

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“Identificación de puntos negros en carreteras mediante el análisis del árbol de fallas y límites de seguridad de los vehículos: vía nacional PE 3N Huánuco - Cerro de Pasco, 2024”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Yali Ricaldi, Angelo Maxwoel

ASESOR: Valdivieso Echevarría, Martin Cesar

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANCAYO
<http://www.udh.edu.pe>

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Transporte
AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería y Tecnología

Sub área: Ingeniería Civil

Disciplina: Ingeniería Civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 70892618

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22416570

Grado/Título: Maestro en gestión pública

Código ORCID: 0000-0002-0579-5135

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Trujillo Ariza, Yelen Lisseth	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	70502371	0000-0002-5650-3745
2	Benites Diego, Leonel	Maestro en diseño y construcción de obras viales	48228255	0009-0005-1083-189X
3	Arteaga Espinoza, Ingrid Delia Dignarda	Maestro en dirección de proyectos	73645168	0009-0001-0745-5433

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO(A) CIVIL**

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:00 horas del día **jueves 24 de julio de 2025**, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

❖ MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA	PRESIDENTE
❖ MG. LEONEL BENITES DIEGO	SECRETARIO
❖ MG. INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA	VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 1486-2025-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS NEGROS EN CARRETERAS MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL ÁRBOL DE FALLAS Y LÍMITES DE SEGURIDAD DE LOS VEHÍCULOS: VIA NACIONAL PE 3N HUÁNUCO - CERRO DE PASCO", presentado por el (la) Bachiller. Bach. Angelo Maxwoel YALI RICARDI, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) Aprobado por Mayoría con el calificativo cuantitativo de 11 y cualitativo de Suficiente (Art. 47).

Siendo las 18:00 horas del día 24 del mes de julio del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.



MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA
DNI: 70502371
ORCID: 0000-0001-5650-3745
PRESIDENTE



MG. LEONEL BENITES DIEGO
DNI: 48228255
ORCID: 0009-0005-1083-189X
SECRETARIO (A)



MG. INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA
DNI: 73645168
ORCID: 0009-0001-0745-5433
VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: ANGELO MAXWOEL YALI RICARDI, de la investigación titulada "IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS NEGROS EN CARRETERAS MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL ÁRBOL DE FALLAS Y LÍMITES DE SEGURIDAD DE LOS VEHÍCULOS: VIA NACIONAL PE 3N HUÁNUCO - CERRO DE PASCO", con asesor(a) MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1002-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 23 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 27 de junio de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

202. Angelo Maxwoel Yali Ricaldi.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

23%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

[idoc.pub](#)

Fuente de Internet

7%

2

[tesis.unap.edu.pe](#)

Fuente de Internet

4%

3

[hdl.handle.net](#)

Fuente de Internet

3%

4

[repositorio.unheval.edu.pe](#)

Fuente de Internet

2%

5

[repositorioslatinoamericanos.uchile.cl](#)

Fuente de Internet

1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO

D.N.I.: 47074047

cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA

D.N.I.: 71345687

cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios, porque gracias a él he logrado concluir mi carrera; a mis padres, porque siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacerme una mejor persona; a mis hermanos, porque por sus palabras y su compañía; a mis amigos, compañeros; y a todas las personas que han ayudado a lograr mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

Al concluir una etapa maravillosa de mi vida, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a aquellos que hicieron posible este sueño; aquellos que siempre caminaron junto a mí y fueron inspiración, apoyo y fortaleza. Esta mención es especialmente dedicada a Dios y a mis padres. Muchas gracias por demostrar que el amor verdadero es el deseo constante de ayudar al otro para superar la adversidad

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
INDICE DE TABLAS	VII
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	XI
CAPÍTULO I	12
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	13
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	13
1.3. OBJETIVOS.....	14
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	14
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.5. LIMITACIONES.....	16
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	17
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL	18
2.1.2. A NIVEL NACIONAL	19
2.1.3. A NIVEL LOCAL	21

2.2. BASES TEÓRICAS.....	23
2.2.1. PUNTOS NEGROS EN CARRETERAS	23
2.2.2. MÉTODO DEL ÁRBOL DE FALLAS FTA	35
2.2.3. LÍMITES DE SEGURIDAD DE LOS VEHÍCULOS	43
2.2.4 TIPOS DE ACCIDENTES	47
2.2.5 MODOS DE FALLA DE LOS VEHÍCULOS.....	48
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	49
2.4. HIPÓTESIS.....	51
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	51
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	52
2.5. VARIABLES.....	52
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE	52
2.5.2 VARIABLES INDEPENDIENTES.....	52
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)	53
CAPÍTULO III.....	56
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	56
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	56
3.1.1. ENFOQUE	56
3.1.2. ALCANCE O NIVEL.....	57
3.1.3. DISEÑO	58
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	58
3.2.1. POBLACIÓN	58
3.2.2. MUESTRA	59
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS ...	60
CAPÍTULO IV.....	62
RESULTADOS.....	62

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	62
4.2 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	79
CAPÍTULO V.....	80
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	80
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES.....	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Zonas de concentración de accidentes.....	25
Tabla 2	Indicadores de desempeño.....	28
Tabla 3	Ponderación de los accidentes	34
Tabla 4	Operacionalización de Variables.....	54
Tabla 5	Instrumentos metodológicos y físicos para la recolección de datos	60
Tabla 6	Volumen de tránsito mensual del peaje Cerro de Pasco – Huánuco	63
Tabla 7	Distribución de accidentes de tránsito entre los años 2018-2023 ...	65
Tabla 8	Análisis de correlación entre el volumen de tránsito y los accidentes de tránsito	66
Tabla 9	Datos de accidentes de tránsito y Tráfico Promedio Diario Anual ..	67
Tabla 10	Probabilidades de eventos básicos.....	68
Tabla 11	Probabilidades de los accidentes de tránsito por tramo.....	69
Tabla 12	Probabilidad para la determinación de punto negros	78
Tabla 13	Puntos negros.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación Zonas de Concentración de Accidentes.	24
Figura 2 Gravedad de los accidentes	30
Figura 3 Segmentación	32
Figura 4 Modelo de dirección de vehículos con dos grados de libertad.....	40
Figura 5 Unidad de peaje Ambo	62
Figura 6 Flujo vehicular en el peaje Ayaviri	63
Figura 7 Flujo vehicular anual en el peaje Ambo	64
Figura 8 Distribución de accidentes de tránsito en la vía.....	65
Figura 9 Árbol de falla FAT	68
Figura 10 Árbol de falla FAT colocando las probabilidades de los eventos básicos.....	69
Figura 11 Diagrama FTA para el Tramo N°2	70
Figura 12 Diagrama FTA para el Tramo N°3	71
Figura 13 Diagrama FTA para el Tramo N°4	71
Figura 14 Diagrama FTA para el Tramo N°5	72
Figura 15 Diagrama FTA para el Tramo N°6	72
Figura 16 Diagrama FTA para el Tramo N°9	73
Figura 17 Diagrama FTA para el Tramo N°10	73
Figura 18 Diagrama FTA para el Tramo N°11	74
Figura 19 Diagrama FTA para el Tramo N°16	74
Figura 20 Diagrama FTA para el Tramo N°17	75
Figura 21 Diagrama FTA para el Tramo N°18	75
Figura 22 Diagrama FTA para el Tramo N°19	76
Figura 23 Diagrama FTA para el Tramo N°23	76
Figura 24 Diagrama FTA para el Tramo N°24	77
Figura 25 Diagrama FTA para el Tramo N°25	77

RESUMEN

Este estudio busca evitar los accidentes viales producidos en los puntos negros de la vía nacional PE 3N Huánuco - Cerro de Pasco a través de la elaboración de un plan de mitigación. Este plan se logró a través del estudio, conforme a la legislación actual, del diseño geométrico de las carreteras y sus sistemas de regulación del tránsito. Los puntos negros, son segmentos de la red de carreteras donde ocurren una gran cantidad de accidentes viales y que superan considerablemente el valor promedio de zonas de características parecidas. Para establecer la localización de los puntos negros en la carretera nacional PE 3N Huánuco - Cerro de Pasco, se utilizó el método del árbol de fallas, generando varios esquemas que ayudaron a efectuar evaluaciones y análisis de datos suministrados por las distintas comisarias encargadas de esta vía. Por consiguiente, se concluyó que el método del árbol de fallas es el más eficaz en la detección de los puntos negros. Se determinó que había 10 puntos negros en la carretera nacional PE 3N Huánuco - Cerro de Pasco. Luego, se realizó una comparación de los parámetros obtenidos en terreno con los definidos en los manuales de diseño geométrico, así como con la señalización, conforme a las normativas actuales. Con el fin de identificar todos los puntos negros de la carretera con el propósito de disminuir los accidentes viales, confiamos en que esta información sea útil.

PALABRAS CLAVE: Puntos Negros, diseño geométrico, árbol de fallas, límite de seguridad, señalización

ABSTRACT

This study seeks to prevent traffic accidents occurring at the black spots on the Huánuco-Cerro de Pasco National Highway PE 3N through the development of a mitigation plan. This plan was achieved through a study, in accordance with current legislation, of the geometric design of roads and their traffic regulation systems. Black spots are segments of the road network where a large number of traffic accidents occur, considerably exceeding the average rate for areas with similar characteristics. To establish the location of the black spots on the Huánuco-Cerro de Pasco National Highway PE 3N, the fault tree method was used, generating several schemes that helped evaluate and analyze data provided by the various police stations in charge of this highway. Consequently, it was concluded that the fault tree method is the most effective in detecting black spots. It was determined that there were 10 black spots on the Huánuco-Cerro de Pasco National Highway PE 3N. The parameters obtained in the field were then compared with those defined in the geometric design manuals, as well as with the signage, in accordance with current regulations. We hope this information will be useful in identifying all the road's black spots and reducing traffic accidents.

KEY WORDS: Black Spots, Geometric Design, Fault Tree, Safety Limit, Signaling

INTRODUCCIÓN

La seguridad vial es un desafío crucial en la gestión de carreteras, especialmente en regiones como Huánuco, donde factores geométricos, operativos y climáticos aumentan significativamente los riesgos. La carretera nacional PE 3N Huánuco – Cerro de Pasco se caracteriza por presentar múltiples puntos críticos, conocidos como puntos negros, donde se concentra un alto número de accidentes, superando los promedios de siniestralidad en tramos similares. Según los datos presentados por la SUTRAN (2022), el tramo sujeto a estudio es determinada como la que presenta mayor incidencia de accidentes a nivel nacional, convirtiéndose en una problemática a tratarse de manera inmediata por las autoridades correspondientes.

Dentro del estudio se propone determinar la influencia combinada de factores clave en la identificación y caracterización de los puntos negros para lo cual se va a emplear el método de árbol de fallas (FTA) con el fin de identificar puntos críticos dentro del tramo delimitado sujeta a investigación, para lo cual se empleará un enfoque deductivo para determinar las causas de los accidentes. Así mismo, se le adiciona un análisis de diseño geométrico de la carretera, tomando en cuenta condiciones propias de la carretera (visibilidad y señalización) y eventos vehiculares (límites de seguridad).

El trabajo de investigación brinda como resultados conocimientos técnicos, prácticos y sociales sobre seguridad vial, poniendo en evidencia una problemática a ser resuelta por las autoridades competentes en un corto periodo de tiempo, implementando soluciones para mejorar infraestructura de la carretera que permita un tránsito fluido y una menor frecuencia de accidentes o reduciendo la gravedad de los mismos.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las carreteras se ven deterioradas por diversos factores los cuales incrementan la incidencia de accidentes dentro de los tramos afectados, esto es conocido como puntos negros, causando preocupación a los usuarios que transitan con sus vehículos; la problemática en cuestión se ve determinada principalmente por la geometría de la carretera, condición vehicular, señalización inadecuada y visibilidad de zonas (Guillermo, 2018).

Los denominados puntos negros también pueden ser ocasionados por la distribución de curvas peligrosas dentro de tramos cortos, factores climatológicos o interacciones de los usuarios como sobrepasar los límites de velocidad permitidos o incrementos brusco de velocidad; la oportuna intervención de las autoridades pertinentes que se realiza mediante estrategias que permitan realizar el proceso de identificación, análisis e implementación de mecanismo sobre las causas de accidentes es primordial para mejorar la seguridad vial y evitar accidentes de cualquier magnitud brindando seguridad a la población (Quispe, 2020).

En el caso de la carretera 3N que conecta Huánuco con Cerro de Pasco, ubicada en Perú, enfrenta una problemática significativa debido a problemas de diseño y operatividad. Esta vía presenta desafíos en términos de geometría vial inadecuada, curvas peligrosas, pendientes pronunciadas y falta de señalización adecuada. Estos problemas de diseño pueden contribuir a situaciones de riesgo para los conductores, aumentando la probabilidad de accidentes y afectando la seguridad vial en la zona (Javier, 2023).

Dentro del reporte emitido por la SUTRAN (2022) acerca de los accidentes dentro de las vías nacionales del Perú, se evidencia que el tramo en estudio que abarca PE 3N comprendiendo los kilómetros desde 138.3 hasta 209 se encuentra dentro de los 10 primeros que presentan mayor reporte de accidentes a nivel nacional. Además, la SUTRAN (2022) indica que en el ranking de las vías con mayor Cantidad de accidentes de tránsito con y

sin consecuencias, fallecidos y heridos en vías nacionales y urbanas a febrero del año 2022, se encuentra la vía PE 3N en el quinto lugar, lo que indica la considerable accidentabilidad en esta vía.

Además, la operatividad de la carretera 3N puede estar comprometida por deficiencias en el mantenimiento, falta de iluminación, señalización deficiente, presencia de obstáculos en la vía y condiciones climáticas adversas que dificultan la circulación segura de vehículos. Estos problemas operativos pueden agravar la situación en puntos críticos de la carretera, creando áreas de alto riesgo o puntos negros donde la probabilidad de accidentes es mayor (Defensoría del Pueblo, 2016).

Para abordar esta problemática en la carretera 3N, se requiere una evaluación integral de la infraestructura vial, identificación de áreas y puntos de riesgo, implementación de medidas de seguridad vial adecuadas y un plan de mantenimiento efectivo para mejorar la operatividad y reducir la incidencia de accidentes en esta importante vía de comunicación en Perú.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo influyen los tipos de accidentes, los límites de seguridad de los vehículos y los modos de falla en la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

Problema específico 1

¿De qué manera los diferentes tipos de accidentes contribuyen a la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas?

Problema específico 2

¿Cómo influyen los límites de seguridad de los vehículos en la ocurrencia de accidentes en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas?

Problema específico 3

¿Cuál es la relación entre los modos de falla de los accidentes y la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas?

Problema específico 4

¿Cómo influye la combinación de tipos de accidentes, límites de seguridad de los vehículos y modos de falla en la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas?

Problema específico 5

¿Cómo influye la geometría de la vía en la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas?

Problema específico 6

¿De qué manera la visibilidad en los puntos negros causa y afecta la ocurrencia de accidentes en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia combinada de los tipos de accidentes, los límites de seguridad de los vehículos y los modos de falla en la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OE1: Analizar cómo los diferentes tipos de accidentes contribuyen a la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.

OE2: Evaluar la influencia de los límites de seguridad de los vehículos en la ocurrencia de accidentes en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.

OE3: Establecer la relación entre los modos de falla de los accidentes y la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.

OE4: Determinar la influencia combinada de los tipos de accidentes, los límites de seguridad de los vehículos y los modos de falla en la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.

OE5: Analizar la geometría de la vía y su relación con la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.

OE6: Evaluar las causas y efectos de cómo la visibilidad en los puntos negros afecta la ocurrencia de accidentes en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Justificación Teórica

El estudio realizado en la carretera PE 3N Cerro de Pasco – Huánuco brinda y certifica conocimientos preexistentes acerca de seguridad vial y diseño de carreteras mediante un análisis de causas principales de la problemática, así mismo, el trabajo de investigación permite servir como base en el desarrollo de estrategias para abordar la operatividad de carreteras dentro de características topográficas y climatológicas idénticas.

Justificación Práctica

El estudio brinda permitirá afrontar la problemática de puntos negros en la carretera PE 3N mediante las acciones de las autoridades viales y responsables de infraestructura vial a nivel nacional con el fin de reducir accidentes de tránsito y mejorar la experiencia del usuario que transite por esta zona.

Justificación Metodológica

La investigación se basará en el uso del método del árbol de fallas para identificar de manera sistemática los posibles eventos que podrían llevar a accidentes en la vía. Este enfoque permitirá analizar de forma detallada las causas subyacentes de los problemas de seguridad vial y diseñar estrategias efectivas para prevenirlos. Además, se empleará el concepto de límite de

seguridad de los vehículos para evaluar la capacidad de estos para enfrentar situaciones de riesgo en la carretera. Al establecer estos límites de seguridad, se podrá determinar de manera precisa las condiciones en las que los vehículos podrían perder el control o estar expuestos a peligros, lo que ayudará a definir medidas de prevención y protección para los usuarios de la vía.

La combinación del método del árbol de fallas y el límite de seguridad de los vehículos en esta investigación proporcionará un enfoque integral y riguroso para el análisis de la seguridad vial en la carretera PE 3N Huánuco – Cerro de Pasco. Esta metodología permitirá identificar de manera precisa los factores de riesgo, evaluar la vulnerabilidad de los vehículos ante estos riesgos y proponer soluciones efectivas para mejorar la seguridad y operatividad de la vía.

Justificación Social

Identificar la problemática existente en el tramo PE-3N favorecerá a la población en general en los aspectos primordiales de economía y salud, salvaguardando la integridad de la persona previniendo accidentes de tránsito y disminuyendo un gasto económico en los vehículos que transcurran rutinariamente por daño material.

1.5. LIMITACIONES

Las limitaciones de una investigación, según refiere Avello et al., (2019) son aspectos que pueden restringir su validez, aplicabilidad e interpretación de los resultados a continuación se presentan algunas limitaciones que podrían surgir en el desarrollo de la investigación:

Al desarrollar la investigación en la carretera PE 3N Huánuco - Cerro de Pasco, es importante considerar algunas posibles limitaciones que podrían surgir durante el proceso que podrían incluir;

Disponibilidad y calidad de datos

La investigación podría enfrentar limitaciones en cuanto a la disponibilidad y calidad de los datos necesarios para realizar un análisis exhaustivo de la seguridad vial en la carretera PE 3N Huánuco – Cerro de Pasco; desataca la desactualización de datos relevantes respecto al tramo sujeta a estudio.

Complejidad de los factores involucrados

La seguridad vial es producto de la unión de la buena práctica de

manejo por parte de los conductores teniendo consideración sobre señalización y estado de carretera sumando a ello encontramos los aspectos ambientales y diseño de infraestructura propiamente de cada tramo. La variabilidad constante de estos factores debido a las conductas humanas suele intervenir directamente sobre la identificación y evaluación de medidas de seguridad.

Cambios en las condiciones de la carretera

El tramo sujeta a estudio está sujeta a variación, a causa de obras de mantenimiento o incremento de tráfico, este puede afectar directamente sobre los resultados mostrados dentro de la investigación.

Al abordar estas posibles limitaciones de manera proactiva y adoptando estrategias para mitigar su impacto, se podrá fortalecer la validez y relevancia de la investigación en la carretera PE 3N Huánuco - Cerro de Pasco.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Viabilidad Económica

Dentro de la presente investigación, se utilizó recursos materiales y humanos el cual fue asumido y facilitado en su totalidad por el investigador, siendo los gastos principales en movilidad y adquisición de materiales para realizar un análisis correcto de la variable, la inversión económica se puede identificar a detalle en la sección 4.2.

Viabilidad Ética

La viabilidad ética de la investigación se fundamenta en el respeto a los principios éticos fundamentales, la protección de los participantes y la minimización de riesgos potenciales. Para garantizar esto, se implementará el proceso de consentimiento informado, asegurando que los participantes comprendan plenamente los objetivos, procedimientos y posibles riesgos del estudio antes de su participación. Asimismo, se velará por la privacidad y confidencialidad de los datos recopilados, asegurando un manejo seguro de la información.

Viabilidad Operativa

El éxito en la ejecución de este estudio está condicionado a la disponibilidad de recursos humanos, técnicos y financieros adecuados, así como a la capacidad de planificación, implementación y comunicación efectiva de la investigación. Se realizarán las acciones necesarias para garantizar la adecuada gestión de estos aspectos y asegurar la operatividad eficiente del estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL

Vergara (2023), en su tesis titulada "Lineamientos para la determinación de tramos de concentración de accidentes de tránsito en vías rurales a través de la estimación del índice de siniestralidad-caso de estudio vía Cereté–Lorica (Córdoba, Colombia)–APP-IP conexión departamentos Antioquia–Bolívar", tuvo como objetivo mejorar la seguridad vial y reducir la incidencia de accidentes de tránsito en carreteras rurales mediante la identificación de tramos críticos de accidentes. Para lograr este propósito, el estudio desarrolló una metodología adecuada que identifica los tramos de carretera con mayor frecuencia de accidentes, utilizando como caso de estudio el tramo de la carretera Cereté-Lorica en el departamento de Córdoba.

La metodología incluyó una revisión exhaustiva de la literatura y normativas relacionadas, adaptándolas a las condiciones locales, y aplicó los índices de siniestralidad y el método de la ventana deslizante para definir un umbral de evaluación. Esta metodología fue validada con registros históricos de accidentes y evaluada mediante indicadores de desempeño como el número de accidentes prevenidos y la reducción de lesiones y fatalidades. Los resultados obtenidos son relevantes para las autoridades de tránsito y transporte, proporcionando información crucial para implementar medidas preventivas y asignar recursos eficientemente. El método desarrollado, especialmente el uso de la ventana deslizante incorporando el índice de severidad, demostró ser efectivo en identificar un mayor número de tramos críticos de accidentes, capturando patrones de accidentes graves y abordando de manera integral la problemática de la siniestralidad en las vías rurales.

Rodríguez (2019), en su tesis titulada "Análisis de sitios de concentración de choques viales mediante la utilización de sistemas móviles para el inventario de carreteras en la Ruta Nacional 1", tuvo como objetivo identificar los puntos críticos de accidentes en la Ruta Nacional 1 utilizando sistemas móviles de mapeo de carreteras y el método de exceso de frecuencia de choques esperado con ajuste de Bayes Completo. La metodología de la investigación fue cuantitativa y descriptiva, evaluando variables geométricas, operativas y funcionales del tráfico, así como características del pavimento obtenidas mediante el sistema del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme UCR) y datos externos. Los resultados concluyeron que el Índice de Regularidad Internacional (IRI) y la deflectometría de impacto (FWD) influyen en la frecuencia de accidentes, mostrando un aumento del 15.03% en la frecuencia de choques por kilómetro asociado al incremento del IRI, y que un aumento en el FWD se relaciona con una reducción en la frecuencia de choques, posiblemente debido a mejoras en el confort y las velocidades de operación. Además, se desarrolló el primer modelo en Costa Rica que incorpora el ancho de carril como variable significativa, revelando un aumento en la exposición al riesgo. Rodríguez recomendó medidas para reducir la severidad y ocurrencia de accidentes viales basadas en visitas de campo y registros de accidentes, profundizando en variables relacionadas con la geometría del tráfico y las características del pavimento.

2.1.2. A NIVEL NACIONAL

Pampamallco y Huaquisto (2020), en su tesis titulada "Ubicación y evaluación de los puntos negros en la vía Juliaca-Marangani entre los

años 2013-2018 y formulación de un plan de mitigación para su prevención", tuvieron como objetivo analizar el diseño geométrico y la correcta instalación de dispositivos de control de tránsito en la vía Juliaca-Marangani, considerando su influencia en la aparición de puntos negros según la normativa vigente. La metodología fue aplicada y descriptiva, sin experimentación directa, empleando técnicas como el índice de peligrosidad, el método de la tasa de accidentes, el método del número de accidentes, el método del control de calidad de la tasa y el método del número-tasa para identificar puntos negros. Se concluyó que el método del control de calidad de la tasa es el más efectivo, identificando 12 puntos negros en la vía. Los parámetros obtenidos en campo se contrastaron con los manuales de diseño geométrico y las normas de señalización vigentes, formulando un plan de mitigación para reducir los accidentes de tránsito, información que se espera sea útil para PROVIAS – Nacional.

Quispe (2020), en su tesis titulada "Metodologías de determinación de puntos negros y sus efectos en la reducción de los accidentes de tránsito, en el distrito de Huancayo-2019", tuvo como objetivo principal identificar la metodología más efectiva para la reducción de los efectos de los accidentes de tránsito en el Distrito de Huancayo, utilizando datos de accidentes del Área Estadística de la Región Policial de Junín durante el periodo 2016-2018. El estudio describe tres metodologías: primero, el Sistema de Posicionamiento e Información de Accidentes de Tráfico (SPIS) que determina puntos negros basados en la frecuencia, ratio y severidad de los accidentes, identificando 28 puntos negros; segundo, la metodología del control de calidad de la tasa que identifica puntos negros basándose en la frecuencia y ratio de los accidentes, identificando 26 puntos negros; y finalmente, la metodología del Ministerio de Salud (MINSA) que analiza la severidad de los accidentes sin identificar puntos negros en este estudio. Se concluye que la metodología del SPIS es la más efectiva para reducir los efectos de los accidentes de tránsito en el Distrito de Huancayo, dado que considera variables importantes relacionadas con la frecuencia, ratio y severidad de los accidentes.

Lopinta (2019), en su tesis titulada "Auditoría operativa de los puntos negros en la infraestructura vial en el tramo Cusco-Urcos. Periodo: 2016-2017", tuvo como objetivo determinar la situación actual de la medición del desempeño de los "Puntos Negros" de la infraestructura vial en el tramo Cusco-Urcos durante el periodo 2016-2017 mediante una auditoría operativa como sistema de evaluación. La hipótesis general planteada fue que la evaluación actual de estos "Puntos Negros" a través de la auditoría operativa es deficiente, y que abordar estos aspectos mediante esta herramienta es crucial para cerrar las brechas identificadas. La metodología utilizada incluyó la revisión y evaluación de elementos clave como la política empresarial y la efectividad de los controles operativos, alineados con los objetivos de productividad. La investigación concluyó que la auditoría operativa es una herramienta fundamental de gestión organizacional que permite una revisión exhaustiva y evaluación eficaz de los "Puntos Negros", mejorando así la gestión de la infraestructura vial.

2.1.3. A NIVEL LOCAL

Javier (2023) llevó a cabo un estudio descriptivo transversal en el punto negro "Curva del Diablo", ubicado en el Km 140.5 de la vía Cerro de Pasco – Huariaca. El objetivo fue evaluar el cumplimiento de los factores viales con las normativas DG-2018 y DGT-2014, así como identificar las posibles causas de la alta incidencia de accidentes en este lugar. La metodología incluyó la medición de velocidades de giro reales para diferentes tipos de vehículos y la evaluación de elementos estables de la vía y del entorno. Se encontró una discrepancia significativa entre las velocidades reales de los vehículos y las máximas de operación para curvas horizontales según la norma DG-2018. Además, se determinó que los elementos estables de la vía y del entorno no cumplen con los estándares establecidos. Este estudio concluyó que existen factores viales inadecuados en la "Curva del Diablo", lo que contribuye a la alta tasa de accidentes en el lugar.

Servantes y Alvino (2023) investigaron la "Relación entre la accidentalidad y parámetros geométricos en la vía nacional Pe-18b

tramo: Puente Rancho–Panao–Chaglla en el Departamento de Huánuco". El objetivo principal fue analizar la relación entre eventos de accidentalidad y parámetros de diseño geométrico en tramos peligrosos de carreteras mediante un enfoque cuantitativo y correlacional con diseño no experimental y muestreo no probabilístico. Utilizando el método del Transportation Research Board (TRB) de Estados Unidos, identificaron 10 tramos peligrosos con alta frecuencia de accidentes, denominados Tramos de Concentración de Accidentes (TCA). Se extrajeron parámetros geométricos de cada accidente en los TCA para buscar una ecuación de relación. Sin embargo, los análisis iniciales mostraron una baja confiabilidad en los datos obtenidos mediante MATLAB ($R^2 = 0.32$), validando resultados solo para tramos curvos ($R^2 = 0.59$). Se observó una correlación significativa entre la alta incidencia de accidentes y parámetros como el radio de curvatura, indicando que curvas con radios más pequeños presentan mayores riesgos. Concluyeron que ninguno de los tramos evaluados cumplía con los estándares de clasificación y diseño geométrico de carreteras vigentes, destacando la necesidad urgente de mejorar las condiciones de infraestructura para reducir la incidencia de accidentes en la vía estudiada.

Daga (2019), en su tesis titulada "Evaluación del radio de curvatura en la accidentabilidad en la carretera Nacional Ruta pe-5n Von Humboldt km 328+422-Aguaytia km 403+822 en el periodo 2016-2018 en el departamento de Ucayali", tuvo como objetivo analizar las curvas horizontales y su influencia en la accidentabilidad vial en la carretera nacional ruta PE-5N Humboldt km 328+422 - Aguaytía km 403+822 durante el periodo 2016-2018. La metodología adoptó un enfoque cuantitativo con alcance descriptivo y de tipo aplicada, siendo de naturaleza de campo con un diseño no experimental de tipo transversal correlacional. El universo de estudio fue la mencionada carretera, donde se analizaron los radios de giro y el número de accidentes ocurridos entre 2016 y 2018, seleccionando intencionalmente una muestra de 75 tramos correspondientes a 75 kilómetros de la carretera. Como resultado, se identificaron 5 tramos de

concentración de accidentes de tránsito (TCA), concluyendo que las curvas horizontales influyen significativamente en la accidentabilidad vial de la ruta. Se estableció una relación directa entre los elementos geométricos, especialmente el radio de curvatura, y la presencia de TCA, debido a que no cumplen con las especificaciones del manual iDG-2018. Además, se observó que la mejora de la señalización podría contribuir a la reducción de accidentes.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. PUNTOS NEGROS EN CARRETERAS

Control por Concentración de Accidentes. El control por concentración de accidentes se refiere a identificar áreas específicas donde ocurren un número significativo de accidentes de tránsito. Estos eventos son el resultado de una combinación de factores relacionados con conductores, vehículos, infraestructura, tráfico y condiciones ambientales, que resultan en situaciones imprevistas. Se ha establecido que, en gran medida, el factor humano es determinante en estos incidentes. Sin embargo, mejorar las características de los vehículos y la infraestructura puede ayudar a reducir la frecuencia y gravedad de los accidentes (Ministerio de Transporte y Comunicación [MTC], 2017).

La infraestructura desempeña un papel crucial en la seguridad vial, y realizar mejoras en esta área puede prevenir y disminuir la incidencia de accidentes. En este contexto, los tramos de concentración de accidentes son especialmente relevantes, ya que representan zonas donde implementar cambios en la infraestructura puede tener un impacto significativo en la reducción de accidentes. Enfoques dirigidos hacia estos tramos permiten focalizar los esfuerzos de mejora para maximizar la seguridad vial (MTC, 2017).

Zonas de Concentración de Accidentes. Aunque la identificación de zonas de concentración de accidentes es una herramienta comúnmente utilizada en la gestión para mejorar la seguridad vial en todos los países, no existe una definición universal y

globalmente reconocida debido a las diferencias en políticas, directrices y recursos asignados (MTC,2017).

Desde una perspectiva teórica y general, estas zonas podrían definirse como ubicaciones o tramos de carretera donde ocurre un número de accidentes superior al esperado.

Según Vistisen (2002), todas las metodologías para analizar zonas de concentración de accidentes siguen un proceso de desarrollo que puede dividirse en tres fases:

1. Identificación de ubicaciones con un número de accidentes por encima de lo esperado.
2. Priorización del tratamiento con medidas de mejora.
3. Estudio para analizar el efecto antes y después de implementar las medidas.

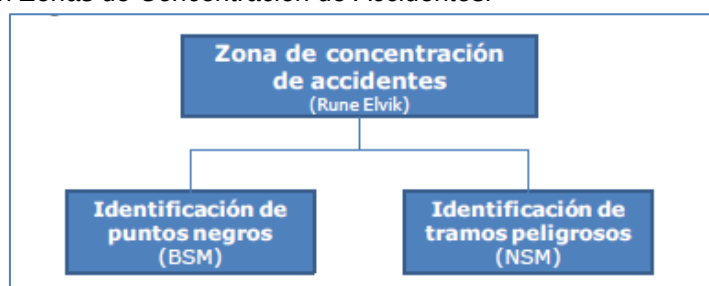
Rune Elvik y Michael Sorensen diferencian entre métodos para identificar puntos de concentración de accidentes, a los que denominan Gestión de Puntos Negros (Black Spot Management, BSM), y métodos para identificar tramos peligrosos denominados Gestión de Seguridad en la Red (Network Safety Management, NSM) (MTC,2017).

La identificación de puntos de concentración de accidentes (BSM) tiene una larga tradición en la ingeniería de tráfico en países europeos. En los últimos 5 o 10 años, sin embargo, muchos países han reemplazado o complementado esta metodología con la identificación de tramos peligrosos (NSM). Aunque ambas metodologías son utilizadas, existen diferencias significativas en los enfoques actuales y la calidad entre ellas (MTC,2017).

En la figura 1, se puede observar la clasificación que se hace sobre estos llamados puntos de concentración de accidentes.

Figura 1

Clasificación Zonas de Concentración de Accidentes.



Nota: figura referencial extraída del Manual de Seguridad Vial del MTC (2017)

Tabla 1

Zonas de concentración de accidentes

Filosofía	Correctiva-retrospectiva	Correctiva-retrospectiva y Preventiva- prospectiva
Gravedad	No incluida en la definición	Incluida en la definición
Longitud	Hasta aproximadamente 0.5 km	Entre 2 y 10 km
Frecuencia	Cada año o cada dos	Cada 2 o 4 años
Países	Alemania, Austria, Dinamarca, Flandes, Hungría, Noruega, Portugal, Suiza.	Alemania, Noruega, Estados Unidos de América.

Nota: Datos referenciales adaptados por Rune Elvik y Michael Soresen.

Las metodologías de identificación de puntos de concentración de accidentes se caracterizan por ser correctivas y retrospectivas, mientras que las metodologías de identificación de tramos peligrosos son correctivas, retrospectivas y preventivas, con un enfoque prospectivo. De hecho, la gravedad de los accidentes generalmente no se considera en la definición de puntos de concentración de accidentes, pero sí en la identificación de tramos peligrosos (MTC,2017).

La identificación de puntos de concentración de accidentes se lleva a cabo al hacer referencia a elementos específicos de la infraestructura vial, como curvas, puentes e intersecciones, dentro de una población claramente definida. De esta manera, los tramos o secciones peligrosas se identifican considerando tramos homogéneos de entre 2 y 10 kilómetros, utilizando métodos avanzados como el método empírico de Bayes, que permite una identificación fiable de lugares con factores locales de riesgo relacionados con el diseño y el control del tráfico en carreteras, tomando en cuenta tanto la variación sistemática como la fluctuación aleatoria (MTC,2017).

Por lo general, la identificación de puntos de concentración de accidentes se realiza anualmente o cada dos años, mientras que la identificación de tramos peligrosos tiende a hacerse cada dos o incluso cada cuatro años.

El término "Tramo de Concentración de Accidentes" (TCA).

Se refiere a secciones específicas de una red vial que experimentan un

número de accidentes (de un tipo particular) más alto que otras secciones similares de la misma red. Estos tramos son identificados como los puntos de mayor peligrosidad en la red vial y se considera que realizar mejoras en la infraestructura de estos tramos puede conducir a una reducción significativa y efectiva de la incidencia de accidentes (MTC,2017).

Partiendo de esta misma definición, se han desarrollado diversos métodos para calcular los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA). Estos sistemas de detección de puntos críticos de accidentes y tramos de concentración están diseñados para asegurar que los fondos públicos se inviertan de manera óptima para lograr el máximo impacto costo-beneficio (MTC,2017).

En cuanto a la metodología, dado que no hay un método estandarizado para calcular la concentración de accidentes, se puede generalizar el proceso de la siguiente manera. La identificación de un TCA se realiza mediante una técnica reconocida como ventana deslizante que busca identificar el punto o segmento de una carretera con una incidencia más alta de un tipo específico de accidentes (por ejemplo, accidentes fatales, accidentes con heridos graves, colisiones en ángulo, accidentes con peatones, choques traseros, etc.). La longitud de esta ventana puede variar según el criterio del analista, pero generalmente oscila entre 100 metros y 1000 metros para identificar los tramos con mayor concentración de accidentes. Otro aspecto es la distancia de desplazamiento de la ventana, que es independiente de su longitud. Se puede asumir un desplazamiento cada 20 metros, dependiendo de la frecuencia de accidentes. En carreteras rurales más extensas, donde hay tramos largos con pocos accidentes, este desplazamiento puede llegar hasta 500 metros (MTC,2017).

Para abordar la identificación de Tramos de Concentración de Accidentes (TCA), es esencial considerar varias particularidades y necesidades del estudio:

- Finalidad de la lista de TCA: Definir claramente el objetivo del estudio, ya sea enfocándose en fatalidades, accidentes con bicicletas u otros tipos específicos de accidentes.

- Configuración de la red vial y tipología de carreteras: Analizar cómo está estructurada la red vial y qué tipos de carreteras la componen, ya que esto puede influir en la distribución y frecuencia de los accidentes.
- Tipos y cantidad de accidentes: Evaluar los tipos de accidentes que ocurren con mayor frecuencia y cuántos se producen en cada tramo de la red vial.
- Recursos disponibles: Considerar los recursos disponibles para llevar a cabo el estudio, incluyendo personal, tecnología y presupuesto.
- Calidad de los datos: Asegurar la calidad y fiabilidad de los datos disponibles para el análisis, ya que esto impactará en la precisión de los resultados.
- Parámetros de identificación del TCA: Determinar los parámetros específicos que se utilizarán para identificar los Tramos de Concentración de Accidentes, como tasas de accidentes por intensidad de tráfico (IMD) u otros índices de peligrosidad (MTC,2017).

Es crucial seleccionar un método que cumpla con la normativa vigente, sea robusto estadísticamente y tenga una validez a largo plazo. No todos los países pueden adoptar los mismos sistemas de cálculo debido a diferencias en normativas y condiciones locales, por lo que es importante anticipar futuros cambios para evitar que el método quede obsoleto rápidamente (MTC,2017).

Los procedimientos empleados para identificar los TCA suelen basarse en valores observados, utilizando el número absoluto de accidentes o tasas que relacionan el número de accidentes con la intensidad de vehículos (IMD). Se utiliza un Índice de Peligrosidad que compara estos valores con los índices obtenidos en toda la red vial con características similares (MTC,2017).

En el caso específico de Perú, el método seleccionado puede complementarse con criterios de selección basados en la concentración de accidentes, con el objetivo de asegurar que se

identifiquen tramos con una baja IMD pero que aún presenten una cantidad mínima de accidentes, minimizando así el impacto de la aleatoriedad en la selección de tramos (MTC,2017).

De igual manera es importante tomar en cuenta un enfoque metodológico que abarque toda la red vial, considerando frecuentemente el gran porcentaje de la red que no está monitoreada debido a restricciones presupuestarias (MTC,2017).

En varios países, también se utilizan enfoques mixtos que combinan indicadores de peligrosidad y concentración. Estos métodos emplean cuatro indicadores de rendimiento de seguridad vial para identificar tramos de carretera peligrosos:

Tabla 2

Indicadores de desempeño

Indicador de desempeño	Descripción
Densidad de accidentes	El número anual de accidentes por kilómetros
Densidad del costo de accidentes	El costo social anual de los accidentes por kilómetros.
Índice de peligrosidad	El número de accidentes por millón de vehículos-km

Nota: Datos referenciales extraídos de Rune Ekvik (citado en Manual de Seguridad Vial, MTC, 2017).

Para seleccionar un nuevo método, es fundamental realizar un análisis exhaustivo de los siguientes aspectos:

- Marco normativo: Investigación a nivel mundial, interamericano, estatal y provincial sobre las regulaciones relacionadas con la gestión de la seguridad en las infraestructuras viales.
- Estado del arte: Revisión bibliográfica a nivel global para examinar el enfoque adoptado por otros países. Se describen las metodologías empleadas por países y regiones con experiencia destacada en seguridad vial.
- Análisis de parámetros que influyen en la definición de Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) y otras posibles variables a considerar.

- Aplicación de diferentes métodos al contexto de las carreteras en Perú, seguido de un análisis comparativo.
- Conclusiones: Basándose en el estado del arte, las características únicas de la red vial y el tipo de accidentes registrados, se define el nuevo método para detectar y señalar zonas de concentración de accidentes en las redes estatales o provinciales.
- Presentación de resultados: Se exponen los resultados utilizando el método elegido, comparándolos con el enfoque histórico utilizado (MTC,2017).

Al seleccionar cualquier variante del método de cálculo elegido, es esencial considerar una serie de parámetros:

Unidad de análisis

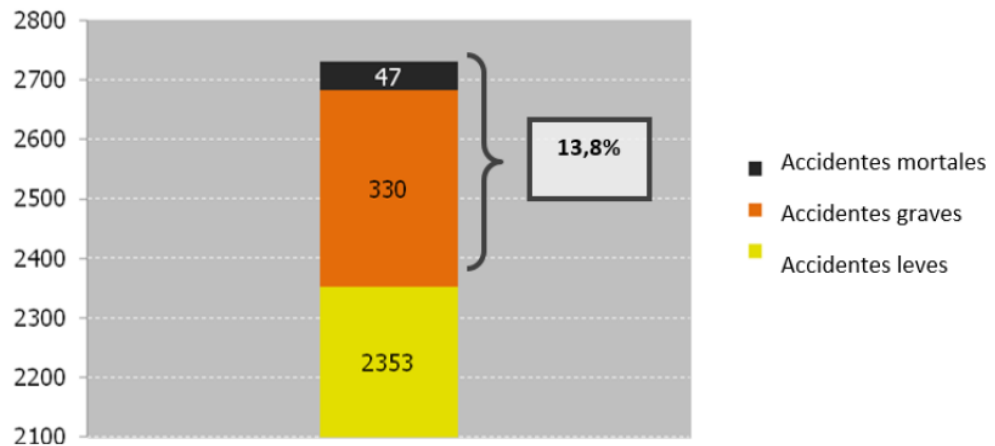
Al estudiar el fenómeno de la accidentalidad para identificar los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) en una red de carreteras, hay varias formas de definir la unidad de análisis. Esto puede incluir considerar las víctimas de los accidentes, analizar los accidentes en sí en lugar de las víctimas, tener en cuenta los accidentes con daños materiales, evaluar la gravedad de los accidentes, entre otros enfoques (MTC,2017).

Para evitar distorsiones debidas a la aleatoriedad en las tendencias de la accidentalidad, se recomienda trabajar con el número de accidentes con víctimas en lugar del número de víctimas por accidente. Esto permite contabilizar de manera equitativa tanto los accidentes con un solo vehículo y ocupante como los accidentes con múltiples víctimas involucradas (MTC,2017).

Gravedad de los accidentes. Al considerar la gravedad de los accidentes analizados, se observa una tendencia decreciente en el número de accidentes mortales y graves en las carreteras cada año. Por esta razón, se recomienda incluir en el estudio accidentes que resulten en víctimas mortales, graves y/o leves. La inclusión de accidentes leves en el análisis contribuye positivamente a la robustez de los análisis estadísticos, ya que incrementa significativamente la muestra de accidentes (MTC,2017).

Figura 2

Gravedad de los accidentes



Nota: Figura referencial extraída del Manual de Seguridad Vial del MTC (2017)

Periodo de Análisis. Debido a las variaciones aleatorias en el número de accidentes en un tramo durante un año, se sugiere emplear datos de accidentalidad recopilados durante un periodo de 3 a 5 años para identificar de manera más precisa los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) (MTC,2017).

Un periodo de análisis más extenso proporcionará una mayor robustez estadística al modelo, aunque puede dificultar la detección ágil de cambios.

Un periodo cercano a los 3 años (no recomendado en redes con bajos índices de peligrosidad) permitirá observar las evoluciones de los tramos (tanto individualmente como en conjunto) de manera más ágil, casi año tras año (MTC,2017).

La justificación metodológica para utilizar un periodo de 3 años se centra en la capacidad de visualizar cambios inmediatos, particularmente aquellos causados por intervenciones en la vía, que pueden ser observados en el transcurso de 1 año o 2 como máximo. En contraste, un periodo de 5 años podría retrasar la detección de estos cambios (MTC,2017).

Aunque esta argumentación es válida, existen mecanismos de corrección para filtrar los resultados iniciales:

- Para evitar incluir tramos o intersecciones intervenidos: Estos tramos, junto con el año de intervención, son conocidos y deben ser analizados por separado para

evaluar la evolución de la accidentalidad. El mapa de Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) debe identificarlos claramente.

- Para detectar incrementos significativos a tiempo: Un periodo de 5 años podría diluir una tendencia accidentógena reciente que se haya observado en el último año o en los dos años más recientes. Por ejemplo, un tramo que no registra accidentes con víctimas durante los primeros tres años del periodo y luego experimenta 14 accidentes (7+7) en los dos años siguientes podría no ser identificado como un TCA, lo que retrasaría una posible intervención hasta transcurridos 3 años. Por lo tanto, se propone incorporar un sistema de detección de alertas que analice el último año en relación con los cuatro años anteriores, permitiendo intervenir en una intersección o tramo específico sin necesidad de que esté previamente identificado en el mapa de TCA (MTC,2017)

Longitud del Tramo. La extensión de los tramos de la red de carreteras analizados para identificar los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) se encuentra en un rango de 1 a 10 kilómetros.

- Tramos más cortos aumentan la posibilidad de encontrar fluctuaciones aleatorias en la accidentalidad, aunque este efecto se puede contrarrestar utilizando datos recopilados a lo largo de varios años.
- Tramos más largos generan mayor incertidumbre al intentar ubicar específicamente las zonas peligrosas, especialmente cuando las causas están relacionadas con la infraestructura vial (MTC,2017).

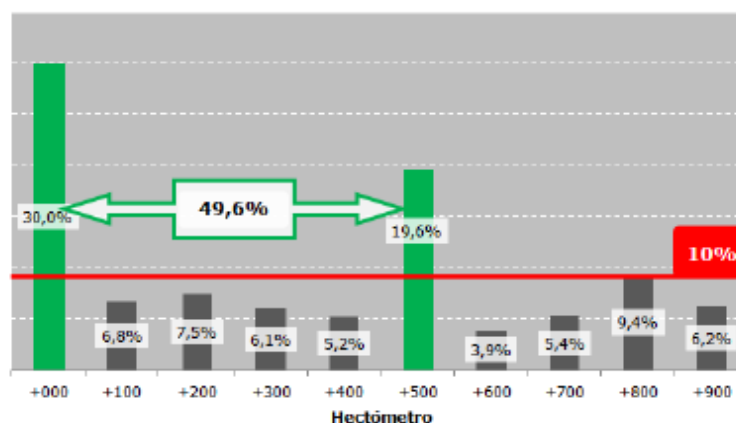
Se recomienda trabajar con tramos que tengan una longitud mínima de 1 kilómetro y una máxima de 3 kilómetros para lograr una precisión alta en la identificación de los TCA, al mismo tiempo que se asegura la representatividad de la muestra. En caso de utilizar el índice de peligrosidad como una variable de análisis, esta considera la longitud del tramo de forma relativa. Se permite considerar tramos de

menos de 1 kilómetro cuando coinciden con la longitud total del tramo analizado (MTC,2017).

Segmentación. Generalmente, al dividir la red vial en tramos de longitud similar, se utiliza el punto kilométrico (pk) entero, comenzando desde el pk 0+000 (por ejemplo, pk 38+000, 9+000, etc.). Este enfoque de segmentación sería ideal si la ubicación de los accidentes se registrara con precisión, utilizando coordenadas precisas en lugar de simplemente asignarlos a un punto kilométrico en la carretera. Sin embargo, la práctica de ubicar los accidentes basándose en la definición de carretera y punto kilométrico puede distorsionar la ubicación real debido a la falta de referencias claras, y diferencias de solo 200 metros pueden influir significativamente en la identificación de los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) (MTC,2017).

En teoría, la distribución de los accidentes debería ser uniforme a lo largo de cada kilómetro de la carretera, con el 10% de los accidentes ocurriendo en cada décimo de kilómetro. Sin embargo, en la práctica, los accidentes tienden a concentrarse especialmente en los décimos de kilómetro 0 y 5 (MTC,2017).

Figura 3
Segmentación



Nota: Figura referencial extraída del Manual de Seguridad Vial MTC,2017.

Kilómetro Flotante. Para definir y acotar los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA), se puede emplear el concepto de kilómetro flotante, que utiliza una ventana móvil que se desplaza a lo largo de la carretera cada 100 metros. De esta manera, en cada intervalo de 100 metros, se recalculan los valores para un kilómetro

completo, lo que resulta en una superposición de información significativa entre tramos adyacentes.

La unidad mínima de análisis para la detección de los TCA es de 1 kilómetro. Esto implica que los cálculos de la Intensidad Media Diaria (IMD), el número de accidentes y el Índice de Peligrosidad (IP) se realizan siempre para cada kilómetro flotante (MTC,2017).

Por ejemplo, se calculan los accidentes entre el punto kilométrico (pk) 3.0 y el pk 3.9 de una carretera. Luego, se repite este cálculo para los pk 3.1 al 4.0, encontrando que la mayoría de los accidentes (aproximadamente el 90% en una distribución normal) se repiten en ambos tramos de kilómetro. Este proceso se repite para toda la longitud de la carretera, lo que permite identificar siempre el punto de máxima concentración de accidentes (MTC,2017).

Una vez detectado un tramo que cumple con los criterios de TCA, se puede ampliar este tramo en incrementos de 100 metros. Si los kilómetros adyacentes continúan cumpliendo con los criterios de TCA, se incluirán en el mismo tramo de concentración. En última instancia, la selección de los TCA finales implica la agregación de tramos consecutivos de concentración, con longitudes típicamente de hasta 3 kilómetros (o más en casos excepcionales) (MTC,2017).

De esta manera, se trabaja con tramos de longitud mínima de 1 kilómetro y máxima de 3 kilómetros para lograr un alto grado de precisión en la identificación de los TCA, al mismo tiempo que se asegura la representatividad de la muestra. Se aceptan tramos de menos de 1 kilómetro solo si coinciden con la longitud total de la carretera (MTC,2017).

Ponderación de los Accidentes. Para priorizar los accidentes más graves, que son de mayor importancia para la sociedad, en todos los estudios de identificación de los TCA se aplica una ponderación diferenciada según la gravedad de los accidentes. Esto implica asignar un mayor peso a los accidentes más graves al realizar los análisis y evaluaciones (MTC,2017).

De acuerdo con el MTC, (2017) estas valoraciones suelen basarse en los costos unitarios establecidos por diversas instituciones

para evaluar el impacto económico de las víctimas de accidentes de tráfico según su gravedad. Los accidentes con víctimas se ponderan de la siguiente manera:

Tabla 3

Ponderación de los accidentes

Accidentes	Ponderación
Accidentes con víctimas mortales	8
Accidentes con víctimas con heridas o lesiones graves	5
Accidentes con víctimas con heridas o lesiones leves	1

Nota: Datos referenciales extraídos del Manual de seguridad vial del MTC (2017).

Agrupación por rango de IMD. La relación entre la accidentalidad y la Intensidad Media Diaria (IMD) en un tramo de carretera no es constante. Por esta razón, se sugiere agrupar los diferentes kilómetros de la red en grupos según su IMD. Esto permite analizar la incidencia de accidentes que caracteriza a cada grupo de carreteras y encontrar el umbral a partir del cual se observa una tasa de accidentes superior a la tendencia general de los tramos que conforman cada agrupación (MTC,2017).

La definición de estos grupos depende en gran medida del tipo de red vial analizada. No es lo mismo analizar una red nacional, con carreteras de alta intensidad de tráfico, muchas veces con vías desdobladas, que analizar una red de vías secundarias con menor intensidad (MTC,2017).

Por lo tanto, no se pueden establecer umbrales predefinidos. Se recomienda llevar a cabo un análisis preliminar que agrupe las carreteras en segmentos relativamente homogéneos y que se ajusten adecuadamente a las regresiones estadísticas para definir el modelo. Una vez definidos los grupos y el modelo en general, se desaconseja realizar muchas modificaciones posteriores para poder llevar a cabo un análisis histórico riguroso (MTC,2017).

Implementación en Perú métodos basados en valores observados: cálculo del TCA por peligrosidad. En Perú, se está implementando la aplicación de métodos basados en observaciones para calcular el TCA (Tasa de Crecimiento Anual) según la peligrosidad. Estos procedimientos utilizan el número total de

accidentes o una tasa que relaciona los accidentes registrados en cada tramo con la intensidad de vehículos (IMD) que transitan por él. En España, se utiliza esta tasa para definir un índice de peligrosidad, el cual se compara con los índices de peligrosidad de otros tramos de la red con características similares (MTC,2017).

El Índice de Peligrosidad (IP). Es un valor que vincula los accidentes ocurridos en un tramo de carretera con la IMD que soporta y la longitud del tramo en cuestión. Este índice se fundamenta en la relación entre la accidentalidad y la IMD, ya que la IMD es la variable más significativa en cuanto a la accidentalidad desde una perspectiva de infraestructura (MTC,2017).

2.2.2. MÉTODO DEL ÁRBOL DE FALLAS FTA

Aunque en estudios previos se han utilizado ampliamente medidas sustitutivas relacionadas con la ocurrencia de accidentes (por ejemplo, consistencia en el diseño de carreteras, índices de características del conductor y desempeño dinámico del vehículo) para evaluar el desempeño de seguridad de la alineación de carreteras, la naturaleza intrínsecamente aleatoria de los accidentes viales sugiere que la probabilidad directa de ocurrencia de un accidente a lo largo de una carretera es un indicador más adecuado y directo para evaluar la seguridad. Por lo tanto, en esta investigación, se emplea un Análisis de Árbol de Fallas (FTA, por sus siglas en inglés) para calcular la probabilidad de que ocurra un accidente en cada ubicación a lo largo de una carretera (Yikai et al., 2019).

El FTA es un método deductivo de análisis de fallas de arriba hacia abajo en el que se examina un estado no deseado del sistema utilizando lógica booleana para combinar una serie de eventos de nivel inferior. Este enfoque analítico se utiliza principalmente en los campos de la ingeniería de seguridad y la ingeniería de confiabilidad para comprender cómo pueden fallar los sistemas, identificar las mejores formas de reducir el riesgo o determinar las tasas de eventos de seguridad o fallas específicas a nivel del sistema. El FTA ha sido ampliamente aplicado en industrias de alto riesgo como la

aeroespacial, energía nuclear, química y de procesos, farmacéutica, petroquímica y otras (Wang, Chen, Cai, Mi, & Lian, Mottahedi y Ataei,; Laurent y Bertrand,; Morteza, Abbas y Hashemy,; Sihombing y Torbol, citados en Yikai et al., 2019).).

El Análisis de Árbol de Fallas (FTA) modela las relaciones lógicas booleanas entre posibles fallas del sistema y sus causas utilizando un árbol de fallas (Miao et al., citado en Yikai et al., 2019). Mediante un enfoque cualitativo y cuantitativo, se identifican las principales causas de las fallas, lo que facilita el cálculo de la probabilidad de fallo del sistema y propone contramedidas de seguridad. La función principal del FTA es clasificar los tipos de accidentes. Dado que este estudio se llevó a cabo dentro del marco del modelado dinámico del sistema DVRE, no abordó los riesgos de colisión en condiciones de tráfico complejas. Por lo tanto, al igual que en otras investigaciones relacionadas con la evaluación de la coherencia del diseño de carreteras, se consideraron condiciones de tráfico de flujo libre, que incluyen buenas condiciones climáticas y tráfico con velocidad de flujo libre (Yikai et al., 2019).

En tales condiciones, los accidentes de un solo vehículo (donde solo un vehículo está involucrado) causados por exceder el límite de estabilidad del vehículo son muy comunes. En el diseño actual de carreteras, el límite de estabilidad lateral para un vehículo que circula en una carretera con curvas horizontales se deriva generalmente cuando el coeficiente de fricción lateral alcanza su límite superior según la Asociación Americana de Carreteras y Transporte (AASHTO, 2011). Sin embargo, surgen cuestiones con respecto al coeficiente de fricción lateral máximo:

(a) El coeficiente de fricción lateral de la carretera se ve afectado por la aceleración vehicular longitudinal, la alineación vertical del camino y el diseño de la sección transversal, lo que dificulta determinar con precisión su valor.

(b) Las características no lineales de los neumáticos en las curvas hacen que un vehículo pierda su capacidad de mantenerse en la vía antes de alcanzar un deslizamiento lateral total, por lo que el

límite de estabilidad lateral mencionado anteriormente puede ser más alto que el límite real.

(c) El coeficiente de fricción lateral máximo puede reflejar solo la capacidad de seguimiento del vehículo, pero no puede caracterizar la estabilidad de la dirección.

Con el aumento de la aceleración lateral del vehículo, pueden ocurrir tres modos de falla distintos: pérdida de la capacidad de dirección, pérdida de la capacidad de mantener la trayectoria y vuelco. El rendimiento de la capacidad de dirección puede evaluarse según la velocidad de guiñada del vehículo (Chen, citado en Yikai et al., 2019). Una alta tasa de guiñada puede hacer que el vehículo gire rápidamente alrededor de su eje vertical, mientras que una baja velocidad de guiñada puede resultar en la pérdida de la capacidad de girar. La capacidad de mantener la trayectoria de un vehículo puede representarse con precisión mediante el ángulo de deslizamiento lateral del centro de masa del vehículo. Este ángulo aumenta con las fuerzas laterales aplicadas por los neumáticos, y un deslizamiento lateral total del vehículo tiende a ocurrir cuando la relación entre la fuerza lateral del neumático y el ángulo de deslizamiento lateral se vuelve no lineal (Yikai et al., 2019).

El vuelco, por otro lado, generalmente ocurre debido a una transferencia significativa de carga de un lado de los neumáticos al otro, inducida por una fuerza lateral considerable. Por lo tanto, el fenómeno del vuelco es similar a perder la capacidad de mantener la trayectoria, y existe una fuerte correlación entre estos dos tipos de accidentes. En este estudio, se consideraron los sedanes como el tipo de vehículo más común en las carreteras. Dado su diseño estructural y características mecánicas, es lógico que, en condiciones climáticas favorables (con alto coeficiente de fricción en la carretera), la pérdida de capacidad de adherencia a la vía ocurra antes que el vuelco (Rajamani, citado en Yikai et al., 2019).

Esto implica que cuando un vehículo experimenta una gran fuerza lateral, primero sale del carril, lo cual se considera como pérdida de la capacidad de mantener la trayectoria. Posteriormente, puede o no

ocurrir el vuelco. Por lo tanto, el vuelco no se incluyó en el modelo de Análisis de Árbol de Fallas (FTA).

Además de los tipos de accidentes mencionados anteriormente, el riesgo de colisión trasera causado por una distancia de frenado insuficiente (es decir, cuando un vehículo choca contra un obstáculo o vehículo detenido debido a una distancia de frenado visual insuficiente en lugar de distancias cortas entre vehículos) también se puede considerar dentro del marco de los sistemas de simulación DVRE (Gelso & Sjoberg, citado en Yikai et al., 2019).

Por lo tanto, se identificaron tres modos de falla (subeventos): pérdida de capacidad de dirección, pérdida de capacidad de mantener la trayectoria y colisión trasera debido a una distancia de frenado visual insuficiente.

El diagrama basado en el Análisis de Árbol de Fallas (FTA) se muestra en la Figura 1. En esta representación, el evento superior se identifica como salida de la puerta, mientras que los eventos inferiores referencian a las entradas a la puerta. Además de estos eventos básicos, pueden existir otros eventos que también desencadenen la ocurrencia de eventos intermedios. Por ejemplo, la acción hipotética de un giro brusco e inapropiado del volante por parte del conductor podría dar como resultado la pérdida de capacidad de dirección posteriormente el conductor se queda dormido y no gira el volante ocasionando de tal manera la pérdida de capacidad de agarre. Sin embargo, en comparación con los eventos básicos, la relevancia de estos eventos intermedios para la seguridad del diseño de carreteras es menor. Por lo tanto, en este estudio, no se considera necesario desarrollarlos en un subárbol detallado, y se tratan como eventos no desarrollados (Yikai et al., 2019).

La probabilidad de un accidente $P(s)$ en juego número s se deriva como:

$$P(s) = \frac{1}{2} P_1 + \frac{1}{4} P_2 + \frac{1}{4} P_3$$

Donde, $P_i(s)$ es la probabilidad de que ocurra el i ésimo suceso.

Las relaciones precisas entre $P_i(s)$ y el valor del índice de riesgo para modos de falla, que necesitan un análisis en profundidad de un gran conjunto de pruebas de campo o los datos de simulación son difíciles de desarrollar. En aras de la simplicidad, aquí se adopta una función lineal limitada para calcular $P_i(s)$:

$$P_i(s) = \begin{cases} \frac{s - l_i^0}{l_i - l_i^0} & \text{si } l_i^0 \leq s \leq l_i \\ 0 & \text{si } s < l_i^0 \\ 1 & \text{si } s > l_i \end{cases}$$

Donde: $l_i(s)$ representa el valor del índice de riesgo para el i ésimo suceso, y l_i^0 es el límite de seguridad del índice de riesgo para el i ésimo suceso. La probabilidad promedio de que ocurra un accidente en la n ésima sección de la carretera se expresa como:

$$P_n = \frac{1}{d_n} \int_{s_{n1}}^{s_n} P_i(s) ds$$

Donde s_{n1} y s_n representan la primera y la última estaca del tramo de carretera n ésimo, respectivamente, y la longitud del tramo de carretera n ésimo d_n se calcula mediante:

$$d_n = s_n - s_{n1}$$

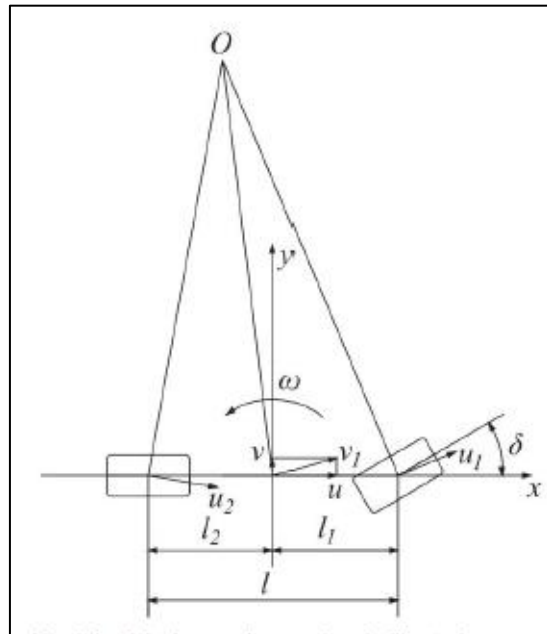
Para calcular $P_i(s)$, es necesario seleccionar el índice apropiado para cada suceso y establecer los límites de seguridad correspondientes, aspectos que se discuten en detalle en la siguiente parte de esta sección.

Índice y límite de seguridad de la capacidad de dirección.

La velocidad de guiñada es un indicador clave de la capacidad de dirección de un vehículo. Su límite de seguridad se determina inicialmente en base a la dinámica del sistema del vehículo. En la Figura 4 se muestra un modelo ampliamente reconocido de dirección de vehículo de 2 grados de libertad (2-DOF) (Yikai et al., 2019).

Figura 4

Modelo de dirección de vehículos con dos grados de libertad.



Nota: Figura referencial extraída de Yikai et al., (2019)

En la figura 4, l_1, l_2 , representan la distancia desde el centro de gravedad del vehículo hasta el eje delantero y trasero, respectivamente. L es la distancia entre ejes. δ es el ángulo de dirección del neumático delantero. u_1, u_2 , son las velocidades de los neumáticos delantero y trasero, respectivamente. u, v , y v_1 son la velocidad longitudinal, lateral y total del centro de gravedad del vehículo, respectivamente. $\dot{x}$ es la tasa de guiñada. Los dos grados de libertad (DOF) en este modelo son x y v . Según el modelo, la tasa de guiñada se expresa de la siguiente manera:

$$\dot{x} = \frac{m v}{L \delta + 1} K u$$

Donde, K es el factor de estabilidad y se calcula como:

$$K = \frac{m}{L^2} \left(\frac{l_1}{k_2} - \frac{l_2}{k_1} \right)$$

Donde, m es la masa del vehículo, k_1, k_2 son las curvas de los neumáticos delanteros y traseros. rigidez, respectivamente (Yikai et al., 2019).

Cuando (a_y) supera los 0,4 g y el vehículo comienza a perder dirección capacidad, el límite de seguridad correspondiente de la tasa de guiñada se expresa como:

$$x_{\text{límite}} = \frac{L \cdot \lim}{L^2 + K_{\text{crct}} \cdot u^2}$$

Donde x_{boundary} es el límite de seguridad de la velocidad de guiñada, u_{lim} es la velocidad crítica estable límite, d_{lim} es el ángulo de dirección crítico de las ruedas delanteras estables, y K_{crct} es el factor de estabilidad corregido formulado como:

$$K_{\text{crct}} = \frac{L^2}{L^2 + K_1 \cdot \frac{I_1}{k_1} + K_2 \cdot \frac{I_2}{k_2}}$$

Donde, K_1 ; K_2 ; K_3 son los coeficientes correctos del neumático delantero/trasero, que se expresan como:

$$K_j = \frac{1}{1 + \frac{a_{y1}}{g} + \frac{a_{y2}}{g}} \cdot \frac{I_j}{L^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{a_{y1}}{g} + \frac{a_{y2}}{g}}$$

Donde, a_y es la aceleración lateral, $j = 1, 2$. I es el coeficiente de fricción de la carretera, a_{y1} , a_{y2} son 0,4 g y 0,6 g, respectivamente.

El siguiente paso es determinar u_{lim} ; que puede ser determinado por:

$$u_{\text{lim}} = \sqrt{\frac{R_{\text{ins}} \cdot a_{y\text{lim}}}{L}}$$

Donde R_{ins} es el radio instantáneo del vehículo cuando la capacidad de dirección alcanza su límite de seguridad. Puede aproximarse como el radio de la curva de la carretera. $a_{y\text{lim}}$ es el límite superior de la aceleración lateral, que puede calcularse mediante:

$$a_{y\lim} = \frac{q}{2} \lg 2ax$$

Donde, a_x es la aceleración longitudinal, que se determina en el proceso de cálculo de la velocidad de funcionamiento Chen et al., (citado en Yikai et al., 2019).

Posteriormente, $d_{\lim}$ se deriva de:

$$d_{\lim} = \frac{l}{pL} \sqrt{\frac{K_{cr} a_{y\lim}}{a_{x\lim}}}$$

Índice y Límite de Seguridad de la Capacidad de Retención de Vías. El ángulo de deslizamiento lateral del centro de masa de un vehículo refleja su capacidad para mantenerse en la trayectoria. Cuando la fuerza lateral es baja, el conductor puede corregir pequeños ángulos de deslizamiento lateral del centro de masa del vehículo. A medida que aumenta la fuerza lateral, la relación entre la fuerza lateral y el ángulo de deslizamiento lateral del neumático se vuelve no lineal. En este punto, el ángulo de deslizamiento lateral del centro de masa del vehículo aumenta rápidamente, incluso con pequeños incrementos en la fuerza lateral. Cuando el ángulo de deslizamiento lateral no puede corregirse, se produce un deslizamiento lateral total del vehículo y este abandona el carril (Yikai et al., 2019).

Debido a la naturaleza cualitativa del mecanismo de deslizamiento lateral total de un vehículo, resulta difícil determinar teóricamente el margen de seguridad del ángulo de deslizamiento lateral. Rajamani (citado en Yikai et al., 2019) propuso la siguiente relación empírica para el límite de seguridad de un ángulo de deslizamiento lateral:

$$b_{\limite} = \frac{1}{\delta + 0.02} \lg$$

Donde, $b_{\limite}$ representa el límite de seguridad del ángulo de deslizamiento lateral del centro de masa del vehículo. Esta relación establece un límite de 10 grados cuando $l = 0,9$ y un límite de 4 grados

cuando $I = 0,35$. Estos valores corresponden a los límites deseables para el ángulo de deslizamiento lateral en una carretera seca y en nieve compacta, respectivamente (Yikai et al., 2019).

Índice y Límite de Seguridad de una Colisión por Alcance.

Si un obstáculo o un vehículo detenido aparece delante de un vehículo en movimiento, es crucial contar con una distancia visual de frenado adecuada para evitar una colisión por alcance. Por lo tanto, la relación entre la distancia de visibilidad disponible (ASD) y la distancia de visión de parada (SSD) se puede emplear para evaluar el riesgo de una colisión trasera, expresado como:

$$\frac{SSD}{ASD} > 1$$

Donde, t es el tiempo de reacción del freno de 2,5 s, V es la velocidad de diseño (km/h), a es la tasa de desaceleración de 3,4 m/s², y la i es el gradiente longitudinal (%).

El ASD está limitado por la alineación horizontal, la alineación vertical y la distancia máxima de visibilidad del conductor, determinada por el valor mínimo calculado en estas tres condiciones. La restricción del ASD para la alineación horizontal generalmente se debe a obstrucciones visuales como muros de contención, edificios y barreras longitudinales. El ASD para la alineación vertical está influenciado por la capacidad de los faros del vehículo durante la conducción nocturna, las estructuras elevadas en curvas verticales hundidas y la visibilidad bloqueada por crestas en curvas verticales. Los detalles específicos utilizados para calcular el ASD en la alineación horizontal y vertical se encuentran en el trabajo de Kang et al. (como se citó en Yikai et al., 2019). La distancia máxima de visibilidad de un conductor se considera de 400 metros en condiciones climáticas óptimas.

2.2.3. LÍMITES DE SEGURIDAD DE LOS VEHÍCULOS

Definición y Consideraciones Generales.

Los límites de velocidad de los vehículos se refieren a las velocidades máximas permitidas en diferentes tipos de vías, establecidas para garantizar la seguridad vial y la eficiencia del tráfico. Según Gårder (2012), estos límites están diseñados considerando factores como la geometría de la vía, la presencia de peatones y la densidad del tráfico, entre otros aspectos que influyen en la seguridad y operación de las carreteras.

Normativa Internacional y Regulaciones Nacionales.

A nivel internaciones se encuentran normas abordadas por la Organización Mundial de la Salud (2020), donde nos menciona acerca de los límites de velocidad y que estos deban reducirse en circunstancia peligrosas para reducir accidentes de tránsito o en su defecto reducir el impacto. Por otro lado, las normas vigentes a nivel nacional encontramos en el Reglamento Nacional de Transito el cual tiene como fin mantener el orden en el tránsito y su seguridad brindado especificaciones sobre límites de acuerdo al tipo de vía y condición (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2019).

Factores que Influyen en los Límites de Velocidad.

Los límites de velocidad están influenciados por una variedad de factores técnicos, operativos y de seguridad. Según Persaud y Retting (2000), la geometría de la carretera, incluyendo el radio de curvatura, la pendiente y la visibilidad, juegan un papel crucial en la determinación de los límites de velocidad seguros. Además, la interacción entre la velocidad de los vehículos y la infraestructura vial puede afectar significativamente la seguridad y la eficiencia del tráfico (Persaud & Retting, 2000).

Evaluación y Ajuste de Límites de Velocidad.

La evaluación y ajuste de los límites de velocidad es un proceso continuo que requiere análisis detallados de datos de tráfico y de seguridad. Según la National Cooperative Highway Research Program (NCHRP, 2017), las autoridades viales deben considerar el comportamiento del usuario, los patrones de tráfico y los índices de accidentes al establecer o modificar los límites de velocidad. Este

enfoque basado en datos ayuda a garantizar que los límites sean efectivos para mejorar la seguridad vial.

La base teórica sobre los límites de velocidad de los vehículos en carreteras aborda la importancia de normativas internacionales y locales, así como factores clave que influyen en la seguridad vial. Entender cómo se establecen y ajustan los límites de velocidad es fundamental para mejorar la gestión del tráfico y reducir la incidencia de accidentes en las vías públicas.

Los límites de seguridad de los vehículos desempeñan un papel crucial en el análisis de los puntos negros en las carreteras al ayudar a determinar los valores críticos de los índices que indican cuándo ocurrirá un tipo específico de accidente. Estos límites precisos son deducidos utilizando la teoría de la dinámica de sistemas de vehículos, lo que permite una evaluación más precisa de la seguridad en las carreteras. Al establecer estos límites de seguridad, se mejora la capacidad de identificar secciones peligrosas en las carreteras y proporcionar contramedidas efectivas para mejorar la seguridad vial (Yikai et al., 2019).

El límite de seguridad en el contexto de la seguridad vial se refiere al valor crítico de un parámetro o índice que, una vez superado, puede llevar a una situación de riesgo o a la ocurrencia de un accidente. Estos límites de seguridad se establecen para diferentes aspectos relacionados con la conducción y la estabilidad de los vehículos, como el deslizamiento de los neumáticos, el ángulo de deslizamiento, la capacidad de dirección, entre otros (Yikai et al., 2019).

La medición de los límites de seguridad se realiza mediante diferentes métodos, que pueden incluir:

Métodos Empíricos: Se basan en datos observados y en la experiencia práctica para establecer los límites de seguridad. Por ejemplo, se pueden definir límites de ángulos de deslizamiento basados en pruebas de campo o en estudios de accidentes (Yikai et al., 2019).

Métodos Teóricos: Utilizan modelos matemáticos y simulaciones para determinar los límites de seguridad. Por ejemplo, se pueden

calcular los límites de deslizamiento de los neumáticos en función de las características del vehículo y de la carretera (Yikai et al., 2019).

Normativas y Estándares: En muchos casos, los límites de seguridad se establecen de acuerdo con normativas y estándares de seguridad vial. Estas normativas pueden definir límites específicos para diferentes parámetros de seguridad (Yikai et al., 2019).

La precisión en la medición de los límites de seguridad es fundamental para garantizar la efectividad de las medidas de prevención de accidentes y para mejorar la seguridad vial en general. Al establecer y respetar estos límites, se contribuye a reducir los riesgos asociados con la conducción y a prevenir situaciones peligrosas en las carreteras (Yikai et al., 2019).

De acuerdo con Yikai et al. (2019) los límites de seguridad de los vehículos que pueden ser identificados mediante el análisis de árbol de fallas incluyen:

Pérdida de Capacidad de Dirección

Los problemas más comunes en los vehículos se dan a causa de problemas mecánicos, donde encontramos mecanismos que intervienen en la dirección que mantiene el vehículo, esto se ocasiona por rotura de pieza o déficit en la lubricación.

Pérdida de Capacidad de Mantener el Carril

Otra problemática asociada a la anterior, se da cuando los neumáticos no tienen una correcta supervisión, causando un desgaste por desigual o la regulación de presiones desiguales en cada neumático, evitando que el vehículo mantenga una línea continua y se den cambios bruscos de dirección.

Colisión Trasera Debido a Distancia de Detención Insuficiente

Esta situación se debe a la imprudencia en respetar los límites que los vehículos deben mantenerse alejados en movimiento, dando como resultado un espacio insuficiente para detenerse y provocando una colisión sobre el vehículo en frente.

2.2.4 TIPOS DE ACCIDENTES

Definición Conceptual de Tipos de Accidentes.

Los tipos de accidentes de tráfico se refieren a las categorías específicas en las cuales pueden clasificarse los eventos adversos en las vías públicas. Estas categorías se basan en las características físicas y dinámicas de los incidentes, así como en los factores causales subyacentes que los provocan. Según la definición de Huovila (2000), los accidentes pueden incluir colisiones frontales, alcances traseros, salidas de la vía, colisiones laterales, atropellos, entre otros. Cada tipo de accidente tiene implicaciones diferentes en términos de severidad, frecuencia y factores de riesgo asociados (Huovila, 2000).

Factores que Influyen en los Tipos de Accidentes.

Los tipos de accidentes no solo están determinados por la interacción vehículo-carretera, sino también por una compleja red de factores humanos, ambientales y tecnológicos. Según Várhelyi (2003), la geometría y el diseño de la carretera juegan un papel crucial en la incidencia de ciertos tipos de accidentes. Por ejemplo, curvas peligrosas, intersecciones mal diseñadas y falta de señalización adecuada pueden contribuir a tipos específicos de accidentes como las salidas de la vía o las colisiones frontales (Várhelyi, 2003).

Análisis y Causalidad de los Accidentes de Tráfico.

El estudio de Stuster (2006) aborda la tipología de accidentes desde una perspectiva de causalidad. Según Stuster, entender las causas detrás de cada tipo de accidente es esencial para implementar estrategias efectivas de prevención. Factores como la velocidad, distracciones del conductor, condiciones meteorológicas adversas y condiciones del vehículo pueden ser determinantes en la ocurrencia y gravedad de cada tipo de accidente (Stuster, 2006).

Impacto de las Características Vehiculares y de Infraestructura.

Las características técnicas y de diseño de los vehículos, así como las normativas de infraestructura vial, tienen un impacto significativo en la tipología de los accidentes. Persaud (2002) señala que vehículos con sistemas de seguridad avanzados pueden mitigar

ciertos tipos de accidentes, mientras que infraestructuras bien diseñadas pueden reducir la frecuencia de eventos como las colisiones laterales o las salidas de la vía (Persaud, 2002).

La comprensión detallada de los tipos de accidentes en carreteras es esencial para desarrollar estrategias efectivas de prevención y gestión de la seguridad vial. Los estudios revisados destacan la importancia de considerar tanto los factores humanos y tecnológicos como las características físicas y normativas de las carreteras en la tipología y causalidad de los accidentes.

2.2.5 MODOS DE FALLA DE LOS VEHÍCULOS

Definición y Concepto.

Los modos de falla de los vehículos se refieren a los diversos mecanismos o eventos que pueden resultar en un mal funcionamiento del vehículo durante su operación, contribuyendo a la ocurrencia de accidentes de tránsito. Según la definición de Winter (2011), los modos de falla incluyen problemas mecánicos, eléctricos, de sistemas de frenos, suspensión, dirección, entre otros, que comprometen la seguridad operativa del vehículo en carretera.

Tipos y Causas de Modos de Falla.

Existen múltiples tipos de modos de falla que pueden afectar la seguridad vial. Los problemas más comunes incluyen fallos en los sistemas de frenado, pérdida de tracción debido a neumáticos en mal estado, problemas eléctricos que afectan la iluminación o sistemas de control, y fallas en la suspensión o dirección que pueden causar pérdida de control del vehículo (Adams, 2017).

Impacto en la Seguridad Vial.

El impacto de los modos de falla de los vehículos en la seguridad vial es significativo. Investigaciones como las realizadas por Smith et al. (2015) destacan que los vehículos con problemas mecánicos no detectados o no reparados contribuyen a un número considerable de accidentes graves en carretera. Estos modos de falla pueden provocar desde colisiones simples hasta accidentes fatales, afectando la

integridad física de los ocupantes del vehículo y de otros usuarios de la vía.

Evaluación y Prevención.

La evaluación y prevención de los modos de falla de los vehículos son fundamentales para mejorar la seguridad vial. Según la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en Carreteras (NHTSA, 2020), las inspecciones regulares de mantenimiento vehicular, el cumplimiento de estándares de seguridad vehicular y la educación continua de los conductores sobre la detección de síntomas tempranos de problemas mecánicos son medidas cruciales. Además, la implementación de programas de revisión técnica obligatoria y el cumplimiento de normativas internacionales como las establecidas por la Comisión Europea (2018) y el International Transport Forum (ITF, 2019) juegan un papel crucial en la mitigación de estos riesgos.

Normativa Internacional y Nacional.

Las normativas internacionales y nacionales juegan un papel fundamental en la regulación de los estándares de seguridad vehicular y la prevención de modos de falla que afectan la seguridad en carretera. Por ejemplo, la Comisión Económica para Europa (UNECE) establece regulaciones sobre la seguridad de los vehículos, incluyendo requisitos técnicos para sistemas de frenos, iluminación, y otros componentes críticos (European Commission, 2018). En el contexto peruano, las normativas locales como las establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) definen requisitos específicos para la inspección técnica vehicular y la seguridad operativa de los vehículos en carretera (MTC Perú, 2021).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Dentro de estas definiciones se mencionan las referidas en los distintos manuales establecidos por el ente rector de carreteras en el Perú, el Ministerio de Transporte y Comunicación [MTC];

- **Accidente de Tránsito:** Cualquier suceso no planificado que involucra al menos un vehículo en una vía pública o privada, que resulta en daños a las personas o propiedades (MTC, 2018).

- **Accidente Vial:** Un evento imprevisto que ocurre en una vía pública y que involucra al menos un vehículo en movimiento y resulta en daños a personas o bienes (Martínez, 2016).
- **Colisión:** Encuentro violento entre dos vehículos, un vehículo y un objeto, o un vehículo y una persona (MTC, 2017, p.13).
- **Defecto del Vehículo:** Cualquier irregularidad o imperfección en el vehículo que puede afectar su rendimiento y seguridad en la carretera (NHTSA, 2015).
- **Diagrama de Accidentes:** Gráfica utilizada para mostrar la ubicación y tipo de accidentes en una vía (MTC, 2017, p.14).
- **Factor Infraestructura:** Condiciones y calidad de vía, pavimento, cunetas, intersecciones y sistemas de control de tránsito (MTC, 2017, p.14).
- **Factores de la Seguridad Vial:** Conjunto de acciones que intervienen en los accidentes, donde se encuentra el comportamiento del conductor, estado del vehículo, características geométricas de la carretera y condiciones ambientales o climáticas (MTC, 2017, p.14).
- **Factores Humanos:** Comportamientos relacionados con aspectos psicológicos, fisiológicos o sociales que interviene en la interacción con el ambiente (MTC, 2017, p.14).
- **Fallo Mecánico:** Problema técnico o de diseño que impide que un vehículo funcione correctamente (Martínez, 2016).
- **Índice de Accidentalidad:** Medida que indica la cantidad de accidentes en una ubicación específica respecto al tránsito continuo (MTC, 2017, p.15).
- **Límite de Velocidad:** Máxima velocidad permitida legalmente en una determinada carretera o vía (AAASHTO, 2018).
- **Método Predictivo:** Enfoque que utiliza fórmulas basadas en datos empíricos de accidentes para prever la ocurrencia de accidentes en carreteras existentes o en planificación (MTC, 2017, p.15).
- **Modo de Falla:** Condición que causa el mal funcionamiento de un vehículo, pudiendo llevar a la incapacidad para operar de manera segura (AASHTO, 2017).

- **Punto de Concentración de Accidentes:** Lugar en una carretera donde ocurren tres o más accidentes con víctimas en un año, con una distancia máxima de 200 metros entre cada uno (MTC, 2017, p.15).
- **Seguridad Vial:** Conjunto de medidas destinadas a prevenir o reducir los riesgos de accidentes en las carreteras, con el objetivo de mitigar los impactos negativos asociados a los accidentes (MTC, 2017, p.15).
- **Severidad:** Grado de gravedad de un accidente con una clasificación establecida (MTC, 2017, p.15).
- **Siniestro de Tránsito:** Incidente no planificado con daños que implica al menos un vehículo en movimiento en una vía pública (AASHTO, 2018).
- **Siniestro:** Incidente fortuito ocasiona daños materiales o humanos, a su vez puede usarse de forma alternada con la terminología "accidente" y "colisión" (MTC, 2017, p.15).
- **Tramo de Concentración de Accidentes (TCA):** Segmento de carretera con una frecuencia de accidentes significativamente más alta que el promedio (MTC, 2017, p.15).
- **Tramo Potencialmente Peligroso:** Sección de una carretera identificada como un punto de riesgo que no alcanza la categoría de "Tramo de Concentración de Accidentes", pero que requiere intervenciones para mejorar la seguridad vial (MTC, 2017, p.15).
- **Tramos Homogéneos:** Segmentos de una carretera con características similares que permiten asignarles una misma velocidad de diseño debido a condiciones topográficas o geométricas consistentes (MTC, DG-2018, p.11).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Existen relaciones significativas entre los tipos de accidentes, los límites de seguridad de los vehículos y los modos de falla con la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Hipótesis específica 1

Existe una relación significativa entre los tipos de accidentes y la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.

Hipótesis específica 2

Los límites de seguridad de los vehículos influyen significativamente en la ocurrencia de accidentes en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.

Hipótesis específica 3

Los modos de falla de los accidentes tienen una relación significativa con la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.

Hipótesis específica 4

La combinación de tipos de accidentes, límites de seguridad de los vehículos y modos de falla influye significativamente en la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.

Hipótesis específica 5

La geometría de la vía tiene una influencia significativa en la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.

Hipótesis específica 6

La visibilidad en los puntos negros causa y afecta significativamente la ocurrencia de accidentes en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Variable dependiente; Puntos negros de la carretera

2.5.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

Variable Independiente 1; Tipos de accidentes

Variable Independiente 2; Límites de seguridad

Variable independiente 3; Modos de falla de los accidentes

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)

Para realizar el estudio de la variable, se estableció su definición operacional a través de dimensiones e indicadores detallados en la Tabla 4.

Tabla 4

Operacionalización de Variables

Variable	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Unidad	Tipo de Variable	Instrumento
<u>Variable dependiente</u> Puntos negros de la carretera	La definición operacional de los puntos negros de las carreteras se basa en la ocurrencia de accidentes, lo que permite identificar áreas críticas que requieren intervenciones para mejorar la seguridad vial. (Yikai et al., 2019).	Ocurrencia de accidentes	Índice de Accidentabilidad	Accidentes/kiló metro	Cuantitativa	Hoja de registro (Anexo 2)
<u>Variable Independiente 1</u> Tipos de accidentes	Se registrarán y clasificarán los accidentes según las categorías estándar internacionalmente reconocidas, como definidas por la AASHTO y otras normativas nacionales. Los indicadores específicos incluirán: Deslizamiento lateral Vuelco	Tipos de accidente (variable simple)	- Deslizamiento lateral - Vuelco - Colisión	Tipos de accidentes/km	Cuantitativa	Hoja de registro (Anexo 2)
<u>Variable Independiente 2</u> Límites de seguridad	Se evaluarán las condiciones técnicas de los vehículos que transitan por la carretera, utilizando inspecciones técnicas vehiculares (ITV) y análisis de informes de	Límites de seguridad (variable simple)	-Tasa de guiñada -Ángulo de deslizamiento -Distancia de	- Segundos - Grados - Metros	Cuantitativa	Hoja de registro (Anexo 2)

	accidentes. Los indicadores específicos incluirán: Tasa de guiñada Ángulo de deslizamiento Distancia de visión de parada		visión de parada			
<u>Variable independiente 3</u>	Se identificarán y categorizarán las causas específicas que contribuyen a la ocurrencia de accidentes mediante el análisis de informes periciales de accidentes y registros de la Policía de Carreteras. Los indicadores específicos incluirán: Pérdida de dirección Salida de carril Colisión trasera	Modos de falla (variable simple)	- Pérdida de dirección - Salida de carril - Colisión trasera	- Accidentes/km - Accidentes/km - Accidentes/km	Cuantitativa	Hoja de registro (Anexo 2)
Modos de falla de los accidentes						

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE

El enfoque de la investigación es cuantitativo por los siguientes motivos:

El enfoque cuantitativo se caracteriza por la recolección y el análisis de datos numéricos para identificar patrones y probar hipótesis. Mediante este enfoque se viabiliza determinar la relación que presentan midiéndolas de manera idónea y acorde a los objetivos del estudio (Creswell & Creswell, 2018). Para fines de la investigación, se tiene en cuenta que las variables limitan el uso de un enfoque cuantitativo, siendo que se buscó determinar la relación existente entre los tipos de accidente, límites de seguridad de los vehículos y los modos de falla con la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco.

Fundamentos del Enfoque Cuantitativo

Medición de Variables: El enfoque cuantitativo nos facilita en determinar precisión a la hora de medir variables sujetas a estudio; esto viene a ser primordial dentro de la investigación porque nos permitirá identificar patrones secuenciales y relación (Kerlinger & Lee, 2000).

Prueba de Hipótesis: Las estadísticas de prueba a emplear dentro del trabajo se complementa favorablemente con el enfoque seleccionado, debido que las pruebas de hipótesis buscan encontrar relaciones significativas entre las variables correspondientes a la investigación realizada (Neuman, 2014).

Generalización de Resultados: Posterior al estudio se facilita deducir la problemática estudiada en un entorno más extenso con la finalidad de recomendar políticas públicas que aborden un impacto positivo sobre las variables de estudio y benefician a la comunidad. (Babbie, 2016).

Enfoque Cuantitativo en Estudios de Accidentes Viales

Dentro de trabajos recopilados y analizados, se identifica que el enfoque cuantitativo brinda precisión y facilidad de estudio al momento de identificar factores de riesgo y desarrollar estrategias de mitigación. Un estudio que respalda el uso de este enfoque es el realizado por Elvik et al. (2009) donde utilizó análisis cuantitativos para evaluar la efectividad de diversas medidas de seguridad vial, encontrando relaciones significativas entre ciertas intervenciones y la reducción de accidentes.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

El alcance o nivel de la investigación es correlacional por los siguientes motivos;

La aplicación de nivel relacional dentro de la investigación busca identificar y analizar relación entre variables; brindan un entendimiento sobre cómo se vinculan dos o más variables entre sí (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Fundamentos del Nivel Relacional

Análisis de Relaciones: El uso del nivel relacional tiene como objetivo evidenciar la interacción entre variables, dentro del trabajo de investigación podemos asociar las variables permutándolas entre sí, esto se debe a que dicho nivel nos facilita realizar este procedimiento de manera accesible. (Creswell & Creswell, 2018).

Determinación de relaciones: Las investigaciones con nivel relacional son adecuadas cuando tiene con finalidad determinar magnitud y dirección de las variables sujetas a estudio, existen múltiples pruebas que permiten determinar las relaciones, sin embargo, el uso de alguna se delimita por el cumplimiento de ciertos criterios de la forma de medir las variables (Neuman, 2014).

Formulación de Hipótesis: La investigación relacional brinda la facilidad de plantear hipótesis generales y específicas con posibles relaciones entre variables o dimensiones para posteriormente ser sometidos a verificación mediante pruebas de hipótesis para datos cuantitativos (Kerlinger & Lee, 2000).

Nivel Relacional en Estudios de Seguridad Vial

Para abordar estudios que tengan como variable la seguridad vial se viabiliza con empleando el enfoque relacional comprendiendo el comportamiento de la variable y su posterior asociación con otra (Elvik et al., 2009).

3.1.3. DISEÑO

Para la investigación se tomó en cuenta adoptar el diseño no experimental con corte transversal; esto se debe a que este diseño es apropiado cuando se busca recolectar datos en un tiempo determinado para posteriormente describir y analizar las variables sin intervención del autor sobre ellas, limitándose a observar los acontecimientos (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Fundamentos del Diseño No Experimental

No Manipulación de Variables: Al realizar un diseño no experimental el autor se cohibe en realizar modificación sobre las variables dejando que estos sigan su curso natural para ser entendidos y posteriormente analizados (Kerlinger & Lee, 2000).

Observación y Medición: Este diseño se basa en la observación y medición de las variables de interés para identificar posibles relaciones y patrones. Es particularmente útil cuando las variables no pueden o no deben ser manipuladas debido a razones éticas o prácticas (Creswell & Creswell, 2018).

Recolección de Datos Transversal: Al realizar un corte transversal para recolectar datos es factible en temas éticos por que el investigador lo realiza en un periodo en específico y que favorezca a la investigación evitando datos sesgados, así mismo nos facilita el análisis de datos dentro de un contexto adecuado (Levin, 2006).

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Para seleccionar la población sujeta a estudio se tomó en cuenta poseer una visión integral de la carretera PE3N abordando los kilómetros comprendidos desde 125 al 235; teniendo en consideración

la presencia de tramos con diversas características y peculiaridad siendo adecuadas para realizar un análisis a profundidad.

Relevancia del Tramo Completo

Diversidad de Condiciones: Al abordar todo el tramo PE 3N nos facilita identificar condiciones geográficas y de infraestructura que guarden relación e influyan directamente sobre las variables estudiadas.

Integralidad del Estudio: Para comprender la dinámica de seguridad vial en su totalidad es primordial abordar tramos con distintas características para plantear estrategias o mecanismo de solución para cada una de ellas.

3.2.2. MUESTRA

La muestra seleccionada abarca el tramo desde el kilómetro 125 hasta el kilómetro 152 (Pueblo La Quinua), donde se produce la mayor cantidad de accidentes. Esta elección se justifica por la concentración de eventos que proporcionaron información importante sobre factores que influyen en la seguridad vial (Hauer, 1997).

Relevancia del Tramo Seleccionado

Alta Incidencia de Accidentes: Para identificar patrones que favorezcan a la investigación se optó por focalizar el tramo que presentan mayor incidencia de accidente.

Eficiencia en la Recolección de Datos: Al limitar el estudio a un tramo específico con alta incidencia de accidentes, se maximiza la eficiencia de la recolección de datos y se asegura que los recursos se utilicen de manera óptima.

Técnica de Muestreo

La técnica de muestreo empleada es el muestreo intencional o por conveniencia, que se utiliza cuando se seleccionan sujetos de acuerdo con criterios específicos relevantes para la investigación. Aunque no es aleatoria, la muestra intencional garantiza que se estudien los segmentos más críticos.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Técnicas de Recolección de Datos

Se emplearán dos técnicas: Para la variable puntos negros se utilizó la observación y el análisis de datos previos.

Observación en Campo: Técnica empleada para estudiar las características geométricas de la carretera en estudio.

Análisis de Información Existente: Para estudiar la variable de Puntos negros en sus cuatro dimensiones, se emplearán fuentes de datos existentes, como informes de accidentes, registros de mantenimiento de carreteras y datos de tráfico. La información relevante será obtenida de registros de la Policía Nacional, centros de salud u otras autoridades locales pertinentes.

Instrumentos de Recolección de Datos

Equipos de Medición de Campo: Para lo relacionado a las características geométricas se utilizarán una Estación Total y una cinta métrica (wincha), cuyos datos serán registrados en hojas de registro. Para los datos relacionados con los accidentes serán extraídos de los documentos que obran en las instituciones competentes encargadas de la gestión de la accidentabilidad en los caminos.

Tabla 5

Instrumentos metodológicos y físicos para la recolección de datos

Variable	Instrumento metodológico	Instrumento Físico
Puntos negros	Observación de campo. En la vía analizada se identificará los puntos negros de accidentabilidad en función al registro que se tienen de la accidentabilidad ocurrida en el tramo en estudio.	Hoja de registro (Anexo 2)
Tipos de accidentes	Revisión de información existente. Se revisarán los reportes oficiales de accidentes de tránsito proporcionados por la policía y otras autoridades competentes. Estos documentos contienen información detallada sobre el tipo de accidente, las condiciones en las que ocurrió y las consecuencias.	Hoja de registro (Anexo 2)
Límites de seguridad	Pruebas Técnicas y Ensayos en Simuladores Se utilizarán simuladores de conducción y equipos de prueba para medir la tasa de guiñada, el ángulo de deslizamiento y la distancia de visión de parada de los vehículos bajo diferentes condiciones.	Hoja de registro (Anexo 2)
Modos de falla de los accidentes	Revisión de información existente.	Hoja de registro (Anexo 2)

	Se realizará un análisis forense de los informes de los vehículos involucrados en accidentes para identificar los modos de fallas que pudieron contribuir a los incidentes.	
Diseño geométrico	Observación de campo Se realizará un levantamiento topográfico con estaciones totales y GPS. Los datos se modelarán en AutoCAD Civil 3D para obtener una representación precisa de la geometría de la vía y se verificará el cumplimiento con normativas de carreteras.	Hoja de registro (Anexo 2)
Visibilidad en los puntos negros	Observación de campo Se medirán distancias de visibilidad con cintas métricas y odómetros y telémetros láser, tanto de día como de noche, con Luxómetros y fotómetros se evaluarán la iluminación.	Hoja de registro (Anexo 2)

Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Para el procesamiento de información se utilizó el método de Árbol de Fallas (FTA) para identificar puntos negros en carreteras; es una técnica analítica empleada para modelar y visualizar secuencias de eventos que conllevan a sucesos no deseado. Se emplea el FTA para calcular la probabilidad de ocurrencia de accidentes en tramos específicos del total de la carretera.

Otra consideración que se tiene en cuenta en las condiciones del vehículo y conductor sobre las maniobras sin restricción que desarrollan para la posterior evaluación de riesgos de accidentes en condiciones de tráfico libre. Esto permite estimar la probabilidad de ocurrencia de accidentes en una ubicación específica de la carretera utilizando un modelo basado en FTA.

En resumen, el Árbol de Fallas se utilizará en el estudio para modelar los posibles escenarios de accidentes en carreteras, identificar los modos de falla de los vehículos y calcular la probabilidad de ocurrencia de accidentes en puntos específicos de la carretera. Se aplicará la estadística descriptiva para resumir y describir los datos recopilados, incluyendo medidas como la media, la mediana, la desviación estándar y los percentiles a efectos de obtener una visión general de la variable estudiada, e identificar los puntos negros de la carretera estudiada, objetivo del estudio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1 UNIDAD DE PEAJE AMBO

En donde se ha registrado cada año y de forma progresiva los volúmenes de tránsito necesarios para el cálculo del Índice Medio Diario Anual (IMDA) los cuales fueron recuperados de la biblioteca virtual del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

La unidad de peaje Ambo se encuentra ubicada en el kilómetro 209 de la Ruta PE-3N, en el distrito de Ambo, provincia de Ambo, departamento de Huánuco.

Figura 5

Unidad de peaje Ambo



Tabla 6*Volumen de tránsito mensual del peaje Cerro de Pasco – Huánuco (Ambo)*

MESES	AÑOS EN ESTUDIO					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	29657	30546	27544	28370	33377	34378
Febrero	27594	29166	24792	28308	31951	33570
Marzo	29185	29789	28228	26773	30674	32327
Abril	25895	25433	26261	25746	30113	28695
Mayo	26245	28790	25576	26067	30491	31081
Junio	26145	27668	23583	25055	29300	27866
Julio	30056	31657	28111	26653	31533	33184
Agosto	32985	31625	27852	28430	33623	34315
Setiembre	30132	31755	29082	27644	32699	32373
Octubre	28630	28183	23924	24422	30908	29506
Noviembre	27075	29637	26325	27832	31390	30998
Diciembre	28125	28688	25370	25877	30444	31053
TOTAL	341724	352937	316648	321177	376503	379346

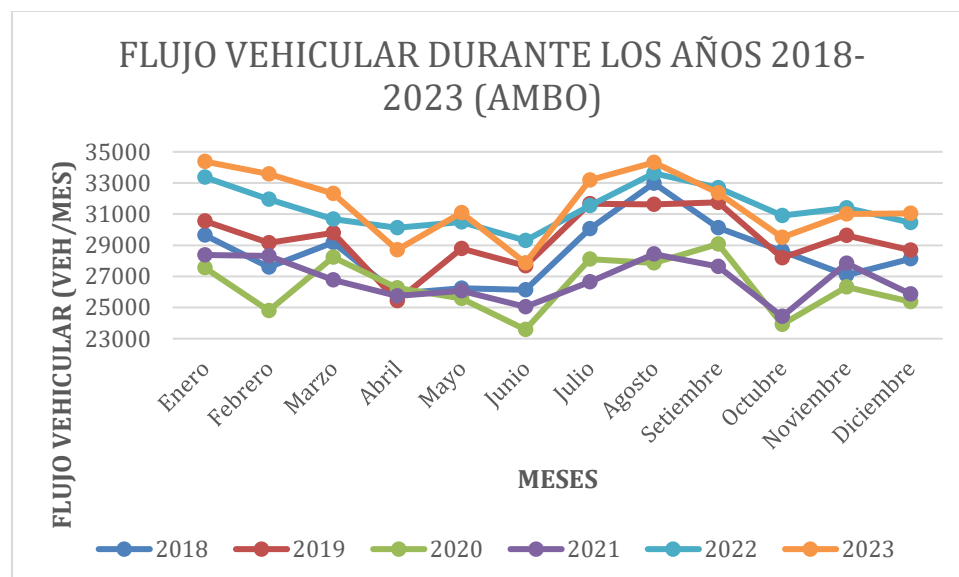
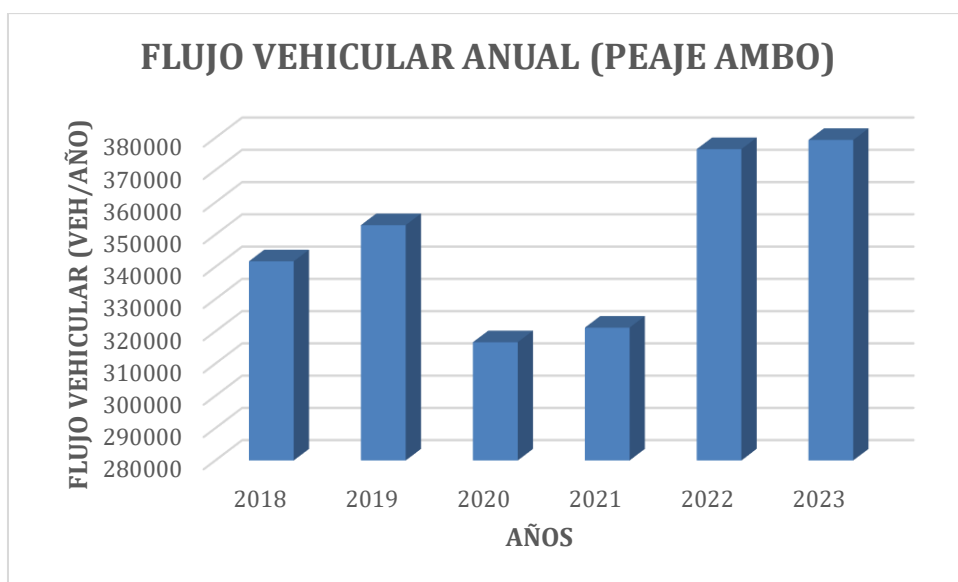
Figura 6*Flujo vehicular en el peaje Ayaviri*

Figura 7

Flujo vehicular anual en el peaje Ambo



4.1.2 INFORMACIÓN DE DATOS DE ACCIDENTES DE TRANSITO

Las principales comisarías de las cuales se recolectaron los principales datos sobre accidentes de tránsito de nuestra vía de estudio Cerro de Pasco – Huánuco fueron: Comisaria CPNP Ambo, Comisaría Cayhuayna C, Comisaria Chaupimarca B.

Estableciendo un periodo temporal de estudio de 6 años desde el 2018 hasta el 2023. Los datos recolectados sobre accidentes de tránsito se muestran en la siguiente tabla:

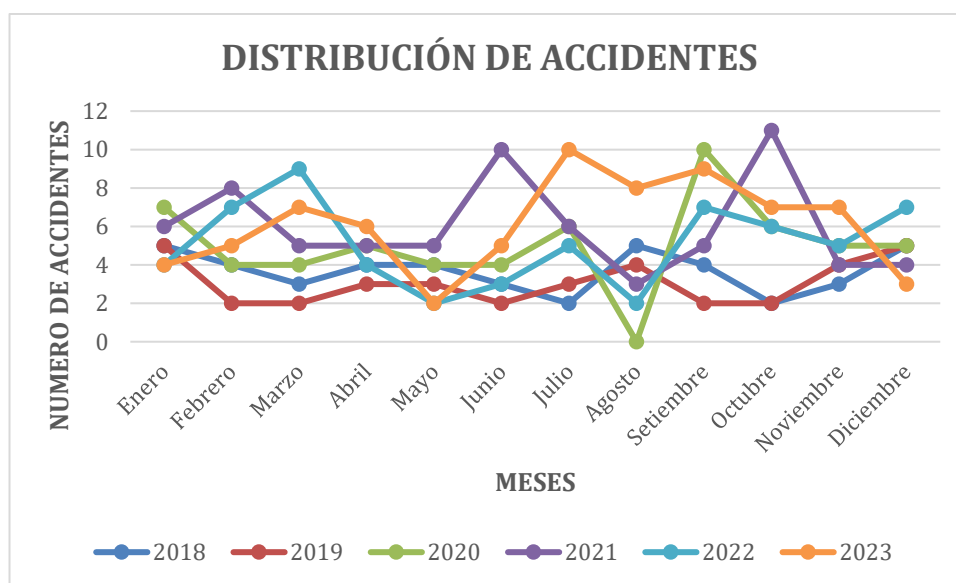
Tabla 7

Distribución de accidentes de tránsito entre los años 2018-2023

MESES	AÑO					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	5	5	7	6	4	4
Febrero	4	2	4	8	7	5
Marzo	3	2	4	5	9	7
Abril	4	3	5	5	4	6
Mayo	4	3	4	5	2	2
Junio	3	2	4	10	3	5
Julio	2	3	6	6	5	10
Agosto	5	4	0	3	2	8
Setiembre	4	2	10	5	7	9
Octubre	2	2	6	11	6	7
Noviembre	3	4	5	4	5	7
Diciembre	5	5	5	4	7	3
TOTAL	44	37	60	72	61	73

Figura 8

Distribución de accidentes de tránsito en la vía



4.1.3 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO Y FLUJO VEHICULAR

Para el análisis de correlación de accidentes de tránsito y flujo vehicular se usará el coeficiente de correlación r de Pearson ya que se adapta mejor a nuestra investigación.

Con los datos del volumen de tránsito de cada unidad de peaje se realizó el análisis de correlación entre las variables de IMDA y el número de accidentes, en el siguiente cuadro se mostrará lo redactado.

Tabla 8

Análisis de correlación entre el volumen de tránsito y los accidentes de tránsito

AÑO	N°		XY	X ²	Y ²
	IMDA X	ACCIDENTES Y			
2018	1095	44	48180	1199025	1936
2019	1105	37	40885	1221025	1369
2020	1186	60	71160	1406596	3600
2021	1268	72	91296	1607824	5184
2022	1295	61	78995	1677025	3721
2023	1316	73	96068	1731856	5329
TOTAL	7065	347	410617	8441269	21139

$$r=0.90905433$$

Existe correlación directa con una probabilidad de error del 5%

Al realizar el cálculo estadístico, se obtuvo una correlación de 0.909 cuyo valor es mayor al coeficiente tabular de 0.805 (5%) esto conlleva a que se puede concluir que existen una correlación lineal entre el volumen de tránsito y el número de accidentes. Este valor estadístico muestra que a mayor flujo vehicular se tendrá mayor número de accidentes de tránsito.

4.1.4 IDENTIFICACIÓN DE TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO T.C.A.

La identificación de estos T.C.A., se basaron en datos de accidentes de tránsito brindados por las diferentes comisarias que se encargan de la vía Cerro de Pasco – Huánuco; y el Tráfico Promedio Diario Anual. Se definieron los tramos por cada kilómetro y se identificó en que tramos sucedieron los accidentes reportados en la siguiente tabla:

Tabla 9*Datos de accidentes de tránsito y Tráfico Promedio Diario Anual*

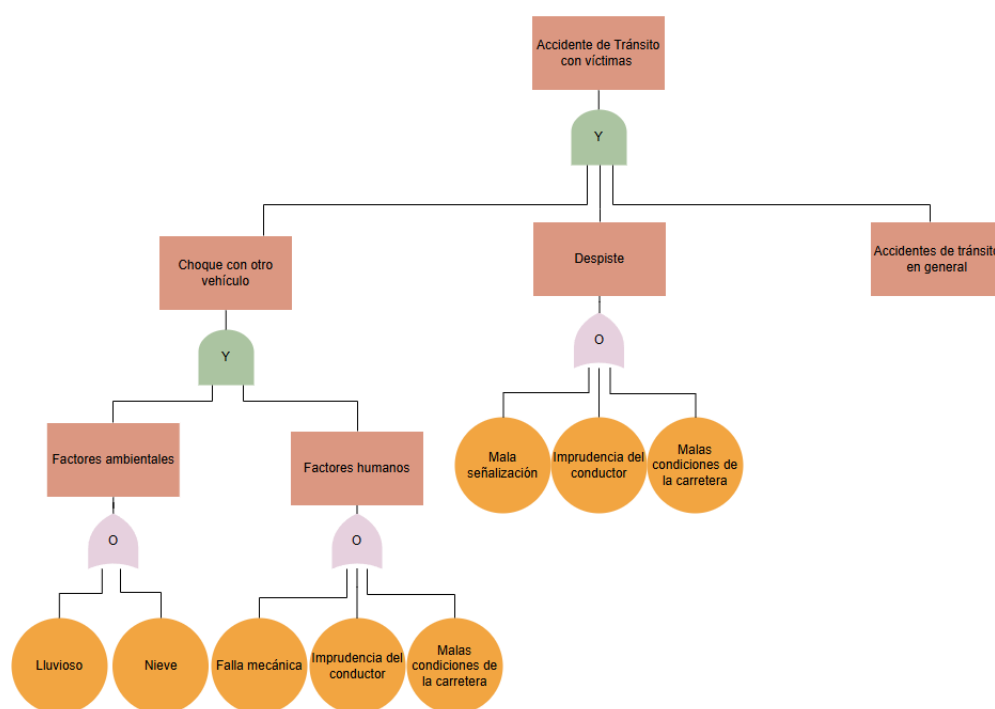
TRAMO	AÑOS							
	PROGRESIVA		2018	2019	2020	2021	2022	2023
	TDPA		936	967	868	880	1032	1039
			N°	N°	N°	N°	N°	N°
	INICIO	FIN	ACC	ACC	ACC	ACC	ACC	ACC
TRAMO N°1	125+000	126+000	0	0	0	0	0	0
TRAMO N°2	126+000	127+000	0	1	0	1	0	3
TRAMO N°3	127+000	128+000	4	3	4	5	3	4
TRAMO N°4	128+000	129+000	0	0	4	4	5	3
TRAMO N°5	129+000	130+000	5	3	5	6	4	5
TRAMO N°6	130+000	131+000	0	1	0	1	0	1
TRAMO N°7	131+000	132+000	0	0	0	0	0	0
TRAMO N°8	132+000	133+000	0	0	0	0	0	0
TRAMO N°9	133+000	134+000	1	2	4	3	5	4
TRAMO N°10	134+000	135+000	5	3	5	6	6	5
TRAMO N°11	135+000	136+000	5	3	5	6	4	6
TRAMO N°12	136+000	137+000	0	0	0	1	0	1
TRAMO N°13	137+000	138+000	0	0	0	0	0	0
TRAMO N°14	138+000	139+000	0	0	0	0	0	0
TRAMO N°15	139+000	140+000	0	0	0	0	0	0
TRAMO N°16	140+000	141+000	0	0	0	1	1	5
TRAMO N°17	141+000	142+000	8	5	8	8	7	6
TRAMO N°18	142+000	143+000	5	5	6	6	7	7
TRAMO N°19	143+000	144+000	0	0	6	6	5	5
TRAMO N°20	144+000	145+000	0	0	0	0	0	0
TRAMO N°21	145+000	146+000	0	0	0	1	0	1
TRAMO N°22	146+000	147+000	0	0	0	0	0	0
TRAMO N°23	147+000	148+000	3	0	4	6	3	6
TRAMO N°24	148+000	149+000	5	5	5	5	5	5
TRAMO N°25	149+000	150+000	3	6	4	6	6	6
TRAMO N°26	150+000	151+000	0	0	0	0	0	0
TRAMO N°27	151+000	152+000	0	0	0	0	0	0

Método fta o análisis de árbol de fallas para determinar los puntos negros

Planteamos nuestro diagrama de árbol de fallas teniendo como nuestro evento principal o el fallo a analizar a los accidentes de tránsito con víctimas. Tenemos como eventos secundarios a choques con otros vehículos, despiste, accidentes de tránsito en general, factores ambientales y factores humanos. También como eventos básicos a clima lluvioso, clima nieve, falla mecánica imprudencia del conductor, malas condiciones de la carretera, mala señalización. Por lo que nuestro diagrama final queda de la siguiente manera:

Figura 9

Árbol de falla FAT



Se calcularon las probabilidades de que sucedan los eventos básicos con los datos obtenidos del INEI y el SENAMHI, presentamos las probabilidades a continuación:

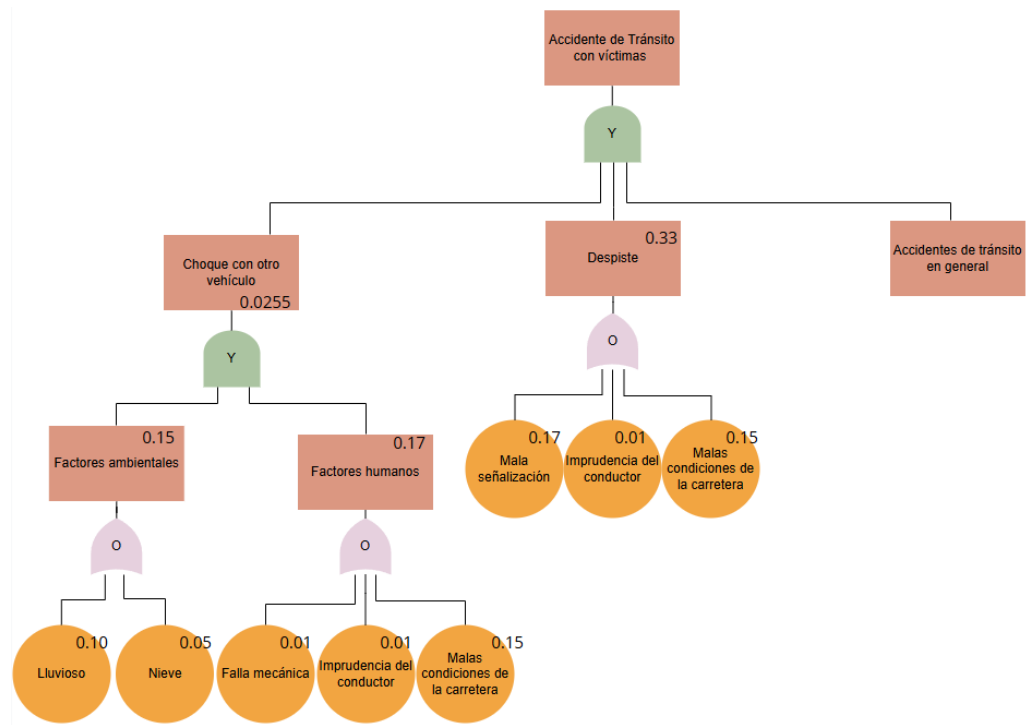
Tabla 10

Probabilidades de eventos básicos

Evento Básico	Probabilidad
Lluvioso	0.10
Nieve	0.05
Falla mecánica	0.01
Imprudencia del conductor	0.01
Malas condiciones de la carretera	0.15
Mala señalización	0.17

Figura 10

Árbol de falla FAT colocando las probabilidades de los eventos básicos



Para determinar las probabilidades de los accidentes de tránsito en general se calculó en sacando un promedio de los accidentes reportados durante 6 años desde el 2018 hasta el 2023, ya que se determinó debido a que el coeficiente correlacional de pearson nos indica que se tiene los datos con una relación lineal, mostramos los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 11

Probabilidades de los accidentes de tránsito por tramo

TRAMO	PROGRESIVA		PROMEDIO EN 6 AÑOS	%
	INICIO	FIN		
TRAMO N°1	125+000	126+000	0	0.0000
TRAMO N°2	126+000	127+000	1	0.0169
TRAMO N°3	127+000	128+000	4	0.0678
TRAMO N°4	128+000	129+000	3	0.0508
TRAMO N°5	129+000	130+000	5	0.0847
TRAMO N°6	130+000	131+000	1	0.0169
TRAMO N°7	131+000	132+000	0	0.0000

TRAMO N°8	132+000	133+000	0	0.0000
TRAMO N°9	133+000	134+000	3	0.0508
TRAMO N°10	134+000	135+000	5	0.0847
TRAMO N°11	135+000	136+000	5	0.0847
TRAMO N°12	136+000	137+000	0	0.0000
TRAMO N°13	137+000	138+000	0	0.0000
TRAMO N°14	138+000	139+000	0	0.0000
TRAMO N°15	139+000	140+000	0	0.0000
TRAMO N°16	140+000	141+000	1	0.0169
TRAMO N°17	141+000	142+000	7	0.1186
TRAMO N°18	142+000	143+000	6	0.1017
TRAMO N°19	143+000	144+000	4	0.0678
TRAMO N°20	144+000	145+000	0	0.0000
TRAMO N°21	145+000	146+000	0	0.0000
TRAMO N°22	146+000	147+000	0	0.0000
TRAMO N°23	147+000	148+000	4	0.0678
TRAMO N°24	148+000	149+000	5	0.0847
TRAMO N°25	149+000	150+000	5	0.0847
TRAMO N°26	150+000	151+000	0	0.0000
TRAMO N°27	151+000	152+000	0	0.0000
TOTAL			59	1.0000

Cargamos las probabilidades a nuestro diagrama de árbol de fallas las probabilidades de los tramos que no tienen 0% como su probabilidad, mostramos los resultados en las siguientes figuras:

Figura 11

Diagrama FTA para el Tramo N°2

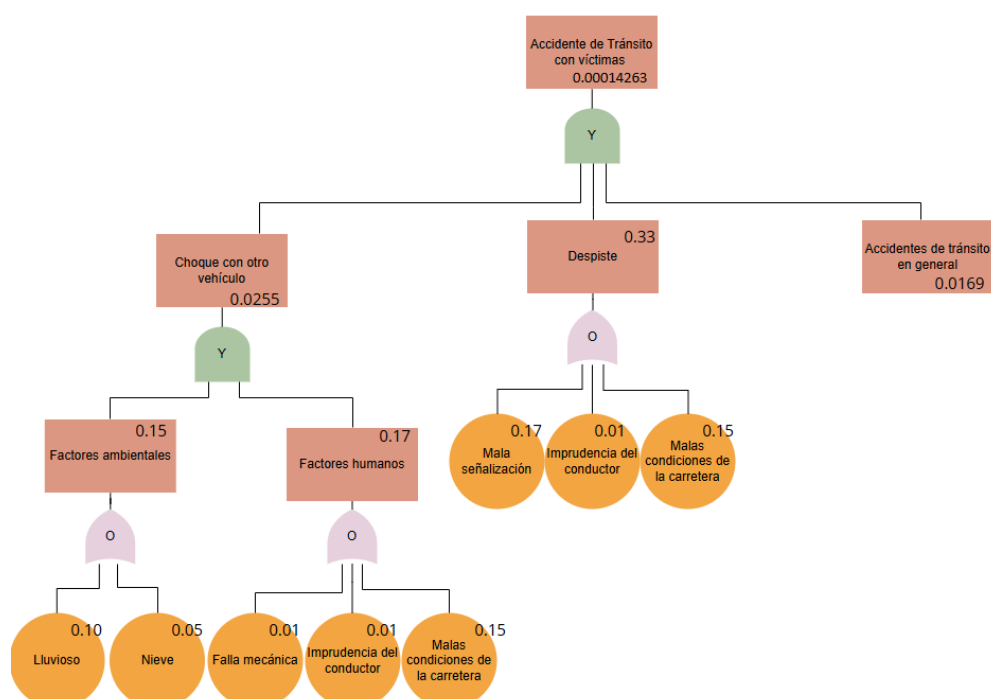


Figura 12

Diagrama FTA para el Tramo N°3

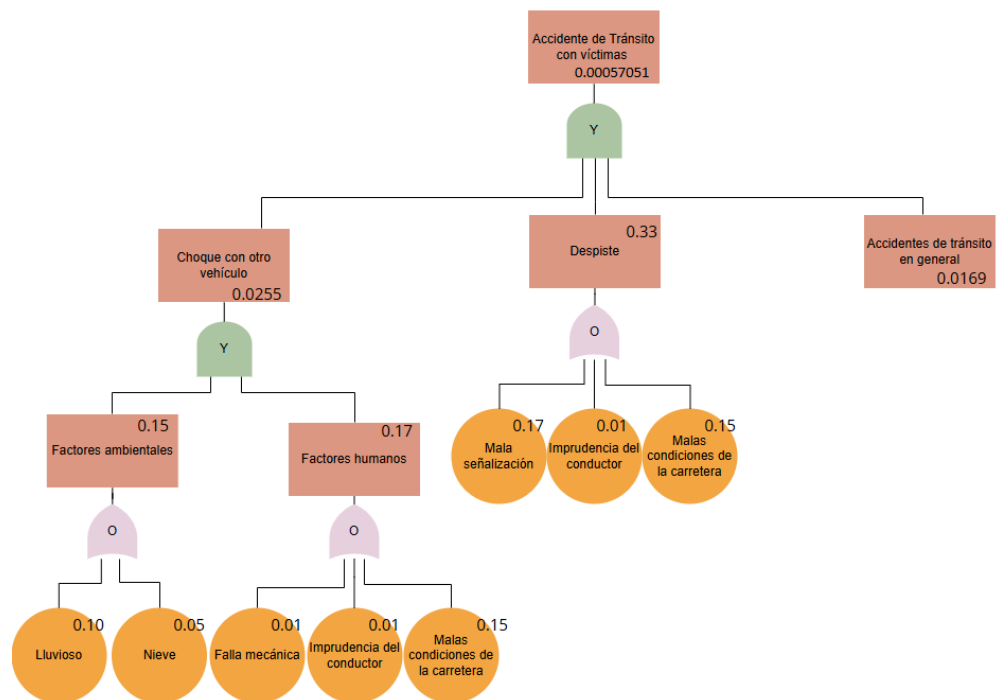


Figura 13

Diagrama FTA para el Tramo N°4

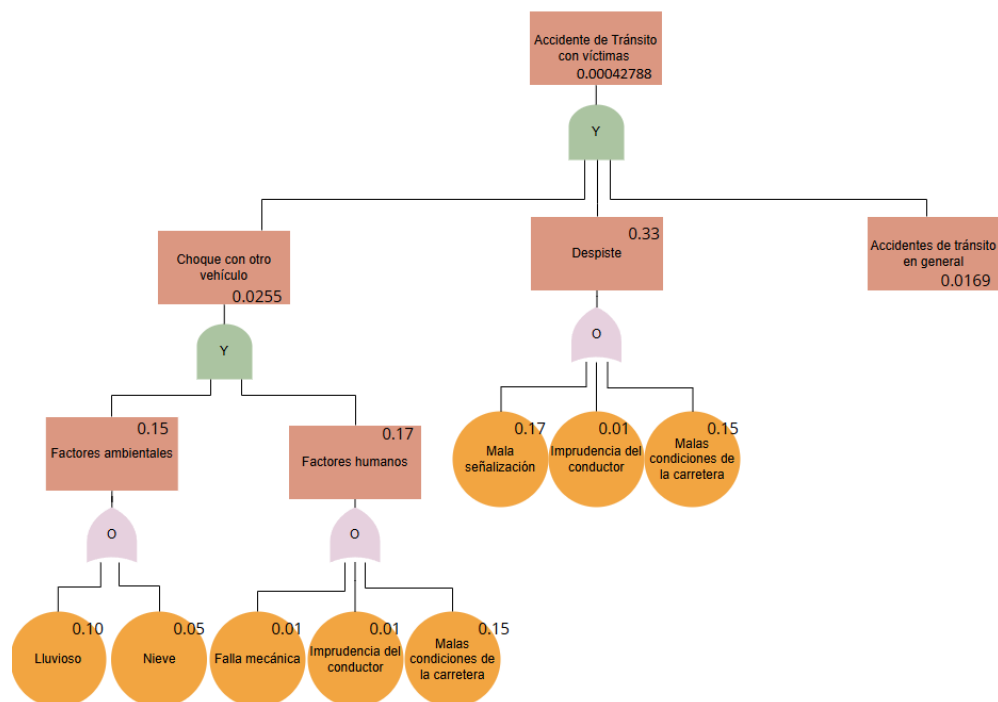


Figura 14

Diagrama FTA para el Tramo N°5

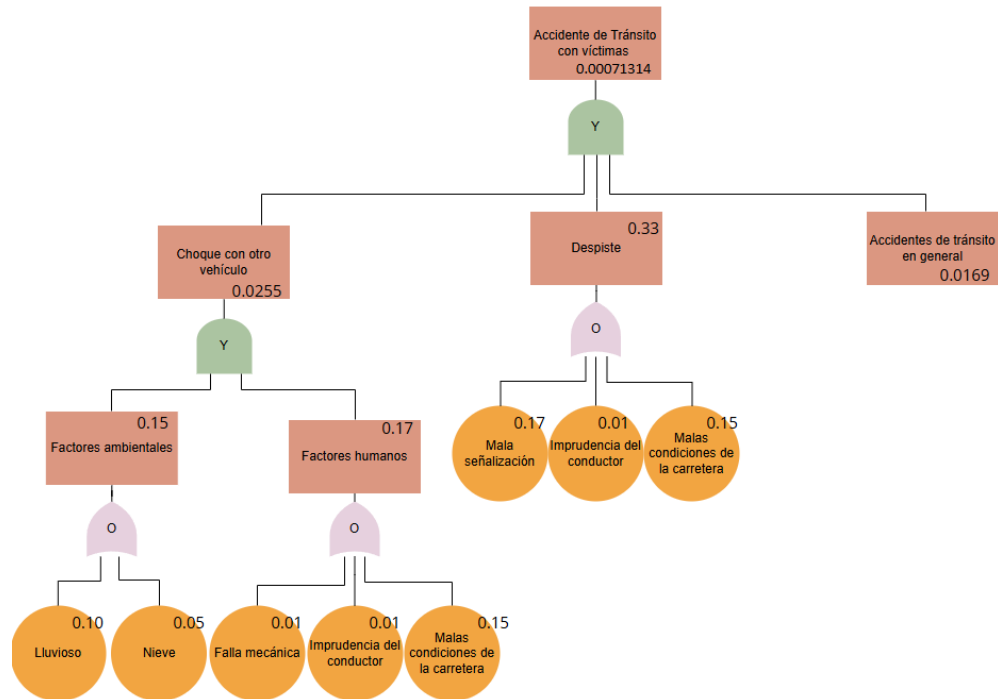


Figura 15

Diagrama FTA para el Tramo N°6

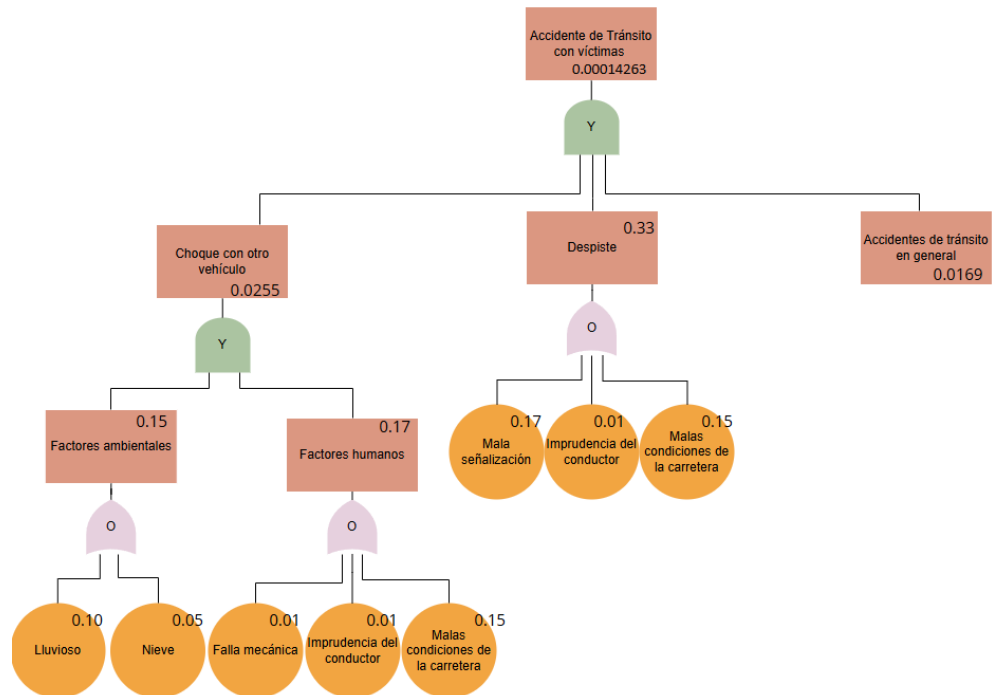


Figura 16

Diagrama FTA para el Tramo N°9

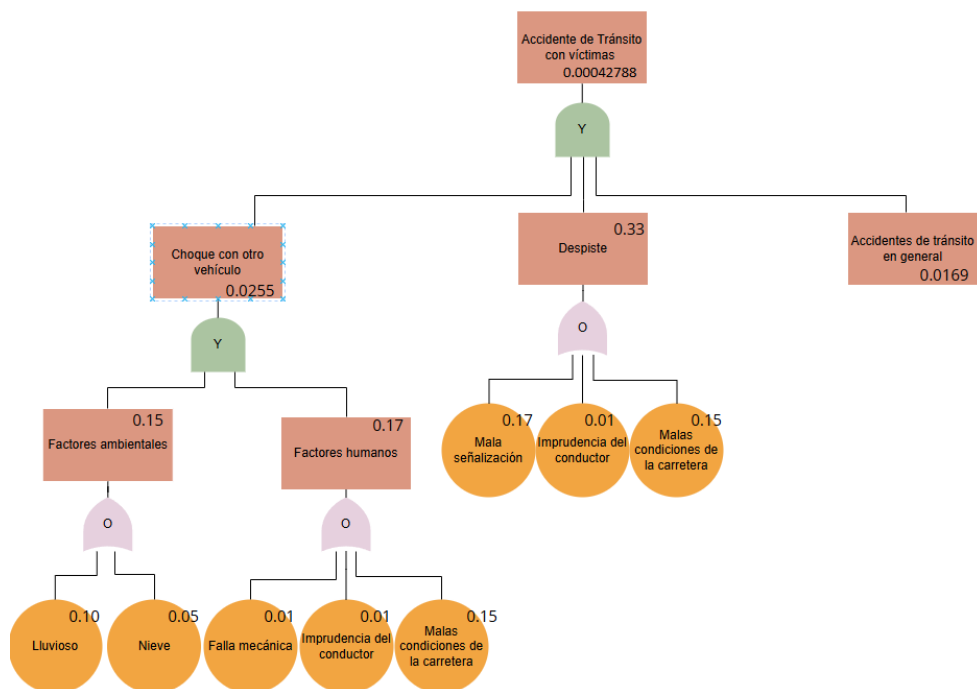


Figura 17

Diagrama FTA para el Tramo N°10

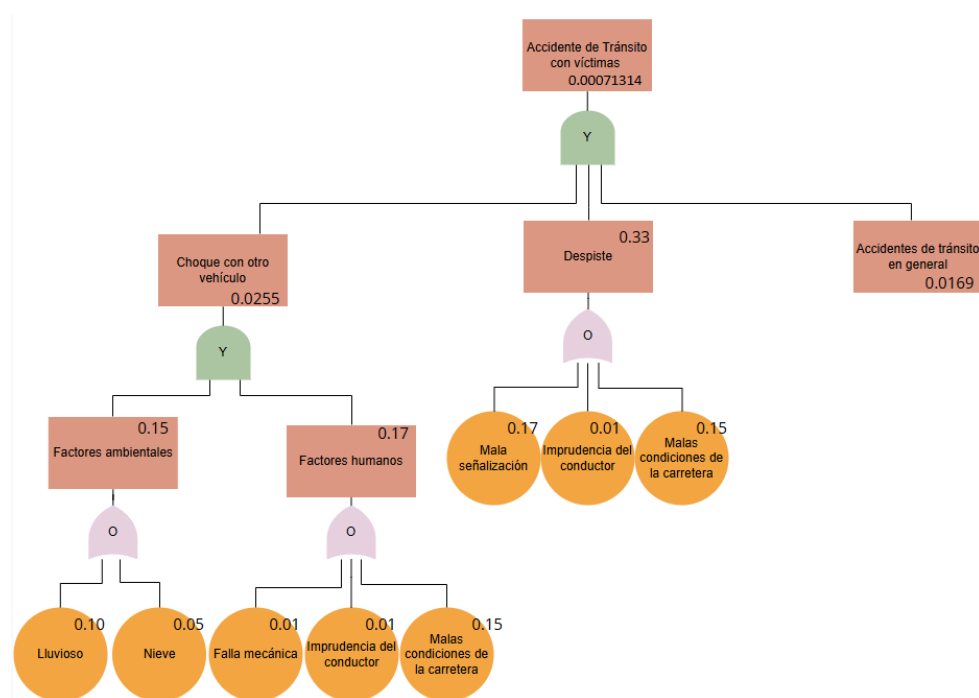


Figura 18

Diagrama FTA para el Tramo N°11

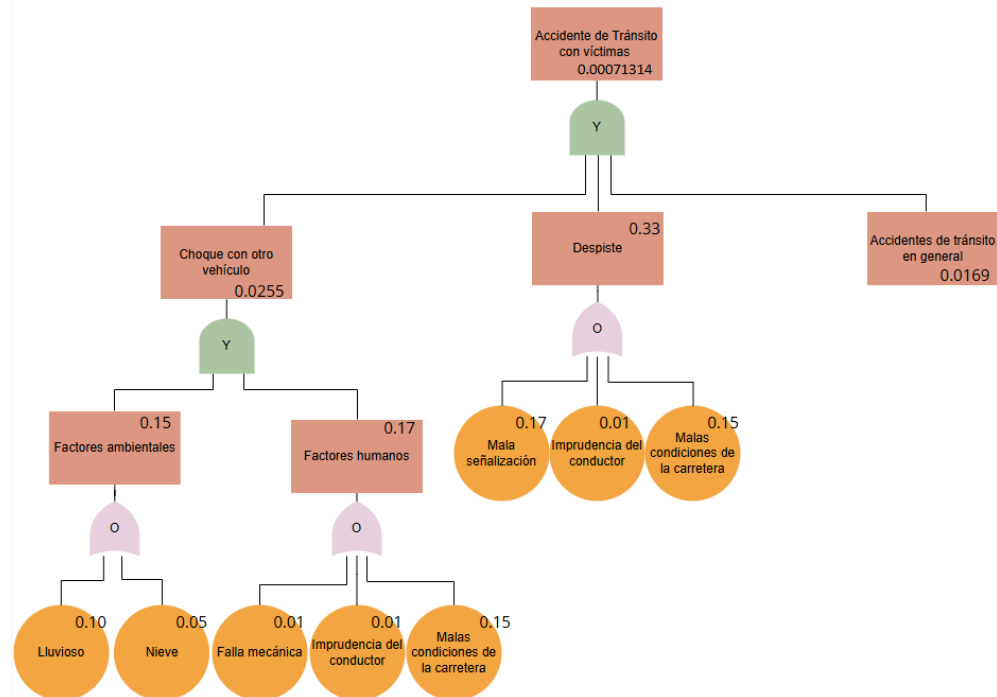


Figura 19

Diagrama FTA para el Tramo N°16

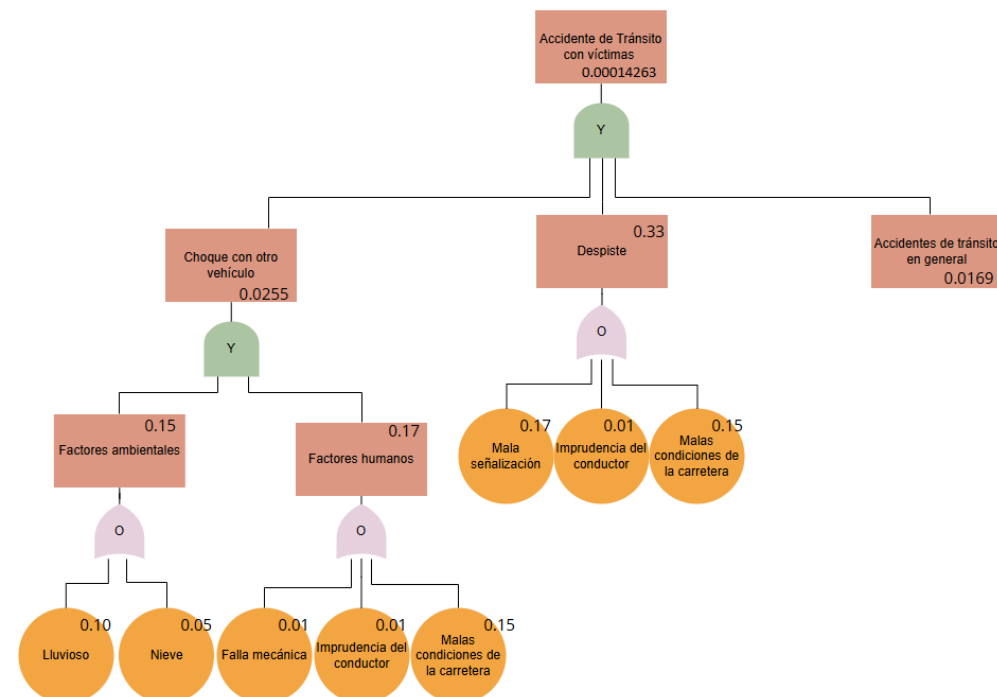


Figura 20

Diagrama FTA para el Tramo N°17

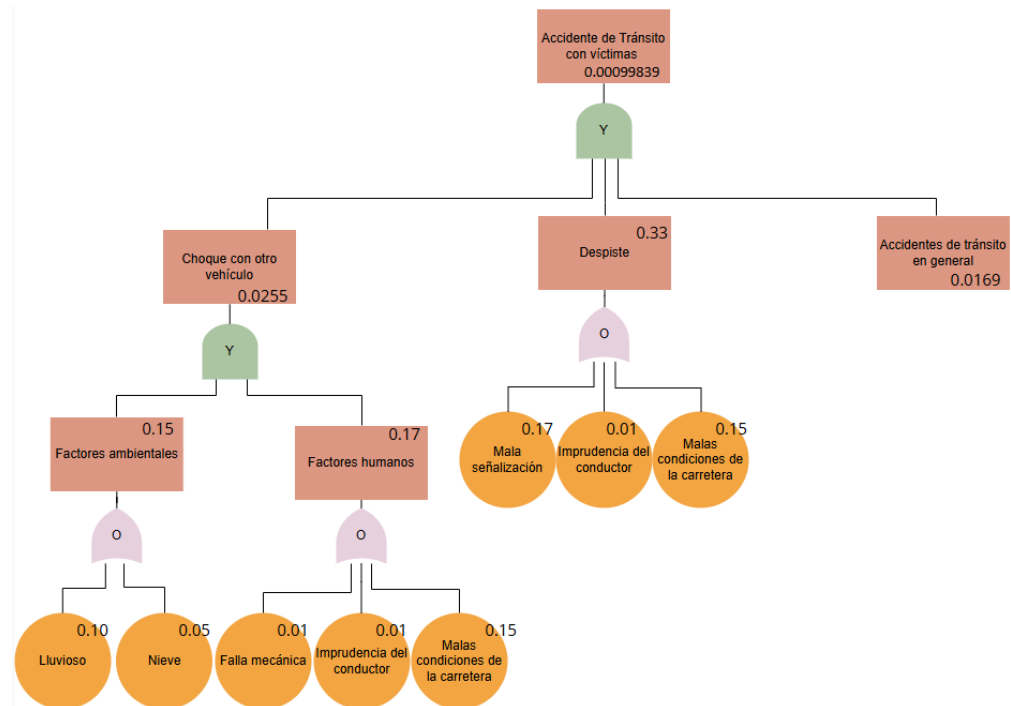


Figura 21

Diagrama FTA para el Tramo N°18

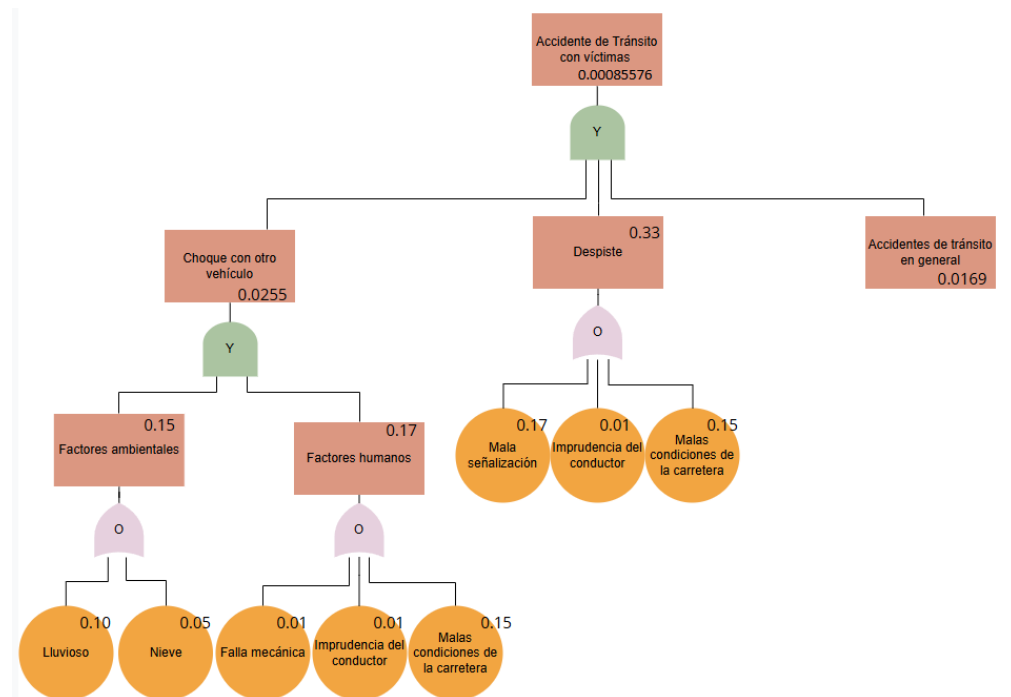


Figura 22

Diagrama FTA para el Tramo N°19

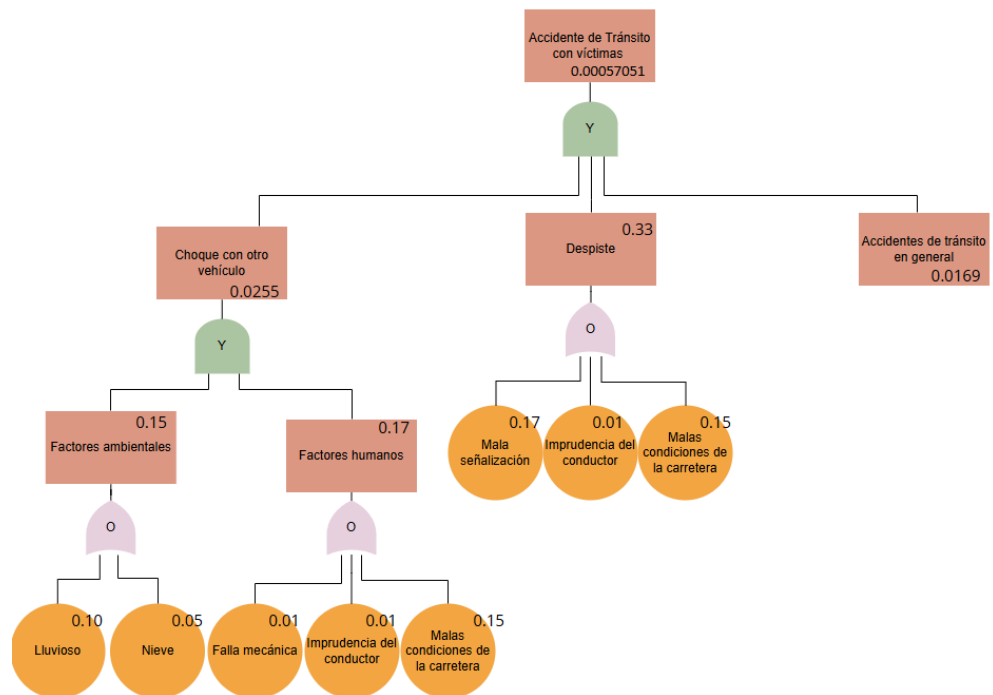


Figura 23

Diagrama FTA para el Tramo N°23

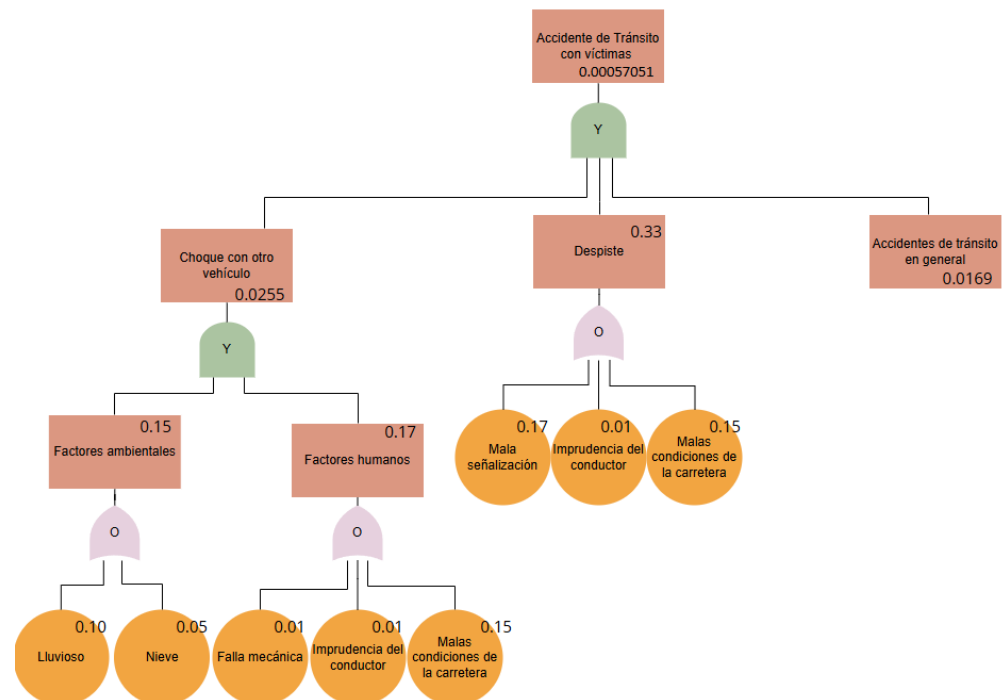


Figura 24

Diagrama FTA para el Tramo N°24

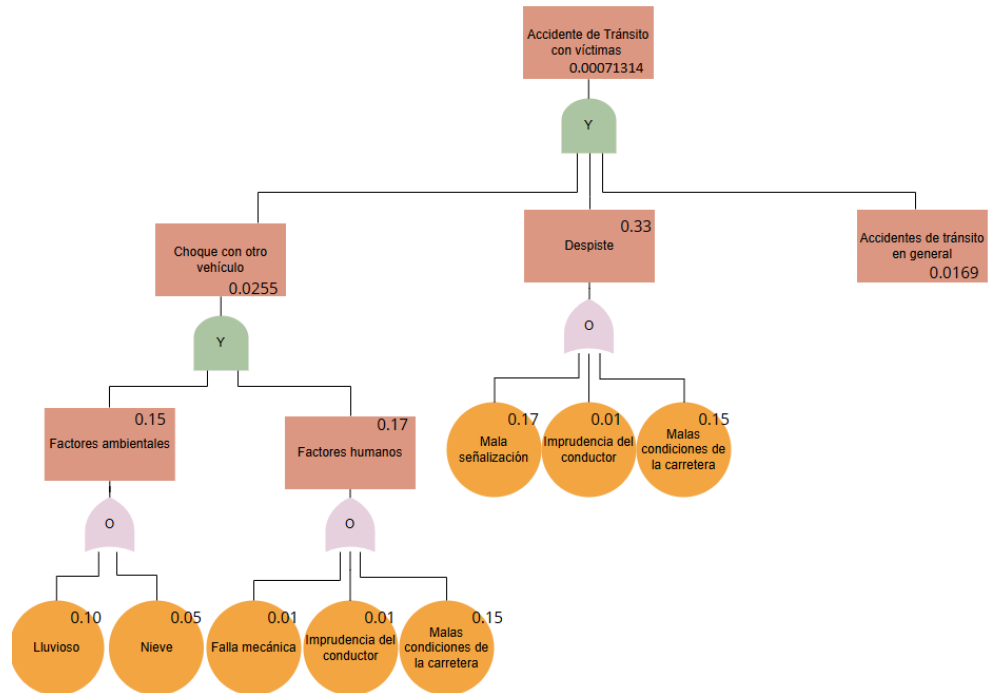


Figura 25

Diagrama FTA para el Tramo N°25

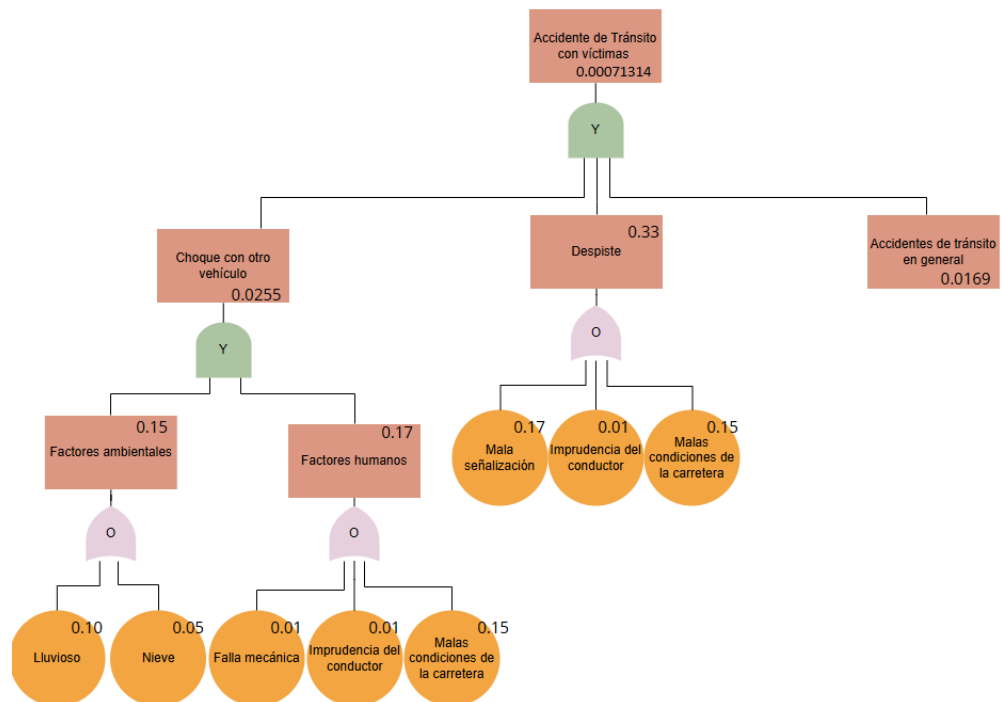


Tabla 12*Probabilidad para la determinación de punto negros*

TRAMO	PROGRESIVA		PROMEDIO EN 6 AÑOS	%	% de despiste	% de choque con otro vehículo	%Accidente de tránsito con víctimas
	INICIO	FIN					
TRAMO N°2	126+000	127+000	1	0.0169	0.0255	0.33	0.00014263
TRAMO N°3	127+000	128+000	4	0.0678	0.0255	0.33	0.00057051
TRAMO N°4	128+000	129+000	3	0.0508	0.0255	0.33	0.00042788
TRAMO N°5	129+000	130+000	5	0.0847	0.0255	0.33	0.00071314
TRAMO N°6	130+000	131+000	1	0.0169	0.0255	0.33	0.00014263
TRAMO N°9	133+000	134+000	3	0.0508	0.0255	0.33	0.00042788
TRAMO N°10	134+000	135+000	5	0.0847	0.0255	0.33	0.00071314
TRAMO N°11	135+000	136+000	5	0.0847	0.0255	0.33	0.00071314
TRAMO N°16	140+000	141+000	1	0.0169	0.0255	0.33	0.00014263
TRAMO N°17	141+000	142+000	7	0.1186	0.0255	0.33	0.00099839
TRAMO N°18	142+000	143+000	6	0.1017	0.0255	0.33	0.00085576
TRAMO N°19	143+000	144+000	4	0.0678	0.0255	0.33	0.00057051
TRAMO N°23	147+000	148+000	4	0.0678	0.0255	0.33	0.00057051
TRAMO N°24	148+000	149+000	5	0.0847	0.0255	0.33	0.00071314
TRAMO N°25	149+000	150+000	5	0.0847	0.0255	0.33	0.00071314

De la tabla determinamos que los tramos cuyas probabilidades son mayores a 0.05%, son los puntos negros de la carretera en estudio, tramos que indicamos en la siguiente tabla:

Tabla 13*Puntos negros*

TRAMO	PROGRESIVA		%Accidente de tránsito con víctimas
	INICIO	FIN	
TRAMO N°3	127+000	128+000	0.06%
TRAMO N°5	129+000	130+000	0.07%
TRAMO N°10	134+000	135+000	0.07%
TRAMO N°11	135+000	136+000	0.07%
TRAMO N°17	141+000	142+000	0.10%

TRAMO N°18	142+000	143+000	0.09%
TRAMO N°19	143+000	144+000	0.06%
TRAMO N°23	147+000	148+000	0.06%
TRAMO N°24	148+000	149+000	0.07%
TRAMO N°25	149+000	150+000	0.07%

4.2 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

Hipótesis general planteada:

Existen relaciones significativas entre los tipos de accidentes, los límites de seguridad de los vehículos y los modos de falla con la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.

Prueba de Hipótesis:

- a) Hipótesis Nula, (Ho):** No existen relaciones significativas entre los tipos de accidentes, los límites de seguridad de los vehículos y los modos de falla con la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.
- b) Hipótesis Alterna, (Hi):** Existen relaciones significativas entre los tipos de accidentes, los límites de seguridad de los vehículos y los modos de falla con la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.

Interpretación:

Con el coeficiente correlacional de pearson comprobado que existe una relación lineal con los tipos de accidente y el IMDA valores que utilizamos para determinar las probabilidades de los eventos básicos en el análisis de árbol de fallas, considerando también los límites de seguridad en los eventos básicos.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Se contrasta los resultados de este estudio con otros como:

Según Vergara (2023), en su tesis titulada "Lineamientos para la determinación de tramos de concentración de accidentes de tránsito en vías rurales a través de la estimación del índice de siniestralidad-caso de estudio vía Cereté–Lorica (Córdoba, Colombia)–APP-IP conexión departamentos Antioquia–Bolívar", determino que el método desarrollado, especialmente el uso de la ventana deslizante incorporando el índice de severidad, demostró ser efectivo en identificar un mayor número de tramos críticos de accidentes, capturando patrones de accidentes graves y abordando de manera integral la problemática de la siniestralidad en vías rurales. Al igual que nuestro estudio que determino que la metodología utilizada sirve para determinas los puntos negros en la carretera en estudio.

Según Pampamallco y Huaquisto (2020), en su tesis titulada "Ubicación y evaluación de los puntos negros en la vía Juliaca-Marangani entre los años 2013-2018 y formulación de un plan de mitigación para su prevención", concluyó que el método del control de calidad de la tasa es el más efectivo, identificando 12 puntos negros en la vía. Los parámetros obtenidos en campo se contrastaron con los manuales de diseño geométrico y las normas de señalización vigentes, formulando un plan de mitigación para reducir los accidentes de tránsito, información que se espera sea útil para Provias Nacional. Con nuestro método determinamos 10 puntos negros en tramos de 1 km cada uno en las cuales suceden accidentes de tránsito con víctimas.

CONCLUSIONES

- En el diagrama del análisis del árbol de fallas se colocaron los tipos de accidentes, límites de seguridad y modos de falla como eventos básicos, siendo influyentes en la determinación de los 10 puntos negros identificados en la carretera en estudio, siendo estos ubicados en los kilómetros 127, 129, 134, 135, 141, 142, 143, 147, 148 y 149.
- Se analizaron el historial de accidentes ocurridos durante los 6 últimos años determinando que se tienen un total de 44 accidentes en el 2018, 37 accidentes en el 2019, 60 accidentes en el 2020, 72 accidentes en el 2021, 61 accidentes en el 2022, 73 accidentes en el 2023.
- Determinamos la relación en probabilidades de los límites de seguridad y fallas que pueden suceder para los accidentes:

Evento Básico	Probabilidad
Lluvioso	0.10
Nieve	0.05
Falla mecánica	0.01
Imprudencia del conductor	0.01
Malas condiciones de la carretera	0.15
Mala señalización	0.17

- La visibilidad de los puntos negro contribuye a poder plantear soluciones técnicas que puedan tener un impacto que disminuyan la cantidad de accidentes con víctimas que se podrían originar en la carretera en estudio

RECOMENDACIONES

- Para tener una mayor precisión en la determinación de los puntos negros se debe tener una forma de calcular la probabilidad de que sucedan otros tipos de accidentes y tener mayor detalle de sus causas.
- Se recomienda considerar que se maneje una base de datos de accidentes con mayor detalle en el formato utilizado por la PNP ya que conocer los detalles del accidente con fines de determinar los factores técnicos no son considerados en el formato vigente.
- Para tener mayor precisión en determinar las probabilidades de los límites de seguridad y las fallas se debe comenzar a obtener datos estadísticos históricos de cada uno de ellos cosa que en la actualidad no existe debido a que el análisis del árbol de fallas es una nueva metodología para este tipo de eventos.
- Se recomienda aplicar este tipo de análisis en las vías nacionales para así evitar posibles accidentes futuros ya que queda comprobado que este tipo de análisis por árbol de fallas sirve para determinar los puntos negros con mucha precisión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (2017). *Highway Safety Manual*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2018). *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Adams, J. (2017). *Title of the work*. Publisher.
- Babbie, E. (2016). *The Practice of Social Research (14th ed.)*. Cengage Learning.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches (5th ed.)*. SAGE Publications.
- Daga Saavedra, D. A. (2019). *Evaluación del radio de curvatura en la accidentabilidad en la carretera Nacional Ruta pe-5n Von Humboldt km 328+422-Aguaytia km 403+822 en el periodo 2016-2018 en el departamento de Ucayali* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio institucional: <https://hdl.handle.net/20.500.13080/5524>
- Defensoría del Pueblo. (2016). *Defensoría del Pueblo advierte sobre falta de mantenimiento de vías y deficiencias en la señalización de zonas que provocan accidentes de tránsito*. <https://www.defensoria.gob.pe/defensoria-del-pueblo-advier-te-sobre-falta-de-mantenimiento-de-vias-y-deficiencias-en-la-senalizacion-de-zonas-que-provocan-accidentes-de-transito/>
- Elvik, R., Høye, A., Vaa, T., & Sørensen, M. (2009). *The Handbook of Road Safety Measures (2nd ed.)*. Emerald Group Publishing.
- Guillermo Tito, D. A. (2018). *Mejoras en la seguridad vial con medidas de bajo costo* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/13044>
- Hauer, E. (1997). *Observational Before-After Studies in Road Safety*. Pergamon.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación (6th ed.)*. McGraw-Hill Education.

- Huovila, G. (2000). *Traffic Accident Research: Theoretical Framework and Identification of Target Groups*. Springer.
- International Road Assessment Programme (iRAP). (2016). *Speed Management and Enforcement*. iRAP.
- Javier Mendoza, J. (2023). *Estudio vial del punto negro, Curva del Diablo, km 140.5 Carretera Central de la vía Cerro de Pasco–Huariaca, 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio institucional: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3365>
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2000). *Foundations of Behavioral Research (4th ed.)*. Harcourt College Publishers.
- Levin, K. A. (2006). *Study design III: Cross-sectional studies*. Evidence-Based Dentistry, 7(1), 24-25.
- Lopinta León, E. O. (2019). *Auditoria operativa de los puntos negros en la infraestructura vial en el tramo Cusco-Urcos. Periodo: 2016-2017* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional San Antonio de Abad del Cusco]. Repositorio universitario: <http://hdl.handle.net/20.500.12918/4198>
- Martínez, J. (2016). *Seguridad Vial y Gestión de la Movilidad Sostenible*. Editorial Síntesis.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2017). *Manual de carreteras*. <https://studylib.es/doc/8809132/manual-suelos-pavimentos>
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2018). *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. <http://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2013/Julio/14/RD-18-2013-MTC-14.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú [MTC Perú]. (2019). *Reglamento Nacional de Tránsito*. Lima, Perú.
- Neuman, W. L. (2014). *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches (7th ed.)*. Pearson.
- Pampamallco Paredes, M. R., & Huaquisto Ruelas, G. J. (Year). *Ubicación y evaluación de los puntos negros en la vía Juliaca-Marangani entre los años 2013-2018 y formulación de un plan de mitigación para su prevención* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].

Repositorio

Universitario:

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18468>

Persaud, B. (2002). *Vehicle and Traffic Characteristics in Relation to Road Safety*. Transportation Research Board.

Persaud, B., & Retting, R. (2000). *Speed Limits and Accidents: A Review of the Literature*. Transportation Research Board.

Quispe Cama, H. A. (2020). *Metodologías de determinación de puntos negros y sus efectos en la reducción de los accidentes de tránsito, en el distrito de Huancayo-2019* [Tesis de pregrado, Universidad Continental].

Repositorio

institucional:

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/7713/2/IV_FIN_105_TE_Quispe_Cama_2020.pdf

Rodríguez Shum, S. (2019). *Análisis de sitios de concentración de choques viales mediante la utilización de sistemas móviles para el inventario de carreteras en la Ruta Nacional 1* [Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica].

Repositorio

institucional:

<https://hdl.handle.net/10669/79291>

Servantes Eduardo, N. E., & Alvino Campos, A. K. (2023). *Relación entre la accidentalidad y parámetros geométricos en la vía nacional Pe-18b tramo: Puente Rancho–Panao–Chaglla en el Departamento de Huánuco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán].

Repositorio

Institucional:

<https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/8965/TIC00363S42.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Stuster, J. (2006). *Traffic Safety and Human Behavior*. Elsevier.

Várhelyi, A. (2003). *Safety Effects of Road Design Standards: State of Knowledge and Research Needs*. European Transport Safety Council.

Vergara Barreto, H. (2023). *Lineamientos para la determinación de tramos de concentración de accidentes de tránsito en vías rurales a través de la estimación del índice de siniestralidad-caso de estudio vía Cereté–lorica (Córdoba, Colombia)–APP-IP conexión litoral caribe* [Tesis de Maestría, Universidad de La Salle]. Repositorio institucional: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1365&context=maest_transporte_seguridad_vial

Viale Varela, J. M., & Perdomo López, E. M. (2022). *Identificación de puntos negros viales en el cantón La Libertad, Santa Elena, Ecuador. Aplicación de sistemas de información geográfica* [Tesis de Maestría, Universidad de Guayaquil]. Repositorio institucional: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/65529/1/TESIS%20JAVIER%20MARCELO%20VIALE%20VARELA%20%26%20EDUARDO%20MARCIAL%20PERDOMO%20LOPEZ.pdf>

WHO. (2018). *Global Status Report on Road Safety*. World Health Organization.

Yikai, W., Chen, S., Cai, Y., Mi, L., & Lian, X. (2019). *Investigating the Characteristics of Traffic Accidents Involving Vulnerable Road Users in Urban Areas*. IET Intelligent Transport Systems, 13(8), 1237-1245. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2019.0111>

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Yali Ricaldi, A. M. (2025). *Identificación de puntos negros en carreteras mediante el análisis del árbol de fallas y límites de seguridad de los vehículos: vía nacional PE 3N Huánuco - Cerro de Pasco, 2024*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH. url: <http://...>

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Metodología
Problema General ¿Cómo influyen los tipos de accidentes, los límites de seguridad de los vehículos y los modos de falla en la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas? Problemas Específicos Problema específico N.º 1: ¿De qué manera los diferentes tipos de accidentes contribuyen a la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas? Problema específico N.º 2: ¿Cómo influyen los límites de seguridad de los vehículos en la ocurrencia de accidentes en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas? Problema específico N.º 3: ¿Cuál es la relación entre los modos de falla de los accidentes y la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas? Problema específico N.º 4: ¿Cómo influye la combinación de tipos de accidentes, límites de seguridad de los vehículos y modos de falla en la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas? Problema específico N.º 5: ¿Cómo influye la geometría de la vía en la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas?	Objetivo General Determinar la influencia combinada de los tipos de accidentes, los límites de seguridad de los vehículos y los modos de falla en la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas. Objetivos Específicos OE1: Analizar cómo los diferentes tipos de accidentes contribuyen a la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas. OE2: Evaluar la influencia de los límites de seguridad de los vehículos en la ocurrencia de accidentes en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas. OE3: Establecer la relación entre los modos de falla de los accidentes y la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas. OE4: Determinar la influencia combinada de los tipos de accidentes, los límites de seguridad de los vehículos y los modos de falla en la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas. OE5: Analizar la geometría de la vía y su relación con la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.	Hipótesis General Existen relaciones significativas entre los tipos de accidentes, los límites de seguridad de los vehículos y los modos de falla con la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas. Hipótesis Específicas Hipótesis específica N.º 1: Existe una relación significativa entre los tipos de accidentes y la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas. Hipótesis específica N.º 2: Los límites de seguridad de los vehículos influyen significativamente en la ocurrencia de accidentes en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas. Hipótesis específica N.º 3: Los modos de falla de los accidentes tienen una relación significativa con la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas. Hipótesis específica N.º 4: La combinación de tipos de accidentes, límites de seguridad de los vehículos y modos de falla influye significativamente en la identificación de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas. Hipótesis específica N.º 5: La geometría de la vía tiene una influencia significativa en la identificación	<u>Paradigma.</u> Positivista <u>Enfoque.</u> Cuantitativo <u>Tipo.</u> Aplicada <u>Nivel.</u> Descriptivo-Explicativo <u>Diseño.</u> No experimental, transversal <u>Población.</u> La vía PE 3N Km. 125+000 al Km. 235+000 <u>Muestra</u>

Problema específico N.º 6: ¿De qué manera la visibilidad en los puntos negros causa y afecta la ocurrencia de accidentes en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas?	OE6: Evaluar las causas y efectos de cómo la visibilidad en los puntos negros afecta la ocurrencia de accidentes en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.	de puntos negros en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas. Hipótesis específica N.º 6: La visibilidad en los puntos negros causa y afecta significativamente la ocurrencia de accidentes en la carretera PE 3N Huánuco-Cerro de Pasco mediante el análisis del árbol de fallas.	Tramo del Km. 125+000 al Km. 152+000 <u>Estadística</u> Descriptiva e inferencial
---	---	---	--

ANEXO 2

INSTRUMENTOS



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Viceministerio de Transportes

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles

PEPORTE DE ACCIDENTES															
FECHA		HORA		HORA DE NOTIFICACIÓN		HORA DE AUXILIO		COMISARÍA		NÚMERO DE REPORTE					
DISTRITO/PROVINCIA/DEPARTAMENTO						CIUDAD O PUEBLO		1. Dentro de la ciudad 2. Fuera de la ciudad		Si es 2 especificar:		KILÓMETROS O METROS			
NOMBRE DE LA VÍA						TIPO DE VÍA		N° CARRILES		1. Dividido 2. No dividido					
EN LA INTERSECCIÓN						CERCA DE LA INTERSECCIÓN		Especificar:				KILÓMETROS O METROS			
AÑO		MARCA		TIPO DE VEHÍCULO		NÚMERO DE LICENCIA		NÚMERO DE IDENTIDAD							
ÁREAS DEL VEHÍCULO DAÑADO		FRONTAL		FRONTAL DER.		FRONTAL IZQ.		LADO DER.		LADO IZQ.		POSTERIOR		ESTADO DEL VEHÍCULO	
COMPañía DE SEGURO															
NOMBRE DEL PROPIETARIO DEL VEHÍCULO (ver la licencia si es el mismo conductor)						DIRECCIÓN ACTUAL				DISTRITO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO					
NOMBRE DEL CONDUCTOR (retener la licencia de conducir)/PEATÓN						DIRECCIÓN ACTUAL				DISTRITO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO					
NÚMERO DE LICENCIA CONDUCTOR		TIPO		N° TEL. CONDUCTOR/PEATÓN		N° TEL. CONDUCTOR/PEATÓN		SEXO		FECHA DE NAC.					
NOMBRE DE PASAJERO						DIRECCIÓN ACTUAL				DISTRITO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO					
AÑO		MARCA		TIPO DE VEHÍCULO		NÚMERO DE LICENCIA		NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN							
ÁREAS DEL VEHÍCULO DAÑADO		FRONTAL		FRONTAL DER.		FRONTAL IZQ.		LADO DER.		LADO IZQ.		POSTERIOR		ESTADO DEL VEHÍCULO	
COMPañía DE SEGURO															
NOMBRE DEL PROPIETARIO DEL VEHÍCULO (ver la licencia si es el mismo conductor)						DIRECCIÓN ACTUAL				DISTRITO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO					
NOMBRE DEL CONDUCTOR (retener la licencia de conducir)/PEATÓN						DIRECCIÓN ACTUAL				DISTRITO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO					
NÚMERO DE LICENCIA CONDUCTOR		TIPO		N° TEL. CONDUCTOR/PEATÓN		N° TEL. CONDUCTOR/PEATÓN		SEXO		FECHA DE NAC.					
NOMBRE DE PASAJERO						DIRECCIÓN ACTUAL				DISTRITO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO					
AÑO		MARCA		TIPO DE VEHÍCULO		NÚMERO DE LICENCIA		NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN							
ÁREAS DEL VEHÍCULO DAÑADO		FRONTAL		FRONTAL DER.		FRONTAL IZQ.		LADO DER.		LADO IZQ.		POSTERIOR		ESTADO DEL VEHÍCULO	
COMPañía DE SEGURO															
NOMBRE DEL PROPIETARIO DEL VEHÍCULO (ver la licencia si es el mismo conductor)						DIRECCIÓN ACTUAL				DISTRITO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO					
NOMBRE DEL CONDUCTOR (retener la licencia de conducir)/PEATÓN						DIRECCIÓN ACTUAL				DISTRITO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO					
NÚMERO DE LICENCIA CONDUCTOR		TIPO		N° TEL. CONDUCTOR/PEATÓN		N° TEL. CONDUCTOR/PEATÓN		SEXO		FECHA DE NAC.					
NOMBRE DE PASAJERO						DIRECCIÓN ACTUAL				DISTRITO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO					
N° SEC.		NOMBRE DEL INFRACTOR		LEY APLICABLE		INFRACCIÓN		NÚMERO DE CITACIÓN							
N° SEC.		NOMBRE DEL INFRACTOR		LEY APLICABLE		INFRACCIÓN		NÚMERO DE CITACIÓN							
N° SEC.		NOMBRE DEL INFRACTOR		LEY APLICABLE		INFRACCIÓN		NÚMERO DE CITACIÓN							
N° SEC.		NOMBRE DEL INFRACTOR		LEY APLICABLE		INFRACCIÓN		NÚMERO DE CITACIÓN							
N° SEC.		NOMBRE DEL INFRACTOR		LEY APLICABLE		INFRACCIÓN		NÚMERO DE CITACIÓN							
PROPIEDAD DAÑADA		CANTIDAD ESTIMADA (en soles)		NOMBRE DEL PROPIETARIO		DIRECCIÓN		DISTRITO/PROVINCIA/DEPARTAMENTO							
NOMBRE DEL TESTIGO (1)		DIRECCIÓN ACTUAL		DISTRITO/PROVINCIA/DEPARTAMENTO		NOMBRE DEL TESTIGO (2)		DIRECCIÓN ACTUAL		DISTRITO/PROVINCIA/DEPARTAMENTO					
INVESTIGADOR/CARGO				NÚMERO DE PLACA		POLICÍA DE:									

Nota: Esta ficha podrá ser modificada en coordinación con la Policía Nacional del Perú.

ANEXO 3

PANEL FOTOGRÁFICO



BACHES EN LA RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO – HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO – HUÁNUCO VISIBILIZANDO LAS FALLAS EN LA CARRETERA



RUTA CERRO DE PASCO – HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO – HUÁNUCO SE VISIBILIZA EL MAL ESTADO DE LA VÍA EN ESTE TRAMO



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO – HUÁNUCO DONDE EVIDENCIAMOS LAS DEFICIENCIAS DE LA CARRETERA



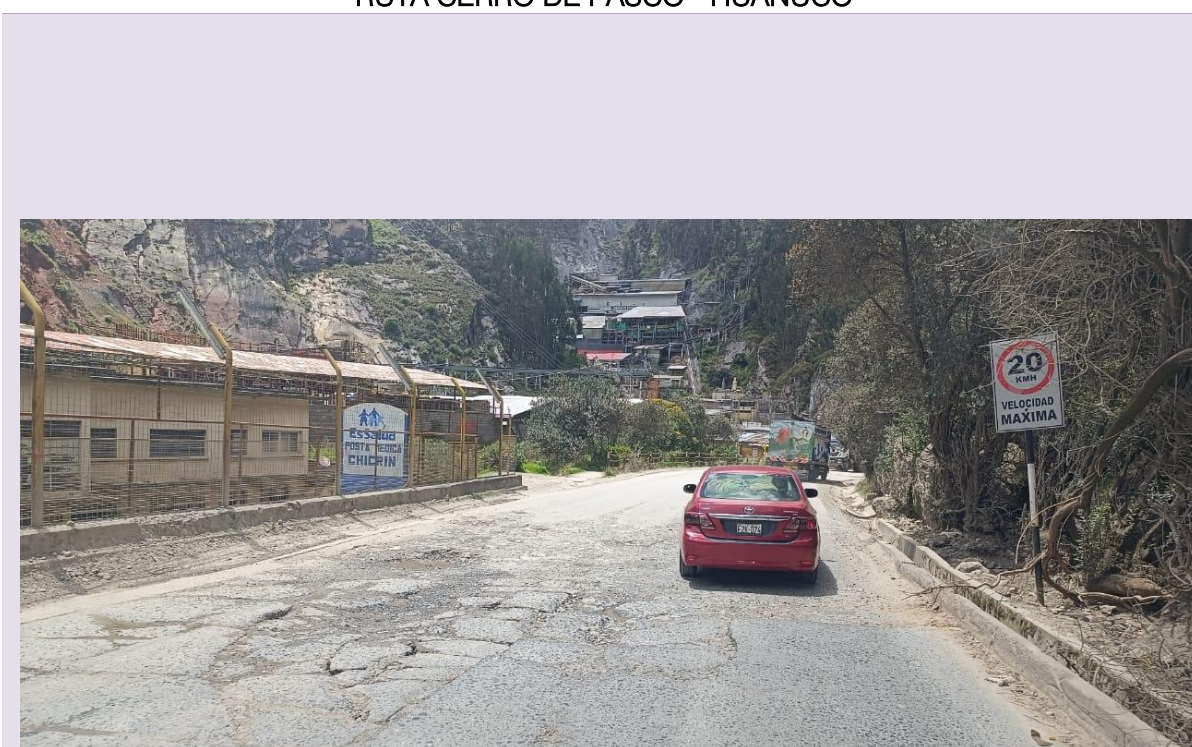
RUTA CERRO DE PASCO – HUÁNUCO DONDE EVIDENCIAMOS LAS DEFICIENCIAS DE LA CARRETERA



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



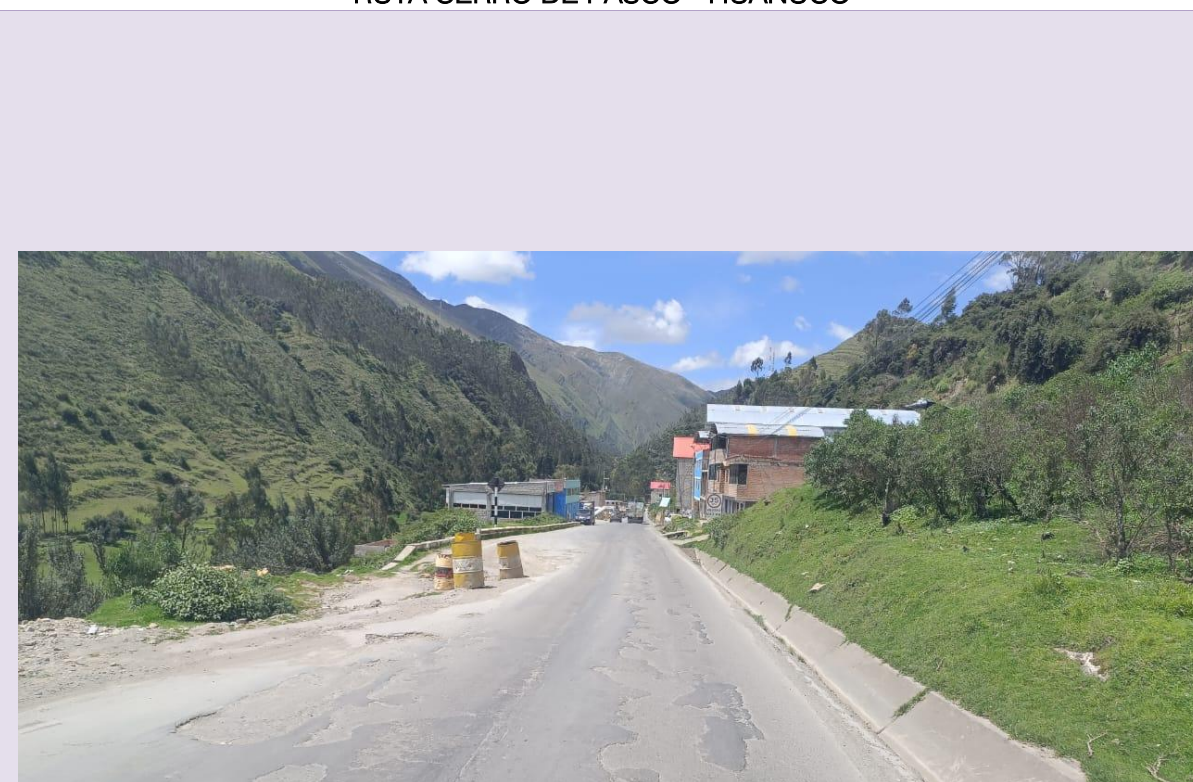
RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



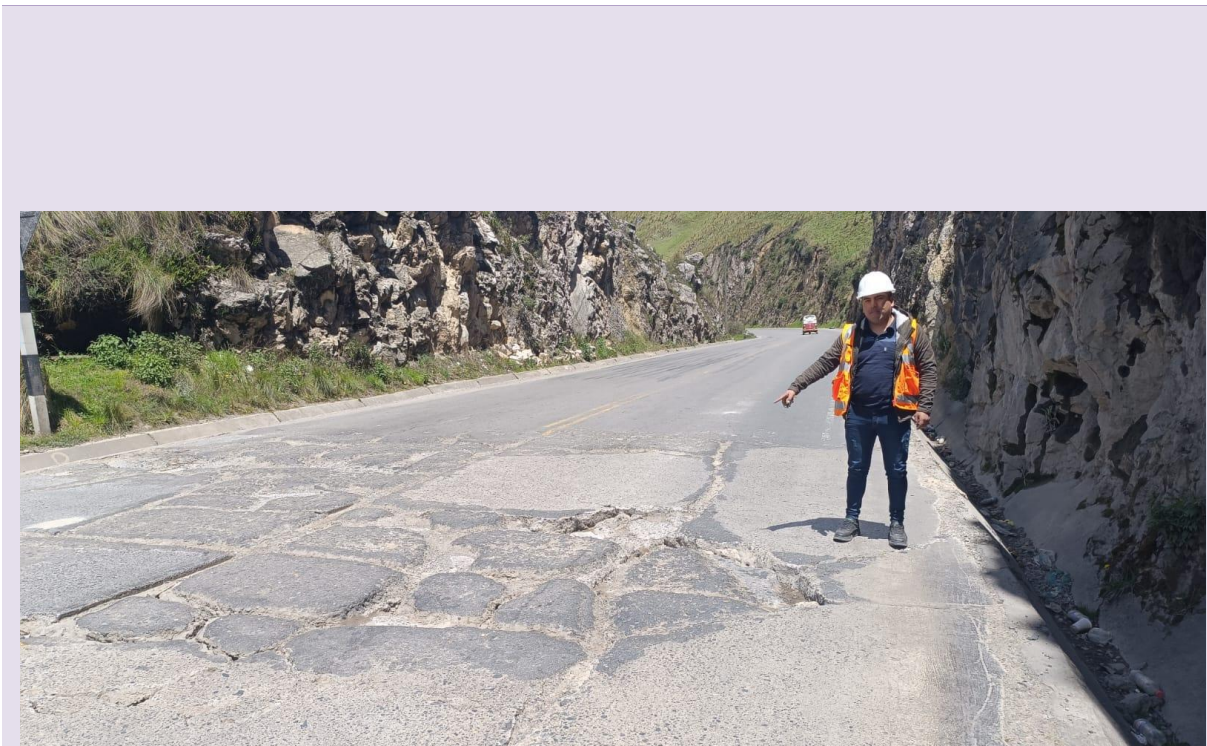
RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



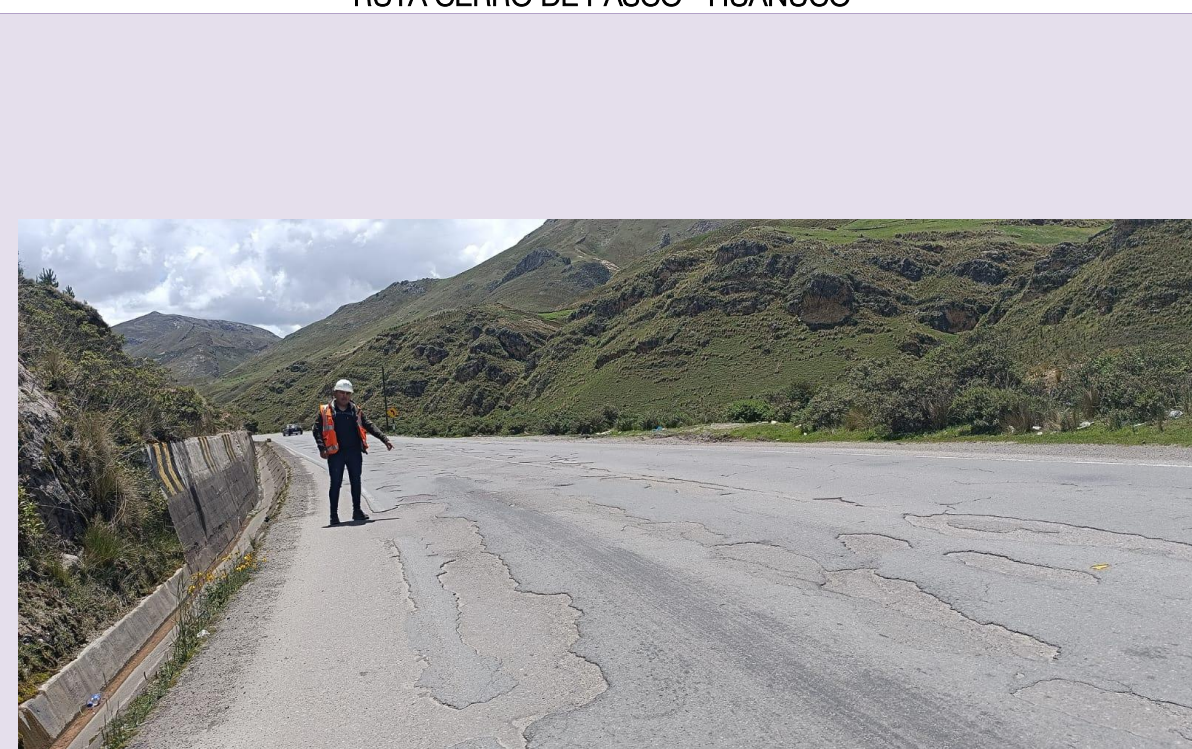
RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



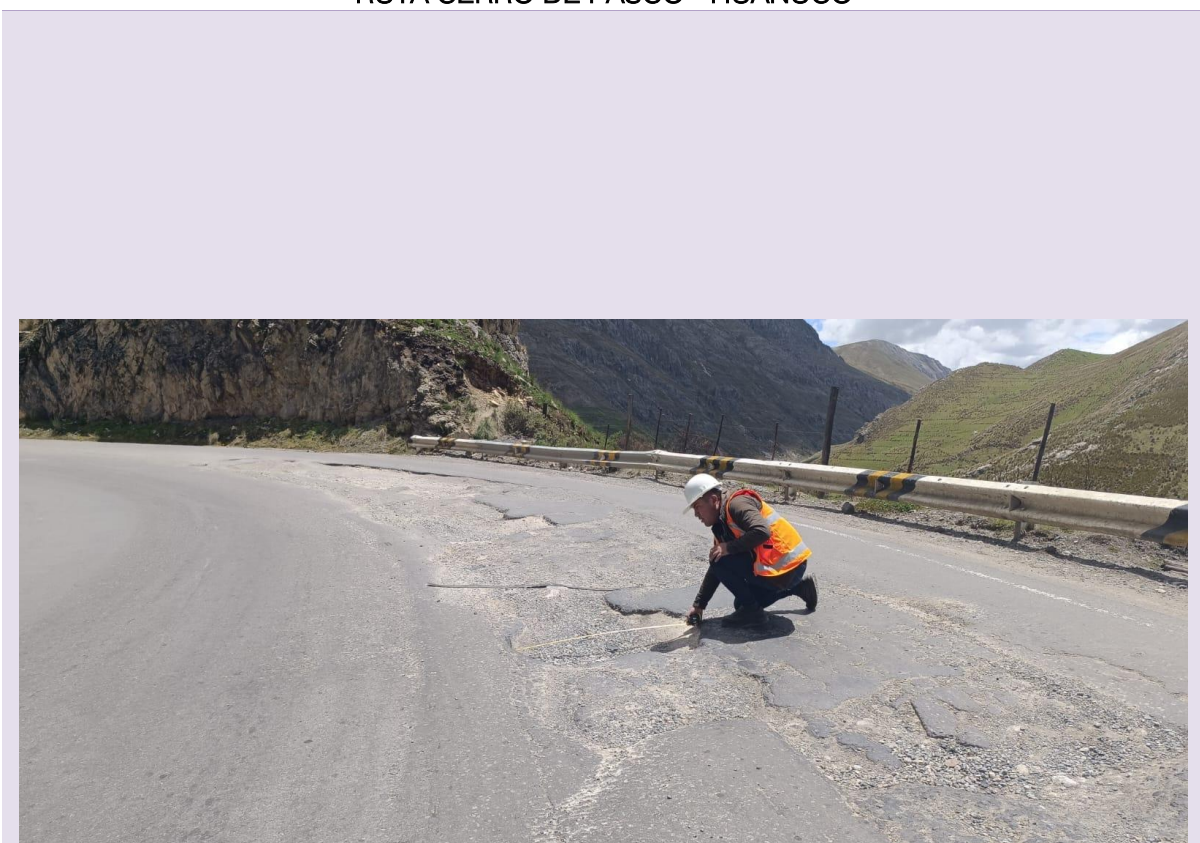
RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



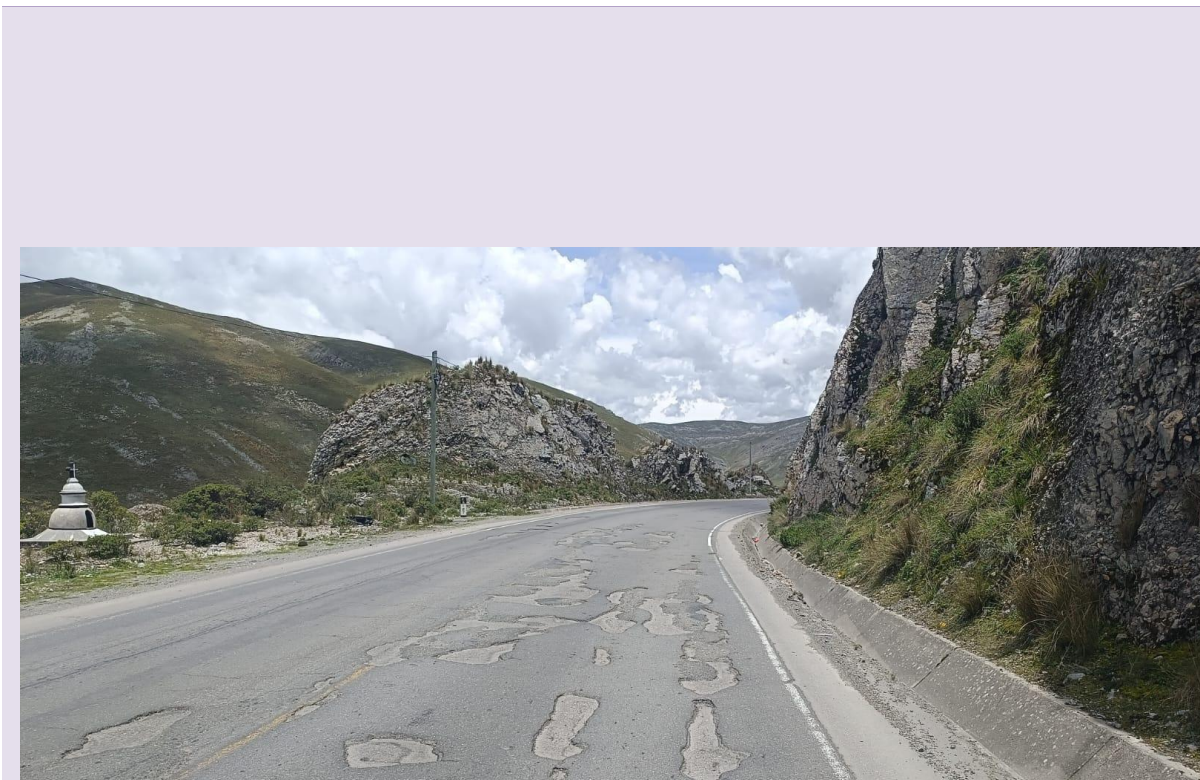
RUTA CERRO DE PASCO – HUÁNUCO MOSTRANDO LA SEÑALIZACIÓN DE LA VÍA



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO



RUTA CERRO DE PASCO - HUÁNUCO