS%20234.pdf>

Mayoral Grajeda, E., Contreras Zazueta, A., Chavarría Vega, J., and Mendoza Díaz, A. (2001). "AUDITORIAS EN SEGURIDAD CARRETERA, PROCEDIMIENTOS Y PRACTICAS," in Publicación técnica 183.

Mendhe, P., Balpande, R., & Khobragade, A. (2015). Fast fractal image encoding scheme based on Absolute value of Pearson correlation coefficient. Institute Of Electrical And Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/iccsp.2015.7322657>

Mendoza, A. & Centeno, A. G. (2019). "Auditorias de seguridad vial de carreteras en operación," in Ingeniería, investigación y tecnología 10.2, 137–144.

Mendoza-Díaz, A., Abarca-Pérez, E., & Centeno-Saad, A. G. (2008). Auditorías de seguridad vial de carreteras en operación. Ingeniería, investigación y tecnología, 10(2), 137-144.

Mendoza-Díaz, A., Cadengo, M., & Centeno, A.G.. (2020). Esfuerzos en México para implementar un sistema de auditorías de seguridad vial. Routes/Roads: Roads, (383), 12-14.

Minitab, LLC. (2021). Minitab. Recuperado de <https://www.minitab.com>

Montoya-Alcaraz, M., Mungaray-Moctezuma, A., Calderón-Ramírez, J., García, L., & Martínez-Lazcano, C. (2020). Road safety analysis of high-risk roads: case study in Baja California, México. Safety, 6(4), 45.

Morales, M., Chavarría-Carranza, A., Hernández-Vega, H., Jiménez-Romero, D., and Loría-Salazar, L. G. (2015). RESULTADOS DE ENCUESTA ELECTRÓNICA DIRIGIDA A AUDITORES DE SEGURIDAD VIAL EN LATINOAMÉRICA tech. rep.

Mukhametshina, R., and Zagidullin, R. (2021). "Road safety research in a safety audit," in E3S web of conferences (EDP Sciences). 274.02005.

Nabors, D., Gibbs, M., and Sandt, L. (2007). "Pedestrian road safety audit guidelines and prompt lists," in United States. Federal highway administration (office of safety). Tech. rep.

Naciones Unidas. (2020, 10 diciembre). Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible. Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

Naciones Unidas. (2021a). United Nations | Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano. <https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/el-papel-del-sistema-de-las-naciones-unidas-en-la-mejora-de-la-seguridad-vial-para>

Naciones Unidas (2021b). El papel del sistema de las Naciones Unidas en la mejora de la seguridad vial para salvar vidas y la promoción del desarrollo sostenible. Available at: <https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/el-papel-del-sistema-de-las-naciones-unidas-en-la-mejora-de-la-seguridad-vial-para>.

NCHRP National Cooperative Highway Research Program (2004). Road safety audits. Transportation Research Board.

Ley General De Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial Y Desarrollo Urbano, DOF: 28/11/2016 [citado 03-04-2024]; Disponible en internet: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5462755&fecha=28/11/2016

Olmos Rojas, P., Guerres Garcia, R., & Castillo Diaz, J. R. (2022). Programa de Accion Especifico de Prevencion de Accidentes, Lesiones y Seguridad Vial. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/738299/PAE_Lesiones_Accidentales.pdf

Organización Panamericana de la Salud [OPS]. Estado de la seguridad vial en la Región de las Américas. Washington, D.C.: OPS; 2019. Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/51100>

Organización Mundial de la Salud [OMS] (2022.). Seguridad Vial. Organización Panamericana de la Salud. <https://www.paho.org/es/temas/seguridad-vial>

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2022, 16 noviembre). Principales causas de accidentes en transporte por carretera. Traumatismos causados por el tránsito. <https://blog.sitrack.com/principales-causas-de-accidentes-en-transporte-por-carretera>

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2023, 13 diciembre). Seguridad Vial. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news/item/13-12-2023-despite-notable-progress-road-safety-remains-urgent-global-issue#:~:text=El%20Informe%20sobre%20la%20situaci%C3%B3n,millones%20anuales%20de%20este%20a%C3%B1o>

Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2023). Implementación de medidas de seguridad vial prioritarias en América Latina y el Caribe. OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. <https://www.paho.org/es/temas/seguridad-vial>

Ouzzani, M., Hossam, H., Zbys, F., and Ahmed, E. (2016). Rayyan-a web and mobile app for systematic reviews. Syst. Rev. 5 (1), 210. ISSN: 2046-4053. doi:10.1186/s13643-016-0384-4

Overko, Z., Vranki, M., Vlahini, S., & Rogelj, P. (2022). Complejo Pearson Correlation Coefficient for EEG Connectivity Analysis. Sensores (Basel, Suiza), 22(4), 1477. <https://doi.org/10.3390/s22041477>

Pérez-Rodríguez, F., & Zwietering, M. H. (2012). Aplicación del Teorema del Límite Central en la evaluación del riesgo microbial: el elevado número de porciones reduce el Coeficiente de Variación de la carga de enfermedad transmitida por los alimentos. *Revista internacional de microbiología alimentaria*, 15(33), 4130 a 419. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.12.005>

Permanent International Association of Road Congresses [PIARC]. (2018). Método de evaluación de la seguridad vial. <http://dicyg.fi-c.unam.mx:8080/oemj/licenciatura-en-ingenieria-civil/curso-deingenieriade-transportei/informaciondeapoyo/InformTecnPIARC%20MetodoEvalSegurVialBasadFactHUMANOS%202019R27ES.pdf>

Permanent International Association of Road Congresses [PIARC]. (2019). Directrices para auditorías de seguridad vial para proyectos de carreteras - Informe Técnico de PIARC. <https://www.piarc.org/es/>

Peters, M. (2020). "JBI manual for evidence synthesis," in JBI manual for evidence synthesis, 406–451.

PIARC World Road Association (2011). Road safety audit guidelines for safety checks of new road projects. Tech. rep.

Pineda, M., Zamora, E., Alves, D., and Ponce De León, M. (2018). "Guía técnica para la aplicación de auditorías de seguridad vial en los países de América Latina y el Caribe," in Banco interamericano de Desarrollo (bid).

Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020-2024, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Ciudad de México, DOF, 02/07/2020, [citado 03/04/2024]; Disponible en internet: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596042&fecha=02/07/2020#gsc.tab=0

Rahooof, A., and Kumar, B. (2017). Road safety and road safety audit in India: a review. *Int. J. Technol. Res. Eng.* 4 (7).

RHD Roads-and-Highways-Department (2005). Ministry of communication, Bangladesh. Guidelines for road safety audit. Tech. rep.

Road Safety Authority (2013). Evaluation of the road safety strategy 2007-2012. Tech. rep. Available at: https://www.rsa.ie/docs/default-source/about/freedom-of-information/evaluation-of-2007-2012-road-safety-strategy.pdf?sfvrsn=6a9759c7_3.

Román, D. (2020). Guía base para la elaboración de informes de auditorías e inspecciones de seguridad vial para vías concesionadas de Colombia". spa. Accepted: 2020-11-11T16:34:16Z Publisher: Medellín, Colombia. Available at: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/17285> (Accessed August 16, 2023).

Safe System Solutions & Ontario Good Roads Association. (s. f.). Road Safety Audit: Technical guidelines (N.o S20220442-REP-001). <https://safesystemsolutions.com.au>

Sakhapov, R. L., Nikolaeva, R. V., Gatiyatullin, M. H., and Makhmutov, M. M. (2018). Modeling of regional transport and logistics systems. *J. Phys. Conf. Ser.* 1141 (1), 012133.

Salvatore, D. P. (2021). Schaums outline of theory and problems of statistics and econometrics.

Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transporte [SICT]. (2022). Manual de procedimiento para el programa nacional de atención a puntos de conflicto. Autopistas de cuota.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT]. (2018). Manual de Auditorías de Seguridad Vial. https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_Auditoria_Seguridad_Vial/Manual_ASV.pdf

Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT]. (2018). Manual De Proyecto Geométrico De Carreteras. https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/manual-pg/MPGC_2018_16_11_18.pdf

Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT]. (2014). Manual De Señalización Vial Y Dispositivos De Seguridad. <https://sct.gob.mx/normatecaNew/manual-de-dispositivos-para-el-control-del-transito-en-calles-y-carreteras/>

Secretaría De Desarrollo Agrario Territorial Y Urbano [SEDATU]. (2024). Sistema Nacional de Movilidad y Seguridad Vial 2022-2023. [gob.mx. https://www.gob.mx/sedatu/documentos/sistema-nacional-de-movilidad-y-seguridad-vial-2022-2023?state=published](https://www.gob.mx/sedatu/documentos/sistema-nacional-de-movilidad-y-seguridad-vial-2022-2023?state=published)

Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano [SEDATU], Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes [SICT], & Secretaría de Economía. (s. f.). REPORTE ANUAL DE ACTIVIDADES y RESULTADOS SISTEMA NACIONAL DE MOVILIDAD y SEGURIDAD VIAL 2022-2023. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/887522/INFORME_SNMSV.pdf

Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. - Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, DOF, 19/19/2023 [citado 03/04/2024]; Disponible en internet: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5702233&fecha=19/09/2023#gsc.tab=0

Secretaría de Movilidad [SEMOVI]. (2024). PROGRAMA INTEGRAL DE SEGURIDAD VIAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO 2021-2024. https://www.semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/PISVI-2021-2024_.pdf

Secretaría de Salud. (2022). Secretariado Técnico del Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes STCONAPRA. [gob.mx. https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/secretariado-tecnico-del-consejo-nacional-para-la-prevencion-de-accidentes-102486/](https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/secretariado-tecnico-del-consejo-nacional-para-la-prevencion-de-accidentes-102486/)

Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano [SEDATU]. (2019). Manual de calles: diseño vial para ciudades mexicanas. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/509173/Manual_de_calles_2019.pdf

Setyarini, N. L. P. S. E., Prihatiningsih, A., and Tanes, K. (2020). "Safety audit of becakayu toll road," in IOP conference series: materials science and engineering (IOP Publishing). 1007.012100.

Soria, D. A. (2018). Auditorias e inspecciones de seguridad vial en América Latina. Inter-American Development Bank.

Strnad, B. (2018). Road safety audit and road safety inspection on the TEM network. In: Number: ECE/TRANS/NONE/2018/4. Available at: <https://trid.trb.org/view/1539799> (Accessed August 16, 2023).

Taipe Cambillo, J. C., & Quispe Curo, R. (2019). Evaluación de la aplicación de la auditoria de comportamiento seguro para proponer soluciones en la reducción de accidentes en la contratación minera y construcciones

Traffic-Engineering-and-Safety-Unit-Design-Branch-Department-of-Roads-Ministry-of-Works-and-Transport. (1997). Road safety audit manual.

Transport, Department for and Highways Agency of London (2015). Design manual for roads and bridges - road safety audit, HD 19/03. Tech. rep.

Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., ... & Straus, S. E. (2018). PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation. *Annals of internal medicine*, 169(7), 467-473.

UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE [UNECE] (Ed.). (2018). Road Safety Audit and Road Safety Inspection on the TEM network. https://unece.org/DAM/trans/main/tem/Road_Safety_Audit_and_Road_Safety_Inspection_on_the_TEM_Network.pdf

United Nations Road Safety Collaboration (UNRSC) (2011), Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011 – 2020, World Health Organization, Geneva.

Vázquez, D., Fabela, M., Flores, O., Hernández, R., & Blake, C. (2011). Sistemas de seguridad aplicables a vehículos y su aporte para salvar vidas. En Instituto Mexicano del Transporte.

World Bank (2023). Bancomundial. es. Text/HTML 419. Available at: <https://www.bancomundial.org/es/home> (Accessed August 16, 2023).

World Road Association [PIARC]. (2012). Guía de inspecciones viales para la verificación de la seguridad de las carreteras existentes. [https://www.piarc.org/es/pedido-de-publicacion/18265-es-Gu%C3%ADa%20de%20inspecciones%20viales%20para%20la%20verificaci%C3%B3n%20de%20la%20seguridad%20de%20las%20carreteras%20existentes%C2%A0%C2%A0\(en%20ingl%C3%A9s\)](https://www.piarc.org/es/pedido-de-publicacion/18265-es-Gu%C3%ADa%20de%20inspecciones%20viales%20para%20la%20verificaci%C3%B3n%20de%20la%20seguridad%20de%20las%20carreteras%20existentes%C2%A0%C2%A0(en%20ingl%C3%A9s))

Yan, H., Weng, T., Zhu, L., Tang, P., Zhang, Z., Zhang, P., Wang, D., & Lu, Z. (2021). Método de análisis de teorema de límites centrales para la detección de microARN con Nanopores de estado sólido. *ACS aplicado biomateriales*, 4(8), 6394-6403. <https://doi.org/10.1021/acsabm.1c00587>

8 ANEXO

Anexo A

A continuación, se presenta el Formulario de Google creado para la extracción de datos.

El formulario se puede encontrar en el siguiente enlace: <https://acortar.link/M4XCez>.

Extracción de datos

Auditorías de Seguridad Vial (ASV)

Sección I: Características de la publicación, busca caracterizar los datos de la publicación.

Sección II: Detalles del estudio, con el objetivo de obtener la información del caso de estudio se debe extraer minuciosamente las siguientes preguntas.

Sección III: Información relacionada con el estudio, en esta sección se debe presentar las variables consideradas en los casos de estudios y en las propuestas de metodologías para realizar una ASV y su descripción.

NA - No Aplica

[Acceder a Google](#) para guardar el progreso. [Más información](#)

* Indica que la pregunta es obligatoria

Correo electrónico *

Tu dirección de correo electrónico

Sección I: Características de la publicación

Busca caracterizar los datos de la publicación.

Tipo de documento: *

- ☐ Artículo de revista indexada
- ☐ Capítulo de libro arbitrado e indexado
- ☐ Estudio experimental
- ☐ Reporte de la aplicación de lineamientos de una ASV
- ☐ Manual de lineamientos de una ASV
- ☐ Guía que presenta lineamientos de una ASV

Título de publicación *

Tu respuesta

Autor de la publicación *

Tu respuesta

Año de la publicación *

Tu respuesta

Año de vigencia del lineamiento de ASV empleada *

Tu respuesta

Participante o población, para el desarrollo de la revisión de alcance solo se considerarán las publicaciones que incluyan en su análisis al conductor. *

- ☐ Conductor
- ☐ Peatón
- ☐ Ciclista
- ☐ Otros:

Herramientas, se debe detallar sobre las tecnologías o softwares utilizados, como simuladores, paquetes de cómputo, etc. *

Tu respuesta

Sección III: Información relacionada con el estudio

En esta sección se debe presentar las variables consideradas en los casos de estudios y en las propuestas de metodologías para realizar una ASV y su descripción.

Participante o población, para el desarrollo de la revisión de alcance solo se considerarán las publicaciones que incluyan en su análisis al conductor. *

- ☐ Conductor
- ☐ Peatón
- ☐ Ciclista
- ☐ Otros:

Herramientas, se debe detallar sobre las tecnologías o softwares utilizados, como simuladores, paquetes de cómputo, etc. *

Tu respuesta

Sección III: Información relacionada con el estudio

En esta sección se debe presentar las variables consideradas en los casos de estudios y en las propuestas de metodologías para realizar una ASV y su descripción.

Lugar geográfico donde se aplica la ASV, se refiere al caso de estudio de la publicación. *Responder con el nombre del país.* *

Tu respuesta

Sección II: Detalles del estudio

Con el objetivo de obtener la información del caso de estudio se debe extraer minuciosamente las siguientes preguntas.

Métodos, se debe especificar la metodología utilizada para la ASV. *

- ☐ Lista de verificación
- ☐ Estructura de reporte
- ☐ Otros:

Contexto, se debe definir si el caso de estudio está ubicado en un país desarrollado o en vías de desarrollo. *

- ☐ Desarrollado
- ☐ En desarrollo

Participante o población, para el desarrollo de la revisión de alcance solo se considerarán las publicaciones que incluyan en su análisis al conductor. *

- ☐ Conductor
- ☐ Peatón
- ☐ Ciclista
- ☐ Otros:

Herramientas, se debe detallar sobre las tecnologías o softwares utilizados, como simuladores, paquetes de cómputo, etc. *

Tu respuesta

Sección III: Información relacionada con el estudio

En esta sección se debe presentar las variables consideradas en los casos de estudios y en las propuestas de metodologías para realizar una ASV y su descripción.

Factor humano, se debe identificar si fue utilizada esta variable y cuales elementos fueron analizados relacionados al factor humano. *

- ☐ Investigaciones de accidentes anteriores
- ☐ Datos de accidentes (por ubicación, tipo de accidente y gravedad)
- ☐ Informes de auditoría anteriores
- ☐ Percepción visual
- ☐ Necesidades de peatones y ciclistas
- ☐ Puentes peatonales ubicados
- ☐ Cruces peatonales
- ☐ Rutas para peatones y ciclistas donde sea necesario
- ☐ Otros:

Factor carretero o de proyecto, se debe detallar si fue utilizada esta variable y *
cuales elementos fueron analizados relacionados al factor carretero.

- ☐ Planos de diseño
- ☐ Datos de volumen
- ☐ Datos de velocidad
- ☐ Clasificación funcional de la calzada
- ☐ Tipo de vía
- ☐ Trazado de calzada
- ☐ Alineación horizontal
- ☐ Alineación vertical
- ☐ Distancia de visibilidad
- ☐ Intersección: forma de cruce, posición, ángulo, distancia visual
- ☐ Gestión del tráfico
- ☐ Drenaje
- ☐ Valla
- ☐ Mobiliario de carretera: valla, delineador, cojín, barrera, joroba, área de descanso, área de estacionamiento
- ☐ Señalización vial
- ☐ Iluminación
- ☐ Zona de trabajo y manejo de accidentes
- ☐ Clima y características naturales
- ☐ Distractores visuales
- ☐ Diseño geométrico
- ☐ Instalaciones viales
- ☐ Edificios complementarios

- ☐ Peralte
- ☐ Resistencia al deslizamiento en la carretera
- ☐ Puentes, diseño de alineación, pilares, etc.
- ☐ Plantas, vegetación
- ☐ Estructuras de ingeniería civil
- ☐ Instalaciones de seguridad
- ☐ Semáforos
- ☐ áreas de servicio y descanso
- ☐ Otros:

Factor vehicular, se debe especificar si fue utilizada esta variable y cuales elementos fueron analizados relacionados al factor vehicular. *

Tu respuesta

Nota adicional: *

Tu respuesta

Anexo B

A continuación, se presenta el listado de accidentes y sus ubicaciones pertenecientes al tramo de estudio.

Ubicación	Accidentes	Ubicación	Accidentes	Ubicación	Accidentes	Ubicación	Accidentes
56400	35	57500	6	58600	20	60600	39
56420	7	57560	4	58620	2	60620	2
56440	4	57660	1	58640	3	60640	2
56460	1	57700	5	58700	18	60680	1
56500	14	57760	1	58740	1	60700	23
56520	7	57800	3	58800	26	60800	13
56600	7	57850	1	58880	1	60880	1
56620	2	57860	1	58900	9	60900	4
56640	1	57900	5	59000	5	60950	1
56700	4	57940	1	59100	2	61000	15
56740	1	58000	14	59200	2	61040	1
56800	2	58050	1	59300	4	61100	13
56820	1	58060	1	59400	2	61150	1
56840	4	58100	2	59460	1	61160	1
56880	1	58160	1	59550	4	61200	7
56900	18	58200	2	59560	2	61280	1
56920	2	58300	5	59700	2	61300	26
56940	1	58400	6	59800	6	61350	1
56980	1	58440	4	59900	1	61380	1
57000	25	58500	15	60000	6	61400	53
57020	2	58520	2	60200	4	61440	2
57040	2	58530	7	60240	1	61450	8
57100	2	58540	9	60300	4	61460	2
57300	1	58558	1	60400	6	61500	48
57400	3	58580	1	60500	18	61600	12
63100	2	57050	1	63300	2	59600	2
63160	1	52450	1	63360	1	55250	1
63200	2	45900	2	63380	1	42400	1
62200	2	64000	2	62100	1	63820	1
62300	3	42450	1	62150	1	63900	3
61900	1	63700	5	61650	1	63420	1
62000	8	63800	1	61700	3	63450	1

Ubicación	Accidentes	Ubicación	Accidentes	Ubicación	Accidentes	Ubicación	Accidentes
46050	1	46900	2	48600	1	50820	2
46100	3	47000	3	48700	1	50840	2
46120	2	47100	2	48740	1	50850	2
46200	4	47200	2	48750	1	50900	4
46300	9	47500	3	48800	9	50920	2
46350	1	47600	1	48840	1	51000	14
46360	1	47640	1	48900	16	51050	1
46400	12	47700	2	48940	1	51100	10
46440	1	47740	2	49000	7	51120	1
46460	3	47800	1	49040	1	51150	1
46500	12	47840	2	49050	1	51200	7
46550	7	48000	6	49100	6	51220	1
46600	8	48040	1	49140	1	51250	1
46620	1	48100	4	49150	1	51280	3
46640	9	48140	1	49200	10	51300	7
46660	1	48200	3	49250	1	51400	4
46690	1	48300	1	49300	6	51480	2
46700	5	48400	1	49400	3	51500	6
46740	1	48500	1	49500	32	51560	1
46800	4	48540	1	49520	1	51580	4
50400	29	50600	27	50670	1	51600	5
50420	4	50620	8	50700	28	51620	2
50450	2	50640	1	50720	8	51630	1
50500	27	50650	1	50750	2	51700	2
50520	4	50660	2	50800	15	51780	1
62800	5	53450	1	63020	2	46750	1
62900	2	45250	1	62600	6	53350	1
63000	1	53150	1	62620	1	50150	1
62400	2	44350	1	47900	1	61720	1
62500	3	47300	1	61850	2	61800	6
63460	1	63500	3	63600	2		

Ubicación	Accidentes	Ubicación	Accidentes	Ubicación	Accidentes	Ubicación	Accidentes
51800	8	52740	1	53850	1	55120	2
51850	1	52750	1	53860	1	55150	1
51880	1	52800	7	53900	9	55200	7
51900	14	52840	1	53940	1	55300	16
51980	2	52900	6	53950	1	55400	8
52000	27	52980	1	53960	1	55500	23
52080	1	53000	11	54000	2	55540	1
52100	5	53040	1	54040	1	55600	3
52120	1	53100	4	54100	2	55650	2
52180	1	53200	5	54200	1	55700	12
52200	11	53300	14	54250	1	55800	10
52240	1	53360	3	54300	3	55850	1
52250	1	53400	19	54400	2	55900	7
52280	1	53460	2	54500	8	56000	12
52300	10	53500	21	54600	7	56100	11
52340	2	53550	1	54700	2	56180	1
52350	1	53560	3	54800	13	56200	17
52400	7	53570	6	54820	1	56220	1
52440	3	53600	13	54880	1	56250	1
52500	4	53650	1	54900	17	56260	1
52540	5	53660	2	54950	2	56300	178
52550	1	53680	1	55000	53	56320	1
52600	1	53700	10	55020	1	56340	3
52640	1	53780	1	55050	3	56350	3
52700	2	53800	6	55100	30	56380	1

Ubicación	Accidentes	Ubicación	Accidentes	Ubicación	Accidentes	Ubicación	Accidentes
42000	3	43800	6	44600	13	45200	7
42100	2	43880	2	44640	1	45260	1
42200	2	43900	5	44650	8	45300	15
42300	2	44000	3	44660	3	45320	1
42500	1	44050	1	44700	6	45350	2
42600	1	44100	3	44720	1	45400	18
42700	3	44140	4	44800	6	45420	2
42800	1	44200	2	44860	2	45460	1
42900	1	44220	1	44900	8	45500	21
43000	9	44260	1	44950	1	45520	2
43100	8	44300	12	44960	3	45550	1
43150	2	44360	1	45000	39	45600	9
43200	21	44380	1	45020	1	45620	1
43300	18	44400	17	45050	6	45700	6
43360	1	44440	3	45060	5	45760	1
43400	13	44450	1	45075	1	45800	10
43500	16	44460	2	45100	31	45820	1
43600	8	44500	29	45120	1	45850	1
43700	3	44550	1	45140	1	45950	1
43780	1	44560	3	45160	8	46000	6
49550	1	49680	2	49950	1	50300	27
49600	36	49700	76	49960	1	50320	4
49620	1	49800	52	50000	12	50350	1
49640	2	49850	1	50100	10	50360	1
49650	3	49900	17	50200	9	50380	1