

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Factores geométricos y de tránsito en la accidentabilidad vial: Análisis de la carretera nacional PE-3S, tramo: km 893+337 (Limatambo) al km 848+683 (Curahuasi), mediante Inspección de Seguridad Vial y el Highway Safety Manual 2010

Asesor:

Mag. Ing. Salluca Rodriguez, Marlon Javier

Autor:

Castillo Candia, Terry Roberto

Para optar el título Profesional de:

Ingeniero Civil

Cusco – Cusco - Perú

2026



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Acta N°: 008

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Cusco, a los 22 días del mes de Mayo del 2026, siendo las 11:20 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 176-2026-UTEA-FI-EPIC-FC (e) de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Oscco Orccohuaranca John Charlie
Dictaminante:	Mg. Mamani Cutipa Ambrocio
Replicante :	Mg. Ortiz Cruz Jesseliz Beatriz

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Factores geométricos y de tránsito en la accidentabilidad vial: Análisis de la carretera nacional PE – 3S, tramo: km 893 +337 (Limatambo) al km 848 +683 (Curahuasi), mediante Inspección de Seguridad Vial y el Highway Safety Manual 2010

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Castillo Candia Terry Roberto
(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) **APROBADO (S)**:

Por: Mayoría
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

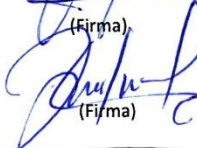
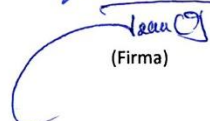
Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Br. Castillo Candia Terry Roberto	Aprobado

Siendo las 13:20 p.m horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado:

Presidente: Mg. Oscco Orccohuaranca John Charlie
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Dictaminante: Mg. Mamani Cutipa Ambrocio
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Replicante: Mg. Ortiz Cruz Jesseliz Beatriz
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)


(Firma)

(Firma)

(Firma)

(*): **Mayoría:** Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; **Unanimidad:** Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art.18 RGGAT.
(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 14%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 15%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y nombres	:	Castillo Candia, Terry Roberto
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	73866289
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0007-4615-8347
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Mag. Ing. Salluca Rodriguez, Marlon Javier
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	71525981
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0004-8187-2843
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	:	Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible.
Rango de años en que se realizó la investigación	:	Agosto – diciembre 2025
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	16%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A mi madre, por su amor infinito, su apoyo incondicional y por enseñarme con su ejemplo que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para alcanzar mis metas. Este logro es tanto mío como suyo.

Agradecimiento

A mi madre, mi padre y mi hermano, por ser la base de mi fortaleza y el mayor motivo de orgullo en mi vida. Gracias por su apoyo incondicional, por creer en mí en cada etapa de este proceso y por acompañarme con su cariño, comprensión y motivación. Este logro también les pertenece, porque sin ustedes no habría sido posible.

Resumen

El presente estudio analiza la influencia de los factores geométricos y de tránsito en la seguridad vial del tramo km 893+337 (Limatambo) – km 848+683 (Curahuasi) de la carretera nacional PE-3S. Para ello se aplicaron la Inspección de Seguridad Vial (ISV) y el Método Predictivo del Highway Safety Manual (HSM, 2010), con el fin de evaluar las condiciones del corredor vial y estimar la frecuencia de accidentes en función de parámetros locales. El procesamiento del registro de accidentes (2020–2024), junto con la caracterización geométrica y el análisis del flujo vehicular, permitió estimar la accidentalidad esperada y ajustarla mediante el Método Empírico de Bayes. Se obtuvieron factores de calibración de 1.396 en segmentos en tangente y 0.963 en segmentos en curva, los cuales adecuan el modelo del HSM al comportamiento del tránsito en el tramo. En un segundo análisis, orientado a evaluar intervenciones mediante Factores de Modificación de Accidentes (FMAs), se identificó una reducción 1 accidente en tangentes y 24 accidentes en curvas, asociada a mejoras en geometría y control de tránsito. La integración de la ISV y el HSM permitió localizar puntos críticos y sustentar técnicamente acciones destinadas a disminuir la accidentalidad vial durante las etapas de planificación, construcción y operación de la infraestructura.

Palabras clave: Carretera, factores geométricos, seguridad vial, IMDA, dispositivos de control de tránsito.

Abstract

This study analyzes the influence of geometric and traffic factors on road safety along the section km 893+337 (Limatambo) – km 848+683 (Curahuasi) of the national highway PE-3S. To achieve this, the Road Safety Inspection (RSI) and the Predictive Method of the Highway Safety Manual (HSM, 2010) were applied in order to evaluate roadway conditions and estimate accident frequency based on local parameters. The processing of accident records (2020–2024), together with geometric characterization and traffic flow analysis, enabled the estimation of expected crash frequency, which was subsequently adjusted using the Empirical Bayes method. Calibration factors of 1.396 for tangent segments and 0.963 for curved segments were obtained, allowing the HSM model to better reflect traffic behavior along the study section. In a second analysis focused on evaluating interventions through Crash Modification Factors (CMFs), a reduction of 1 crash in tangent segments and 24 crashes in curved segments was identified, associated with improvements in roadway geometry and traffic control measures. The integration of RSI and HSM methodologies allowed the identification of critical points and provided technical support for implementing measures aimed at reducing road accidents during the planning, construction, and operation stages of road infrastructure.

Keywords: Highway, geometric factors, road safety, IMDA, traffic control devices.

Índice

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
Índice.	ix
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xiii
Índice de ecuaciones.....	xix
Índice de anexos	xx
I. Introducción.....	21
II. Problema de investigación	23
2.2 Objetivos.....	28
2.2.1 Objetivo general	28
2.2.2 Objetivos específicos.....	28
2.4 Hipótesis	33

2.5	Variables	34
III.	Marco teórico	37
3.1	Antecedentes	37
3.2	Bases teóricas	49
3.3	Definición de Términos	116
IV.	Metodología.....	120
4.1	Tipo y Nivel de Investigación.....	120
4.2	Ámbito Temporal y Espacial	125
4.3	Población, Muestra y Muestreo	125
4.4	Técnicas e instrumentos recolección de datos	127
4.5	Procedimientos.....	130
4.6	Análisis de Datos	140
V.	Resultados y discusión.....	154
5.1	Resultados	154
5.2	Análisis de Resultados	207
VI.	Conclusiones.....	223
VII.	Recomendaciones.....	225
VIII.	Referencias	227
IX.	Anexos.....	230

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Matriz de Operacionalización de Variables</i>	36
Tabla 2 <i>Valores de las Condiciones Base Establecidas en el HSM</i>	91
Tabla 3 <i>Factor de FMAs</i>	92
Tabla 4 <i>Factores de modificación de accidentes</i>	93
Tabla 5 <i>FMA para ancho de carril en segmento de carretera</i>	94
Tabla 6 <i>FMAwra – Ancho de Berma</i>	96
Tabla 7 <i>FMAtra tipo de hombro</i>	97
Tabla 8 <i>Factor S</i>	98
Tabla 9 <i>FMA4 Peralte</i>	99
Tabla 10 <i>Pendiente longitudinal</i>	100
Tabla 11 <i>Condiciones de existencia en FMA7</i>	101
Tabla 12 <i>FMA8 Carril de adelantamiento</i>	102
Tabla 13 <i>FMA10 - RHR: índice de Riego</i>	104
Tabla 14 <i>Tramos de la carretera a evaluar</i>	126
Tabla 15 <i>Segmentos para la carretera</i>	133
Tabla 16 <i>Factor de Corrección de vehículos pesados y livianos</i>	151
Tabla 17 <i>Resumen general de tránsito de la vía estudiada</i>	163
Tabla 18 <i>Cálculo del IMDA</i>	176
Tabla 19 <i>Inventario vial</i>	183
Tabla 20 <i>Resumen de Resultados para segmentos en tangente para el Periodo de Evaluación 2020 – 2024</i>	200

Tabla 21	<i>Resumen de Resultados para segmentos en curva para el Periodo de Evaluación</i>	
	<i>2020 – 2024</i>	201
Tabla 22	<i>Accidentes observados de la vía de estudio en el periodo del 2020-2024</i>	208
Tabla 23	<i>Análisis N1 en Tangente</i>	215
Tabla 24	<i>Análisis N1 en Curva</i>	216
Tabla 25	<i>Análisis N2 en Tangente</i>	217
Tabla 26	<i>Análisis N2 en Curva</i>	218
Tabla 27	<i>Reducción de accidentes con las propuestas de mejorara</i>	219

Índice de figuras

Figura 1	<i>Principales causas de muerte, todas las edades y edades de 5 a 29 años, 2019.....</i>	<i>23</i>
Figura 2	<i>Siniestros de tránsito a nivel nacional de 2010 a 2024</i>	<i>24</i>
Figura 3	<i>Distribución de siniestros de tránsito por tipo, 2024</i>	<i>25</i>
Figura 4	<i>Tramo Limatambo-Curahuasi</i>	<i>26</i>
Figura 5	<i>Fotogrametría</i>	<i>50</i>
Figura 6	<i>Dron de ala fija</i>	<i>51</i>
Figura 7	<i>Dron de ala rotatoria.....</i>	<i>51</i>
Figura 8	<i>Traslape longitudinal y trasversal</i>	<i>52</i>
Figura 9	<i>Vehículo ligero según el estándar del DG-2018.....</i>	<i>60</i>
Figura 10	<i>Vehículo Pesado según el estándar del DG-2018</i>	<i>61</i>
Figura 11	<i>Rangos de Velocidad de Diseño en función a la demanda y orografía</i>	<i>62</i>
Figura 12	<i>Radio mínimos para velocidad específicas de diseño</i>	<i>63</i>
Figura 13	<i>Longitudes de tramos en tangente DG-2018</i>	<i>65</i>
Figura 14	<i>Curva circular / DG-2018.....</i>	<i>66</i>
Figura 15	<i>Radio mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras / DG-2018.....</i>	<i>67</i>
Figura 16	<i>Pendientes Máximas (%)</i>	<i>70</i>
Figura 17	<i>Sección transversal tipo a media ladera para una autopista en tangente.....</i>	<i>71</i>
Figura 18	<i>Anchos mínimos de calzada en tangente.....</i>	<i>72</i>
Figura 19	<i>Ancho de bermas.....</i>	<i>73</i>
Figura 20	<i>Bombeo de la calzada</i>	<i>73</i>
Figura 21	<i>Valores de radio a partir de los cuales no es necesario el peralte.....</i>	<i>74</i>
Figura 22	<i>Valores de peralte máximo</i>	<i>74</i>

Figura 23	<i>Peralte mínimo</i>	74
Figura 24	<i>Choque vehicular</i>	76
Figura 25	<i>Colisión trasera</i>	77
Figura 26	<i>Colisión frontal</i>	77
Figura 27	<i>Colisión frontal de 4 vehículos</i>	78
Figura 28	<i>Colisión en cadena (trasera)</i>	78
Figura 29	<i>Colisión lateral</i>	79
Figura 30	<i>Colisión transversal</i>	79
Figura 31	<i>Colisión lateral en sentidos opuestos</i>	80
Figura 32	<i>Vuelco de campana</i>	80
Figura 33	<i>Vuelco lateral</i>	81
Figura 34	<i>Ejemplo para la aplicación de auditorías e inspecciones</i>	83
Figura 35	<i>Aspecto a Considerar en una inspección de Seguridad Vial (ISV)</i>	84
Figura 36	<i>Organización Del Highway Safety Manual 2010</i>	88
Figura 37	<i>Factor de modificación de accidentes para ancho de carril</i>	95
Figura 38	<i>Factor de modificaciones de accidentes para ancho de hombro</i>	96
Figura 39	<i>Procedimiento de investigación cuantitativo</i>	121
Figura 40	<i>Flujograma del Diseño de Ingeniería</i>	124
Figura 41	<i>Comisaria de Limatambo</i>	130
Figura 42	<i>Comisaria de Mollepata</i>	131
Figura 43	<i>Comisaria de Curahuasi</i>	131
Figura 44	<i>Solicitud de accidentes de tránsito a la PNP</i>	132
Figura 45	<i>Incrustación/Monumentación de BM-5</i>	134

Figura 46	<i>Incrustación/Monumentación de BM-4</i>	134
Figura 47	<i>Incrustación/Monumentación de BM-3</i>	134
Figura 48	<i>Incrustación/Monumentación de BM-2</i>	134
Figura 49	<i>Incrustación/Monumentación de BM-1</i>	134
Figura 50	<i>Colocación de puntos de Fotocontrol/Dianas</i>	135
Figura 51	<i>Instalación de Equipo GNSS CHCAN I93</i>	135
Figura 52	<i>Programación del plan de vuelo</i>	136
Figura 53	<i>Vuelo de dron Matrice 4E</i>	136
Figura 54	<i>Punto de estación Carrizales</i>	137
Figura 55	<i>Punto de estación Ccayrayoc</i>	137
Figura 56	<i>Instalación de Cámara en Carrizales</i>	138
Figura 57	<i>Instalación de Cámara en Ccayrayoc</i>	139
Figura 58	<i>Procesamiento de líneas base Tramo Curahuasi-Puente Cunyac</i>	142
Figura 59	<i>Procesamiento de líneas base Tramo Puente Cunyac-Limatambo</i>	142
Figura 60	<i>Procesamiento de 4187 Imágenes Georreferenciadas</i>	143
Figura 61	<i>Ortofoto cargada al software AutoCAD Civil 3D</i>	144
Figura 62	<i>Equipo de trabajo</i>	145
Figura 63	<i>Generación del Modelo Digital de Elevación (MDE)</i>	145
Figura 64	<i>Zona montañosa</i>	146
Figura 65	<i>Pendiente de 83 %</i>	147
Figura 66	<i>Velocidad de diseño de 50 km/h - DG 2018</i>	148
Figura 67	<i>Accidentes de tránsito del año 2020-2024 de la jurisdicción de Curahuasi</i>	154
Figura 68	<i>Tipos de accidentes de tránsito-Curahuasi</i>	155

Figura 69	<i>Tipo de accidentes de tránsito entre los años 2020 a 2024 - Curahuasi.....</i>	<i>155</i>
Figura 70	<i>Accidentes de tránsito en Curahuasi según su tipo entre los años 2020-2024.....</i>	<i>156</i>
Figura 71	<i>Accidentes de tránsito del año 2020-2024 de la jurisdicción de Mollepata.....</i>	<i>157</i>
Figura 72	<i>Tipos de accidentes de tránsito - Mollepata</i>	<i>158</i>
Figura 73	<i>Tipo de accidentes de tránsito entre los años 2020 a 2024 – Mollepata.....</i>	<i>158</i>
Figura 74	<i>Accidentes de tránsito en Mollepata según su tipo entre los años 2020-2024.....</i>	<i>159</i>
Figura 75	<i>Accidentes de tránsito del año 2020-2024 de la jurisdicción de Limatambo.....</i>	<i>160</i>
Figura 76	<i>Tipos de accidentes de tránsito - Limatambo</i>	<i>161</i>
Figura 77	<i>Tipo de accidentes de tránsito entre los años 2020 a 2024 – Limatambo.....</i>	<i>161</i>
Figura 78	<i>Accidentes de tránsito en Limatambo según su tipo entre los años 2020-2024 ...</i>	<i>162</i>
Figura 79	<i>Gráfico de accidentes de tránsito en Limatambo-Mollepata-Curahuasi</i>	<i>164</i>
Figura 80	<i>Levantamiento de información de la carretera existente en geometría en tangente</i>	<i>166</i>
Figura 81	<i>Levantamiento de información de la carretera existente en geometría en curva.</i>	<i>167</i>
Figura 82	<i>Aforo vehicular de la estación Ccayrayoc con periodo de 7 días</i>	<i>169</i>
Figura 83	<i>IMDA del 2025 según el tipo de vehículo en el Sector de Carrizales</i>	<i>170</i>
Figura 84	<i>Distribución % de Vehículos de año 2025.....</i>	<i>170</i>
Figura 85	<i>Clasificación vehicular 2025</i>	<i>171</i>
Figura 86	<i>Aforo vehicular de la estación Carrizales con periodo de 7 días.....</i>	<i>172</i>
Figura 87	<i>IMDA 2025 según el tipo de vehículo en el Sector de Ccayrayoc</i>	<i>173</i>
Figura 88	<i>Distribución % de Vehículos de año 2025.....</i>	<i>173</i>
Figura 89	<i>Clasificación vehicular del año 2025 en Carrizales y Ccayrayoc.....</i>	<i>174</i>

Figura 90 <i>IMDA 2025 según el tipo de vehículo en los Sectores de Carrizales y Ccayrayoc</i>	175
Figura 91 <i>Crecimiento vehicular periodo 2019-2025</i>	177
Figura 92 <i>Resumen de dispositivos de control de tránsito y entorno de vía en tangente</i>	178
Figura 93 <i>Resumen de dispositivos de control de tránsito y entorno de vía en Curva</i>	180
Figura 94 <i>Inventario vial de la carretera Curahuasi - Limatambo</i>	182
Figura 95 <i>Inventario vial del tramo de estudio</i>	183
Figura 96 <i>Cuadro de Check List</i>	184
Figura 97 <i>Accidentes Esperados por Segmento en tangente, años 2020 – 2024</i>	195
Figura 98 <i>Accidentes Esperados por Segmento en Curva, años 2020 – 2024</i>	196
Figura 99 <i>Accidentes Predicho del distrito de Curahuasi</i>	197
Figura 100 <i>Accidentes Predicho del distrito de Mollepata</i>	198
Figura 101 <i>Accidentes Predicho del distrito de Limatambo</i>	199
Figura 102 <i>Accidentes Predichos-Observados-Esperados en tramos en tangente</i>	200
Figura 103 <i>Accidentes Predichos-Observados-Esperados en tramos en Curva</i>	201
Figura 104 <i>Segundo análisis para los tramos de Curahuasi</i>	204
Figura 105 <i>Segundo análisis para los tramos de Mollepata</i>	204
Figura 106 <i>Segundo análisis para los tramos de Limatambo</i>	205
Figura 107 <i>Mapa Político, Ubicación y Localización del Área De Estudio</i>	207
Figura 108 <i>Evolución de Accidentes de tránsito, años 2020-2024</i>	208
Figura 109 <i>Clase -tipo de Accidentes, años 2020-2024</i>	209
Figura 110 <i>Relación entre las curvas y tangentes de la vía</i>	210
Figura 111 <i>Longitud de tangentes mínimas</i>	211

Figura 112	<i>Radio mínimo en Curvas.....</i>	212
Figura 113	<i>IMDA 2015-2025</i>	213
Figura 114	<i>IMDA en % por tipos de vehículos</i>	214
Figura 115	<i>Análisis 1- Tramo en Tangente</i>	215
Figura 116	<i>Análisis 1 - Tramo en Curva</i>	216
Figura 117	<i>Análisis 2- Tramo en Tangente</i>	217
Figura 118	<i>Análisis 2 - Tramo en Curva</i>	218

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 <i>Frecuencia Promedio de Accidentes Predichos</i>	90
Ecuación 2 <i>Frecuencia media esperada de accidentes</i>	91
Ecuación 3 <i>Parámetro de sobre dispersión</i>	92
Ecuación 4 <i>FMA Ancho de Carril</i>	94
Ecuación 5 <i>FMA2 Ancho y Tipo de hombro</i>	97
Ecuación 6 <i>FMA para curvas horizontales</i>	98
Ecuación 7 <i>FMA_6 densidad de accesos</i>	100
Ecuación 8. <i>FMA9 - Accidentes por carril de giro a la izquierda</i>	102
Ecuación 9 <i>Accidentes relacionados con aceras</i>	103
Ecuación 10 <i>FMA10 índice de riesgo</i>	105
Ecuación 11 <i>FMA11 - Factor de modificación de accidentes por iluminación</i>	106
Ecuación 12. <i>Factor de calibración</i>	107
Ecuación 13 <i>Ajuste por peso de Bayes (w)</i>	108
Ecuación 14 <i>Frecuencia de choques esperados</i>	108
Ecuación 15 <i>Exceso de Frecuencia de Choques Esperado</i>	109
Ecuación 16. <i>Accidentes totales esperados</i>	114
Ecuación 17 <i>Promedio de accidentes esperados en el periodo de estudio</i>	115
Ecuación 18 <i>Ecuación de sobreancho</i>	149
Ecuación 19 <i>Formula de Radio mínimo</i>	149
Ecuación 20. <i>Índice Medio Diario Anual</i>	150
Ecuación 21 <i>Índice Medio Diario Semanal</i>	150
Ecuación 22 <i>Ecuación de correlación lineal</i>	176

Índice de anexos

Anexo 1 Matriz de consistencia	231
Anexo 2 Evidencias de trabajo en Campo.....	232
Anexo 3 Planos de estudio de vía.....	242
Anexo 4 Cuadro de coordenadas	243
Anexo 5 Información de carretera existente en tramos en tangente y curva	244
Anexo 6 Fichas de conteo vehicular	248
Anexo 7 Dispositivos de control de tránsito.....	251
Anexo 8 Inventario vial	255
Anexo 9 Accidentes esperador en tangente	271

I. Introducción

La seguridad vial constituye uno de los pilares fundamentales de la Ingeniería Civil, pues garantiza la integridad física de los usuarios que transitan por la infraestructura vial. Sin embargo, en el Perú, la limitada difusión de metodologías especializadas y el escaso interés institucional en la gestión proactiva de la seguridad vial han incrementado la vulnerabilidad frente a los siniestros de tránsito, los cuales deben ser evaluados para comprender su incidencia en la accidentabilidad.

En este contexto, la presente investigación tiene por finalidad analizar los factores geométricos y de tránsito, como el Índice Medio Diario Anual (IMDA), denominado en adelante flujo vehicular diario, así como los dispositivos de control de tránsito que intervienen en la accidentabilidad del tramo comprendido entre el km 893+337 (Limatambo) y el km 848+683 (Curahuasi) de la carretera nacional PE-3S. El análisis se desarrolla mediante la aplicación conjunta de la Inspección de Seguridad Vial (ISV) y el Método Predictivo del Highway Safety Manual (HSM, 2010), herramientas que permiten evaluar las condiciones de la vía y estimar la frecuencia de accidentes bajo parámetros ajustados al tramo estudiado.

En el Capítulo II se presenta la problemática, las hipótesis y los objetivos que orientan la investigación. El Capítulo III desarrolla los antecedentes, bases teóricas y conceptos

relacionados con seguridad vial, accidentabilidad, factores geométricos, evaluación de riesgo y fundamentos de la ISV y el HSM.

El Capítulo IV describe la metodología aplicada, considerando la evaluación de las características geométricas, dispositivos de control de tránsito, flujo vehicular (IMDA) y registros de accidentes del periodo 2020–2024. Asimismo, se desarrolla la aplicación de la ISV y el Método Predictivo del HSM, incluyendo los factores de calibración y predicciones de accidentes con y sin mejoras.

En el Capítulo V se presentan los resultados obtenidos, permitiendo verificar las hipótesis y evidenciar la relación entre los factores evaluados y la accidentabilidad del tramo. Además, se muestran las reducciones esperadas mediante las propuestas de mejora sustentadas con los Factores de Modificación de Accidentes (FMAs).

Finalmente, se exponen las conclusiones, donde se sintetizan los principales aportes del estudio y la identificación de los factores que inciden en la ocurrencia de accidentes, resaltando la importancia de incorporar estas metodologías en la gestión integral de la infraestructura vial para reducir los siniestros y proteger a los usuarios.

II. Problema de investigación

2.1 Descripción y formulación del problema

A nivel mundial, los accidentes de tránsito siguen representando un grave problema de salud pública. De acuerdo con estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2023 los siniestros viales son una de las 12 principales causas de muerte a nivel mundial, causando aproximadamente 1.19 millones de muertes (véase en la Figura 1). Además, cada año, millones de personas resultan con heridas o discapacidades como consecuencia de estos eventos. Los niños, peatones, ciclistas y adultos mayores continúan siendo los usuarios más vulnerables en las vías.

Figura 1

Principales causas de muerte, todas las edades y edades de 5 a 29 años, 2019

Clasificación Todas las edades		Grupo de edad de 5 a 29 años
		Traumatismos relacionados con el tránsito
1	Cardiopatía isquémica	
2	Accidente cerebrovascular	Tuberculosis
3	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	Enfermedades diarreicas
4	Infecciones de las vías respiratorias inferiores	Violencia interpersonal
5	Afecciones neonatales	Conducta autolesiva
6	Cáncer de tráquea, bronquios o pulmón	VH/sida
7	Enfermedad de Alzheimer y otras demencias	Infecciones de las vías respiratorias inferiores
8	Enfermedades diarreicas	Afecciones maternas
9	Diabetes mellitus	Ahogamientos
10	Nefropatías	Cirrosis hepática
11	Cirrosis hepática	Paludismo
12	Traumatismos relacionados con el tránsito	Meningitis

Nota. Adaptado de *Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2023* (p. 4), por

Organización Mundial de la Salud, 2023, OMS.

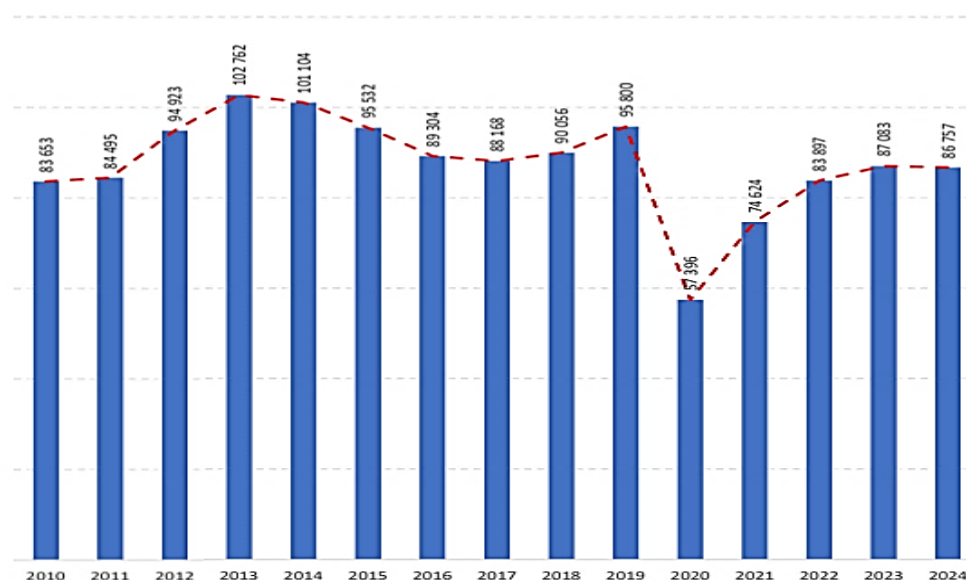
<https://www.who.int/es/publications/i/item/9789240086517>. Licencia CC BY-NC-SA 3.0

IGO.

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), a través del Observatorio Nacional de Seguridad Vial (ONSE), el análisis de la siniestralidad vial correspondiente al año 2024 revela que nuestro país no es ajeno a esta problemática. Durante dicho año, se registraron 86 757 siniestros de tránsito a nivel nacional, los cuales ocasionaron la muerte de 3 002 personas y dejaron 56 747 lesionados. Aunque estas cifras representan una disminución del 0.5 % respecto al año 2023, cuando se reportaron 87 083 siniestros, el problema sigue siendo alarmante. Asimismo, en comparación con el año 2020 —periodo en el que se aplicaron restricciones de movilidad debido a la pandemia por la COVID-19—, se observa un incremento del 51.2 % en la cantidad de siniestros ocurridos en 2024.

Figura 2

Siniestros de tránsito a nivel nacional de 2010 a 2024

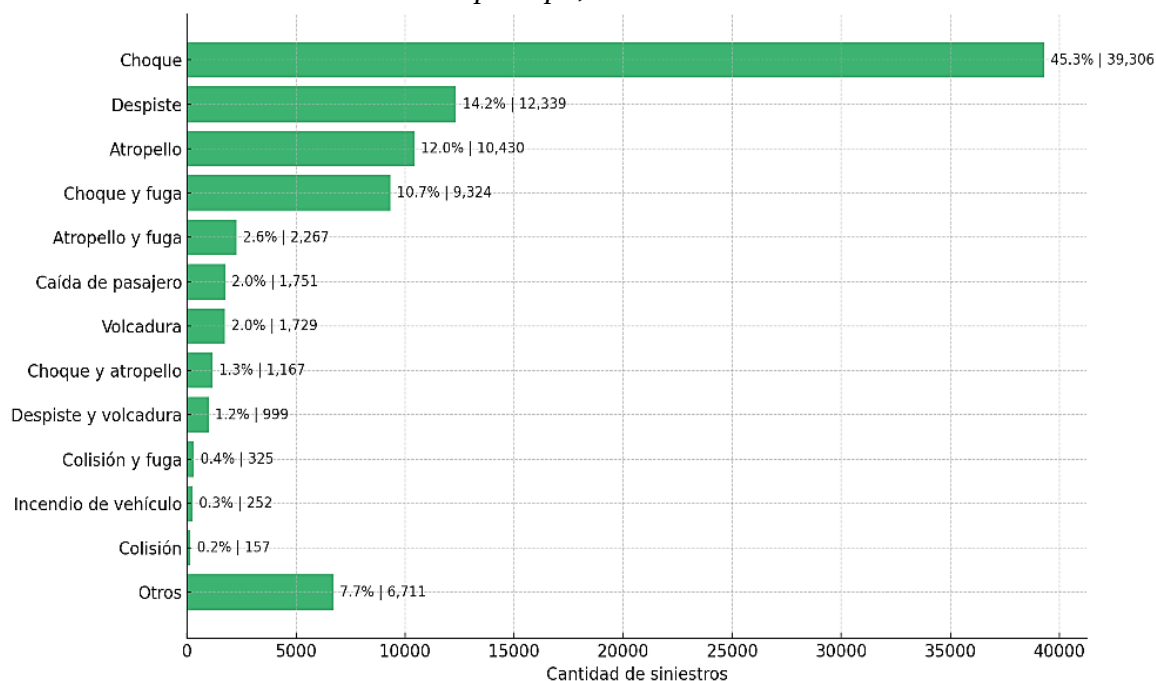


Nota. La figura muestra la evolución histórica de los siniestros viales en el Perú desde el año 2010 hasta 2024. Fuente: Dirección de Seguridad Vial & Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2025). Boletín estadístico de siniestralidad vial, 2024 (7). <https://www.onsv.gob.pe/post/boletin-estadistico-de-siniestralidad-vial-2024/>

Las principales causas de siniestros viales a nivel nacional durante el periodo 2024 fueron: choque con 39,306 casos (45.3 %), despiste con 12,339 (14.2 %), atropello con 10,430 (12.0 %) y choque y fuga con 9,324 (10.7 %) del total de siniestros registrados en el país (**véase en la figura 3**).

Figura 3

Distribución de siniestros de tránsito por tipo, 2024



Nota. La figura presenta los tipos de usuarios involucrados en siniestros viales en el Perú durante el período 2010–2024. Adaptado de Boletín estadístico de siniestralidad vial, 2024 (p. 20), por Dirección de Seguridad Vial & Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2025, <https://www.onsv.gob.pe/post/boletin-estadistico-de-siniestralidad-vial-2024/>

2.1.1 Identificación y formulación del problema de investigación

El tramo en estudio no está exento de la ocurrencia de accidentes de tránsito, lo que genera malestar tanto en los conductores de vehículos de alto y bajo tonelaje como en la población que transita por la zona, debido al riesgo constante de siniestros. La carretera de ruta

nacional PE - 3S, tramo Limatambo Curahuasi no está exenta de estos acontecimientos que afecta a muchas familias, según el registro de accidentes por la PNP de cada jurisdicción de los años 2020 al 2024 se tiene 134 accidentes registrados entre fatales y no fatales.

Este tramo, comprendido entre el kilómetro 893+337 (Limatambo) y el kilómetro 848+683 (Curahuasi), con una longitud aproximada de 44.654 km, presenta una serie de condiciones viales desfavorables, como curvas pronunciadas, visibilidad reducida y un creciente flujo vehicular, factores que incrementan la probabilidad de accidentes (véase en la Figura 4).

Figura 4

Tramo Limatambo-Curahuasi



Nota. Mapa de micro localización de la carretera de estudio, Fuente: Google Earth (2025)

Ante esta situación, la presente investigación evidencia la necesidad de implementar un sistema de seguridad vial moderno y riguroso que permita proteger a todos los usuarios de la

vía como los conductores, pasajeros y peatones. Esto debe contemplar intervenciones que involucren los tres elementos esenciales del sistema: el factor humano, el vehículo y la infraestructura vial, con el objetivo de reducir la tasa de siniestralidad y sus consecuencias sociales y económicas.

2.1.1.1 Formulación interrogativa del problema general.

P.G. ¿De qué manera los factores geométricos y de tránsito inciden en el aumento de accidentes de tránsito en la carretera nacional PE-3S, tramo: Km 893+337 (Limatambo) al Km 848+683 (Curahuasi), mediante la inspección de seguridad vial y el Highway Safety Manual 2010?

2.1.1.2 Formulación interrogativa de los problemas específicos.

P.E.1 ¿Cómo los factores geométricos de la vía inciden en el aumento de accidentes de tránsito en el tramo de estudio, según los resultados de una inspección de seguridad vial y la aplicación del Highway Safety Manual 2010?

P.E.2 ¿De qué manera los factores de tránsito inciden en el aumento de accidentes de tránsito en el tramo de estudio, según los resultados de una inspección de seguridad vial y la aplicación del Highway Safety Manual 2010?

P.E.3 ¿Cómo las propuestas de mejora de los factores geométricos y de tránsito disminuirán la incidencia en el aumento de accidentes de tránsito en el tramo de estudio aplicando FMAs según el Highway Safety Manual 2010?

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

O.G. Evaluar la incidencia de los factores geométricos y de tránsito en la accidentabilidad vial del tramo km 893+337 (Limatambo) al km 848+683 (Curahuasi) de la carretera nacional PE-3S, mediante una inspección de seguridad vial y la aplicación del Highway Safety Manual 2010, con el fin de proponer mejoras que contribuyan a reducir su impacto.

2.2.2 Objetivos específicos

O.E.1 Analizar la incidencia de los factores geométricos de la vía en la accidentabilidad del tramo de estudio, mediante una inspección de seguridad vial y la aplicación del Highway Safety Manual 2010.

O.E.2 Analizar la incidencia de los factores de tránsito de la vía en la accidentabilidad del tramo estudio, mediante una inspección de seguridad vial y la aplicación del Highway Safety Manual 2010.

O.E.3 Plantear mejoras en los factores geométricos y de tránsito de la vía que contribuyan a disminuir la incidencia de accidentes en el tramo, utilizando Factores de Modificación de Accidentes FMAs según el Highway Safety Manual 2010.

2.3 Justificación e importancia

2.3.1 Justificación

2.3.1.1 Justificación Teórica. La investigación se justifica teóricamente porque contribuye al fortalecimiento del marco conceptual relacionado con la seguridad vial, específicamente en el análisis de la relación entre los factores geométricos, las condiciones de tránsito y la ocurrencia de accidentes. El estudio permite contrastar y validar los postulados teóricos y modelos predictivos propuestos por el Highway Safety Manual (HSM, 2010) en el contexto de carreteras nacionales del Perú.

De esta manera, se aporta evidencia empírica que amplía el conocimiento existente sobre la aplicación de modelos de seguridad vial en entornos con características geométricas y operativas propias de la red vial peruana, contribuyendo al desarrollo teórico del área de la ingeniería de transportes y comunicaciones.

2.3.1.2 Justificación metodológica. El estudio se justifica metodológicamente porque emplea un enfoque analítico basado en metodologías reconocidas y validadas a nivel internacional, como el Highway Safety Manual (HSM, 2010) y la Inspección de Seguridad Vial (ISV). El uso de modelos predictivos de seguridad vial, a través de las Funciones de Desempeño de Seguridad (SPF) y los Factores de Modificación de Choques (CMF), permite estimar la accidentabilidad de manera cuantitativa, objetiva y reproducible.

Además, la integración de información geométrica, de tránsito y de registros históricos de accidentes proporciona una metodología integral que puede ser replicada en otros tramos viales de características similares, constituyéndose en una referencia metodológica para futuras investigaciones en el ámbito de la seguridad vial en carreteras nacionales.

2.3.1.3 Justificación técnica. La presente investigación se justifica técnicamente porque permitirá evaluar de manera objetiva y sistemática las condiciones actuales de seguridad vial del tramo de la carretera nacional PE-3S, comprendido entre Limatambo y Curahuasi, mediante el análisis de los factores geométricos, el flujo vehicular (IMDA) y los dispositivos de control de tránsito. La aplicación del Highway Safety Manual (HSM, 2010) y de la Inspección de Seguridad Vial (ISV) proporciona una base técnica sólida para identificar deficiencias en el diseño y operación de la vía que inciden en la ocurrencia de accidentes de tránsito.

Asimismo, los resultados obtenidos permitirán formular propuestas de mejora orientadas a la reducción de la accidentabilidad, contribuyendo a optimizar el desempeño funcional y la seguridad de la infraestructura vial, lo cual resulta de utilidad para ingenieros, entidades responsables de la gestión vial y autoridades competentes en la toma de decisiones técnicas.

2.3.1.4 Justificación social. La presente investigación contribuirá a la sociedad al proponer medidas orientadas a reducir el incremento de accidentes viales en el tramo Limatambo – Curahuasi, lo cual beneficiará directamente a las personas del sector, tránsito pesado, transporte turístico, accesos poblados, costos evitados o severidad. La mejora de la seguridad vial y la transitabilidad permitirá optimizar el transporte pesado y de turistas, beneficiarios, mercancías, reduciendo tiempos de viaje, costos asociados a accidentes y riesgos de pérdida de vidas humanas.

Además, los resultados podrán ser considerados por las autoridades vinculantes para la implementación de intervenciones técnicas en los puntos críticos identificados, fortaleciendo así la gestión vial en la región.

2.3.1.5 Justificación por viabilidad.

El estudio planteado es factible por los siguientes motivos:

- Los análisis de los factores geométricos y de la vía, flujo vehicular e información necesaria son de alcance de las personas, y con los instrumentos y conocimientos de ingeniería, juntamente con la metodología de manual Highway Safety Manual 2010 (HSM) e inspección de seguridad vial (ISV) para poder seguir con los lineamientos establecidos y alcanzar los objetivos propuestos.
- Desde el punto de vista económico, se cuenta con los recursos necesarios para realizar los gastos directos de la investigación.
- La información de los accidentes de tránsito ocurrida en los últimos 05 años de la jurisdicción de Limatambo-Curahuasi, serán obtenidas de la policía nacional del Perú (PNP)

2.3.1.6 Justificación por relevancia.

- El tema de investigación es relevante por promover el uso de la aplicación de la metodología de predicción de accidentes en carreteras del manual (HSM) y la metodología de inspección de seguridad vial y así determinar los factores que ocasionan accidentes de tránsito y de esta manera realizar propuestas de mejora que puedan ser aplicadas en el tramo de estudio Limatambo-Curahuasi.
- Asimismo, estos resultados obtenidos de la investigación servirán como referencia para el uso de proyectos similares que beneficien a la población.

2.3.2 Importancia

2.3.2.1 Importancia técnica. La importancia técnica del estudio radica en que permite evaluar la seguridad vial del tramo Limatambo–Curahuasi mediante metodologías reconocidas internacionalmente, como el *Highway Safety Manual* (HSM, 2010) y la Inspección de Seguridad Vial (ISV), obteniendo resultados cuantitativos como estimaciones de accidentes, factores de calibración y factores de modificación, que sustentan propuestas de mejora vinculadas a la geometría vial, el flujo vehicular y los dispositivos de control del tránsito.

2.3.2.2 Importancia metodología. Desde el enfoque metodológico, la investigación es relevante porque integra la Inspección de Seguridad Vial (ISV) con el método predictivo del *Highway Safety Manual* (HSM, 2010), empleando Funciones de Desempeño de Seguridad (SPF) y Factores de Modificación de Choques (CMF) para la estimación de la accidentabilidad; esta combinación permite un análisis sistemático, cuantitativo y replicable, aplicable a otros tramos viales con características similares y útil como referencia para futuros estudios en seguridad vial.

2.3.2.3 Importancia social. La importancia social se refleja en el aporte directo a la seguridad y bienestar de los usuarios de la vía, ya que el estudio contribuye a reducir la ocurrencia de accidentes de tránsito y a proteger la vida e integridad de pobladores, conductores, transportistas y turistas que transitan por el tramo Limatambo–Curahuasi. Asimismo, promueve condiciones de movilidad más seguras, disminuye los costos sociales asociados a los siniestros viales y mejora la accesibilidad de las comunidades que dependen de esta infraestructura.

2.3.2.4 Importancia por viabilidad. La importancia por viabilidad se manifiesta en que el estudio es factible de desarrollar gracias a la disponibilidad de información técnica, geométrica, operativa y de accidentalidad proporcionada por fuentes confiables, como la Policía Nacional del Perú. Además, los recursos humanos, económicos y metodológicos necesarios para la aplicación del Highway Safety Manual y el ISV se encuentran al alcance del proyecto, lo que garantiza que el análisis pueda ejecutarse adecuadamente y cumplir con los objetivos propuestos.

2.3.2.5 Importancia por relevancia. La importancia por relevancia radica en que la investigación contribuye significativamente a la mejora de la gestión vial regional, ya que permite identificar puntos críticos, sustentar intervenciones basadas en evidencia y fomentar el uso de metodologías de predicción de accidentes en el entorno nacional. Además, los resultados obtenidos podrán servir como referencia para futuros estudios y proyectos de ingeniería vial, fortaleciendo el conocimiento técnico y promoviendo mejoras sostenibles en la infraestructura de transporte del país.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

H.G. Los factores geométricos y de tránsito inciden notablemente en la accidentabilidad vial del tramo km 893+337 (Limatambo) al km 848+683 (Curahuasi) de la carretera nacional PE-3S, mediante la aplicación de una inspección de seguridad vial junto con el Highway Safety Manual 2010 permitirá identificar mejoras que contribuyan a reducir su impacto

2.4.2 Hipótesis específicas

- H.E.1** Los factores geométricos de la vía inciden notablemente en la accidentabilidad del tramo de estudio, según la inspección de seguridad vial y la aplicación del Highway Safety Manual 2010.
- H.E.2** Los factores de tránsito tienen una incidencia notablemente en la accidentabilidad del tramo de estudio, de acuerdo con la inspección de seguridad vial y el Highway Safety Manual 2010.
- H.E.3** Las mejoras planteadas en los factores geométricos y de tránsito aplicando Factores de Modificación de Accidentes (FMAs) según el Highway Safety Manual 2010, contribuirán a disminuir la incidencia de accidentes en el tramo estudiado.

2.5 Variables

2.5.1 Variables independientes: factores geométricos y de tránsito

Según la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), el diseño geométrico de carreteras tiene un impacto significativo en la seguridad vial, ya que condiciona la interacción entre el conductor, el vehículo y la infraestructura. Asimismo, el Highway Safety Manual (HSM) establece que tanto las características geométricas como las condiciones de tránsito son variables fundamentales en la estimación y predicción de la frecuencia de accidentes.

Sus indicadores de los factores geométricos son el ancho de carril, ancho de berma, pendiente, peralte, radio de curvatura vertical y horizontal. Y de factores de tránsito son el IMDA, así como las señales verticales y horizontales, iluminación y densidad de accesos.

2.5.2 Variables dependientes: accidentabilidad vial

Son eventos no planificados que ocurren en el sistema vial, resultantes de la interacción dinámica entre el usuario (factor humano), el vehículo (factor mecánico) y la infraestructura vial (factor geométrico y ambiental), los cuales derivan en consecuencias negativas como daños materiales, lesiones o fatalidades. Estos eventos pueden ser analizados desde un enfoque probabilístico, ya que su ocurrencia está asociada a la exposición al riesgo (volumen de tránsito), las condiciones geométricas de la vía, y la presencia o ausencia de dispositivos de control de tránsito, siendo fundamentales para la modelación y predicción de la seguridad vial.

Sus indicadores son el tipo de accidente y la cantidad de accidentes ocurridos.

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables.

	Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente	X1: Factores geométricos y de transito	Los factores geométricos y de tránsito son las características del diseño físico de la vía y las condiciones del flujo vehicular que influyen en la seguridad vial y en la ocurrencia de accidentes de tránsito (Transportation Research Board, 2010; AASHTO, 2018).	Se evalúan mediante mediciones directas, análisis geométrico y factores de tránsito del tramo PE-3S Limatambo–Curahuasi, utilizando levantamiento topográfico, IMDA, dispositivos de control de tránsito, procesamiento digital y verificación con la normativa vigente.	Diseño geométrico,	Ancho de carril, ancho de berma, pendiente, peralte, radio de curvatura horizontal y vertical.	Razón
				IMDA	Volumen promedio diario anual – IMDA (vehículos/día)	Razón
				Dispositivos de control de transito	Señales verticales y horizontales, iluminación y densidad de accesos	Razón
				Modificaciones geométricas (FMA)	Ancho de carril, ancho de berma, pendiente, peralte, radio de curvatura, iluminación, densidad de accesos, velocidad automatizada, índice de riesgo	Razón
Variable Dependiente	Y1: Accidentabilidad vial	Evento no intencional ocurrido en la vía que involucra al menos un vehículo en movimiento y produce daños materiales, lesiones o pérdidas humanas. (MSV,2017)	Se cuantifica a partir de registros históricos de accidentes y estimaciones mediante modelos predictivos del HSM, considerando su frecuencia y tipo.	Frecuencia de accidentes	Cantidad y tipo de accidente de tránsito	Razón
				Tipología del accidente		Nominal

Nota. Fuente: Elaboración Propia

III. Marco teórico

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes internacionales.

Antecedente N°1

García-Ramírez, Rojas, Duque & Rojas-Asuero (2018) en su artículo “Calibración del Modelo Predictivo de Accidentes de Tránsito del HSM en Carreteras del Cantón Loja (Ecuador)”, realizaron un estudio con el objetivo de estimar los factores de calibración del modelo de predicción de accidentes del Highway Safety Manual (HSM) en carreteras principales del cantón Loja, Ecuador. Utilizando una metodología cuantitativa, recopilaron datos históricos de accidentes y características geométricas en carreteras rurales y suburbanas. La muestra incluyó tramos de dos carriles, y se aplicó el modelo del HSM para obtener los factores de calibración. Los resultados mostraron que el modelo subestima o sobreestima la siniestralidad real si no se ajusta a las condiciones locales, evidenciando la necesidad de su calibración previa. En Conclusión, el estudio aporta una metodología aplicable y evidencia empírica sobre la importancia de calibrar el modelo HSM antes de su uso, lo cual resulta relevante para investigaciones que analizan la seguridad vial en contextos locales.

Antecedente N°2

Castelló (2018) en su tesis doctoral “Desarrollo de una metodología para el diseño y mejora de carreteras convencionales a partir del análisis de la seguridad vial mediante modelos de consistencia”, aborda la seguridad vial desde el análisis del diseño geométrico de carreteras convencionales. Su investigación tuvo como objetivo proponer una metodología que incorpore dos modelos de consistencia uno global y otro local para evaluar la correspondencia entre las expectativas de los conductores (representadas por la velocidad de operación inercial) y el comportamiento real de la vía (velocidad de operación). La metodología permitió estimar el número de accidentes con víctimas a diez años e identificar los tramos de mayor riesgo. El autor evidenció que una falta de consistencia geométrica puede generar maniobras inesperadas por parte del conductor, aumentando la probabilidad de siniestros, y destacó la escasa inclusión de este tipo de evaluaciones en las normas de diseño actuales. En conclusión, el trabajo demuestra que el análisis de consistencia geométrica es clave para la prevención de accidentes viales. Su propuesta metodológica ofrece herramientas técnicas útiles para anticipar puntos críticos de riesgo y mejorar el diseño de la infraestructura, lo que resulta fundamental para reducir la siniestralidad. Este enfoque respalda la necesidad de considerar los factores geométricos en el análisis de seguridad vial, como se plantea en el presente estudio.

Antecedente N°3

Polo (2018) en su tesis de maestría “Estimación de Accidentes en Vías de Uso Exclusivo de BRT, según el Manual de Seguridad Vial de Estados Unidos, Estudio de Caso: Ciudad de Bogotá” desarrolló una investigación enfocada en mejorar la seguridad vial en sistemas de transporte masivo tipo BRT (Bus de Tránsito Rápido) en la ciudad de Bogotá. El objetivo principal fue aplicar y calibrar el modelo de predicción de accidentes del Highway Safety

Manual (HSM, 2010), específicamente el capítulo 12, para vías urbanas y suburbanas. La metodología empleó reportes oficiales de accidentalidad y volúmenes de tráfico suministrados por la Secretaría de Movilidad, y utilizó un modelo binomial negativo para ajustar funciones de desempeño de seguridad (SPF) tanto en tramos de vía como en intersecciones. Los resultados demostraron que las funciones desarrolladas localmente presentaron mejor ajuste que las originales del HSM. Además, se evidenció que aplicar este modelo con intervenciones específicas podría reducir hasta en un 35 % los accidentes en intersecciones del sistema BRT. En conclusión que se llegó a la investigación, que se evidencia el valor práctico de calibrar el modelo del HSM para entornos urbanos específicos como los corredores de BRT. Su aporte metodológico demuestra que el uso de herramientas predictivas adaptadas al contexto local puede optimizar la seguridad vial en sistemas de transporte masivo, y refuerza la aplicabilidad de enfoques cuantitativos en el análisis del riesgo vial.

Antecedente N°4

Kronprasert, Boontan, & Kanha (2021) en su artículo *“Modelos de Predicción de Colisiones Para Segmentos de Curvas Horizontales en Caminos Rurales de Dos Carriles en Tailandia”*, llevaron a cabo una investigación ante el crecimiento alarmante de accidentes de tránsito en Tailandia, particularmente en los tramos curvos de las carreteras rurales de dos carriles, considerados puntos críticos de alta siniestralidad. El objetivo del estudio fue desarrollar modelos de predicción de accidentes mediante las Funciones de Desempeño de Seguridad (SPF), con el fin de establecer la relación entre las características geométricas, el alineamiento de la vía y las condiciones del tráfico con la frecuencia de accidentes en segmentos curvos horizontales.

La metodología empleada fue de tipo cuantitativa, utilizando técnicas estadísticas como regresión de Poisson, regresión binomial negativa y modelos calibrados basados en el Highway Safety Manual (HSM). La muestra incluyó un total de 86,599 segmentos de curva extraídos de la red vial rural de Tailandia.

Para el acopio de información, los investigadores utilizaron diversos instrumentos, tales como tecnologías de rastreo GPS instaladas en vehículos, bases de datos de atributos viales y reportes oficiales de siniestros viales.

Entre los resultados más relevantes, se identificó que el ancho del carril fue la variable con mayor incidencia en la frecuencia de accidentes, seguido por la longitud de la curva, el volumen de tránsito, el radio de curvatura y los tipos de curva. Además, se concluyó que el modelo calibrado del HSM presentó el mejor desempeño predictivo en comparación con otros enfoques, lo cual refuerza la importancia de adaptar este tipo de modelos a condiciones viales locales. En conclusión este estudio demuestra que el uso del modelo HSM calibrado es una herramienta eficaz para analizar tramos viales con alta siniestralidad, lo que respalda su aplicación en el presente problema de estudio relacionado con factores geométricos y de tránsito.

Antecedente N°5

Mendes, Larocca, Silva, & Pirdavani (2023); en su artículo “*Evaluación del Desempeño del Manual de Seguridad Vial (HSM) Modelos Predictivos para Carreteras Multicarriles Brasileñas*” tuvo como objetivo examinar la eficacia de los modelos de predicción del Highway Safety Manual (HSM) aplicados a carreteras brasileñas, específicamente en tramos rurales de múltiples carriles. En dicho análisis indica que se calcularon factores de ajuste (Cx) de 2.62 para

el total de siniestros viales y de 2.35 para aquellos que resultaron en fallecidos o personas con lesiones.

La investigación también abordó la aplicabilidad del modelo en un contexto inusual como el año 2020, periodo caracterizado por las alteraciones en la movilidad derivadas de la pandemia por COVID-19. También se observó que, al aplicar el modelo calibrado con datos de años anteriores, las proyecciones obtenidas para ese año particular se acercaron razonablemente a los valores reales, especialmente en el caso de accidentes con víctimas. Para todos los tipos de accidentes, las estimaciones fueron apenas un 10 % superiores a los registros observados, lo que respalda la solidez del enfoque.

Los resultados que obtuvieron de las pruebas de reajuste indicaron que utilizar la totalidad de accidentes, en lugar de solo los graves, arrojó un mejor comportamiento predictivo del modelo, sugiriendo que el subregistro de eventos no tuvo un impacto significativo en la validez del análisis. Sin embargo, los autores también advierten que existen variables de riesgo no contempladas en las Funciones de Desempeño de Seguridad (SPF) del HSM, las cuales podrían influir en los niveles reales de siniestralidad.

A la conclusión que se llegó en este antecedente, es que se demuestra que la aplicación del HSM fuera del contexto original requiere una calibración cuidadosa a las condiciones locales para lograr resultados fiables. Asimismo, respalda el uso de modelos predictivos como herramienta de diagnóstico en la seguridad vial, reforzando la relevancia de aplicar esta metodología en otras realidades latinoamericanas, como la peruana, tal como se plantea en el presente estudio.

Antecedente N°6

Dutan-Arpi (2023) en su tesis de maestría “Metodología para la evaluación de seguridad vial en autovías concesionadas, en la provincia de El Oro”, desarrolló una metodología para la evaluación de la seguridad vial en un tramo concesionado de la Ruta E25 en la provincia de El Oro, Ecuador. El estudio se centró en el análisis de aproximadamente 95 km de vía que conecta los cantones El Guabo, Machala, Santa Rosa, Huaquillas y Arenillas. La investigación tuvo como objetivo proponer soluciones a los puntos críticos o "puntos negros", mediante el levantamiento de inventarios viales, tasas de mortalidad y datos de accidentabilidad. Utilizando registros de tráfico promedio diario (TPDA) y estadísticas de accidentes, se identificaron las secciones más peligrosas de la vía para proponer medidas que reduzcan la siniestralidad y sirvan de modelo para futuras concesiones. En conclusión este estudio proporciona una base metodológica útil para evaluar la seguridad vial en carreteras concesionadas, destacando la importancia de analizar puntos críticos mediante indicadores objetivos. Su enfoque puede ser replicado en contextos similares, como el del presente problema de investigación, al proponer intervenciones sostenibles que reduzcan la accidentabilidad y mejoren las condiciones de circulación.

3.1.2 Antecedentes nacionales:

Antecedente N°1

Mamani & Ponce (2021) en su investigación “Predicción de accidentes de tránsito aplicando el manual HSM 2010 en la carretera Puno - Ilave”, desarrollaron una investigación en la carretera Puno – Ilave aplicando el modelo de predicción de accidentes del Highway Safety Manual (HSM, 2010), con el objetivo de analizar la incidencia del diseño geométrico, el índice medio diario anual (IMDA) y los dispositivos de control de tránsito en la siniestralidad vial.

Mediante una metodología descriptiva correlacional, se aplicaron técnicas como levantamiento topográfico de 47.5 km, aforos vehiculares y un inventario de señalización, complementado con datos de accidentes provistos por las comisarías de la zona. Los resultados revelaron que el diseño geométrico no influye significativamente, pero sí lo hacen el IMDA y los dispositivos de tránsito. Se obtuvo un factor de calibración de 0.839, validando la aplicabilidad del modelo HSM en el contexto nacional. En conclusión, este estudio demuestra la utilidad del modelo HSM en la predicción de accidentes bajo condiciones locales, validando su empleo con un adecuado factor de calibración. Además, resalta la importancia de los volúmenes de tránsito y el estado de la señalización como variables determinantes para la seguridad vial, aportando así una base metodológica sólida para futuras investigaciones orientadas a reducir la siniestralidad en vías similares.

Antecedente N°2

Monroy (2021) en su tesis “Inspección de seguridad vial en tramos de concentración de siniestros del km 43 al 94 del tramo Tarma – San Ramón” realizó la investigación con el objetivo de evaluar los efectos de la inspección de seguridad vial en tramos de concentración de siniestros entre los kilómetros 43 al 94 del tramo Tarma - San Ramón. La metodología fue de tipo aplicada, con un nivel descriptivo-explicativo y diseño experimental. Se utilizó un muestreo no probabilístico, centrado en los tramos específicos de la carretera en estudio. Como instrumentos se aplicó la metodología de Inspección de Seguridad Vial (ISV), evaluando el índice de peligrosidad de los tramos. Los resultados indicaron que la aplicación de la ISV redujo el índice de peligrosidad a un promedio de 559.40, quedando por debajo del umbral inicial, lo cual evidencia su efectividad en la mitigación de siniestros viales en dichos tramos.

En conclusión, este estudio demuestra que la aplicación de la Inspección de Seguridad Vial es una herramienta eficaz para reducir la peligrosidad en carreteras con alta incidencia de accidentes, destacando su utilidad en la mejora de la seguridad vial mediante intervenciones técnicas en zonas críticas.

Antecedente N°3

Sinche & Cercado (2023) en su tesis “Propuesta de rediseño geométrico e implementación de dispositivos viales para mejorar la seguridad vial en la carretera ramal de Pacucha”, desarrollaron una investigación orientada a mejorar la seguridad vial en la carretera ramal de Pacucha, mediante una propuesta de rediseño geométrico y la incorporación de dispositivos de control vial. Para ello, aplicaron la metodología iRAP VIDA, que permite evaluar la seguridad de la infraestructura vial a través de un sistema de calificación por estrellas. Se identificaron puntos críticos con alta siniestralidad, se propuso el rediseño geométrico utilizando la normativa DG-2018, y se planteó la implementación de señalización, barreras metálicas, reductores de velocidad e iluminación. La validación con el software iRAP permitió evidenciar mejoras en los niveles de seguridad del tramo analizado, demostrando la efectividad de las medidas propuestas. En conclusión, este estudio demuestra la importancia de integrar herramientas modernas de evaluación de seguridad vial como iRAP VIDA con el diseño normativo nacional para lograr intervenciones efectivas en carreteras de alto riesgo. El enfoque aplicado puede servir como guía técnica para futuras propuestas de mejora vial en contextos similares.

Antecedente N°4

Servantes & Alvino (2023) en su tesis “Relación entre la accidentalidad y parámetros geométricos en la vía nacional PE-18B tramo: Puente Rancho – Panao – Chaglla en el

departamento de Huánuco”, tuvo como objetivo analizar la relación entre los accidentes de tránsito y los parámetros geométricos del diseño vial en tramos peligrosos de la vía nacional PE-18B. Utilizando el método del *Transportation Research Board (TRB)* de EE. UU., identificaron 10 Tramos de Concentración de Accidentes (TCA). Para cada accidente en estos tramos, se recopilaban datos de geometría vial como ancho de calzada, pendiente, peralte y radio de curvatura, analizándolos con el software MATLAB. Los resultados mostraron una baja correlación general ($R^2 = 0.32$), aunque en tramos curvos se alcanzó una correlación algo mayor ($R^2 = 0.59$), siendo el radio de curvatura el único parámetro significativamente asociado al aumento de accidentes. Se evidenció además que los tramos no cumplen con la normativa de diseño vial vigente (DG-2018) ni con la clasificación de carretera de segunda clase según el IMDA. En conclusión, este estudio resalta la importancia de considerar los parámetros geométricos del diseño vial, en especial el radio de curvatura, como factores determinantes en la siniestralidad vial. Su enfoque metodológico y uso de herramientas cuantitativas proporciona una base valiosa para futuras investigaciones que buscan evaluar el riesgo en tramos críticos y proponer mejoras en la infraestructura vial en contextos similares al problema de estudio.

Antecedente N°5

Correa & Sarango (2024) en su tesis “Aplicación de la metodología de inspección de seguridad vial según el MTC y el método predictivo del HSM, en la Av. Sánchez Cerro tramo cruce con Av. Marcavelica hasta el cruce con Jr. Cusco – Piura”, tuvieron como objetivo principal identificar zonas críticas de accidentalidad vial en la avenida Sánchez Cerro mediante la aplicación de la metodología de Inspección de Seguridad Vial (ISV) y el Método Predictivo del Highway Safety Manual (HSM 2010). La investigación fue de enfoque cuantitativo, con diseño descriptivo-aplicativo, y se centró en un tramo urbano de alta afluencia vehicular. Para

ello, se emplearon herramientas como el software IHSDM, registros de accidentes y análisis geométrico de la vía.

Los resultados permitieron identificar deficiencias geométricas, señalización deficiente y otros factores de riesgo. Con base en estos hallazgos, se propusieron contramedidas de seguridad que, según la simulación con el modelo HSM y ajustes con factores de modificación de accidentes (FMAs), permitirían una reducción del 18% al 51% en la siniestralidad, dependiendo del escenario de intervención. En conclusión, este estudio aporta evidencia práctica sobre la efectividad de combinar metodologías nacionales e internacionales para diagnosticar y reducir la accidentalidad en zonas urbanas. Sus resultados refuerzan la importancia de aplicar el método predictivo del HSM junto con inspecciones técnicas para sustentar decisiones de mejora en la infraestructura vial, lo cual es aplicable a contextos similares como el problema de estudio en esta investigación.

3.1.3 Antecedentes locales/regionales

Antecedente N°1

Atauchi & Quispe (2019) en su tesis “Análisis de la influencia de las características geométricas, dispositivos de control e intensidad del tránsito en la accidentabilidad de la carretera nacional PE-3S tramo Ancahuasi – Limatambo según la metodología de inspección de seguridad vial del MTC 2017 y el Manual de Seguridad Vial HSM 2010” desarrollaron un estudio enfocado en analizar la influencia de las características geométricas, dispositivos de control e intensidad del tránsito en la accidentabilidad de la carretera nacional PE-3S, específicamente en el tramo Ancahuasi–Limatambo. El objetivo de la presente investigación fue evaluar los factores que inciden en los accidentes de tránsito aplicando dos metodologías

complementarias: la Inspección de Seguridad Vial (ISV) del MTC (2017) y el Manual de Seguridad Vial HSM 2010.

La metodología fue de tipo cuantitativo-descriptiva, analizando 34.58 km de vía, segmentados de acuerdo con sus características geométricas. Los instrumentos empleados fueron una lista de chequeo de seguridad vial (ISV) y el método predictivo del HSM, que permitió estimar la frecuencia promedio de accidentes mediante funciones de desempeño de seguridad (SPF), aplicando luego el método Bayes Empírico para calcular el factor de calibración del tramo ($C = 0.390$).

Los resultados evidencian deficiencias en la vía, tanto en señalización como en geometría, las cuales se correlacionan con la frecuencia de accidentes. Las propuestas de mejora analizadas con el HSM indican una posible reducción significativa de la siniestralidad si se corrigen dichas condiciones. En conclusión, el estudio demuestra que la combinación de metodologías cualitativas (ISV) y cuantitativas (HSM 2010) permite un diagnóstico más completo de la seguridad vial. El método HSM destaca como una herramienta eficaz para predecir accidentes y sustentar técnicamente las intervenciones en infraestructura, proponiéndose su adopción en futuras fases de diseño y mejora de carreteras en el Perú para mitigar los altos índices de accidentabilidad.

Antecedente N°2

Choque & Quispe (2023) en su tesis “Determinación del indicador de mayor incidencia al hallar la seguridad vial aplicando las metodologías HSM, MSV y consistencia del diseño geométrico en la carretera departamental CU-113 Huambutio – Huayllabamba”, desarrollaron una investigación centrada en determinar los factores con mayor incidencia en la seguridad vial, aplicando tres metodologías: el Highway Safety Manual 2010 (HSM), el Manual de Seguridad

Vial peruano (MSV) y la evaluación de consistencia del diseño geométrico. El objetivo principal fue identificar los indicadores que más influyen en la accidentalidad en la carretera departamental CU-113, tramo Huambutio–Huayllabamba. Se empleó un enfoque cuantitativo y descriptivo, recolectando datos de campo sobre geometría vial, dispositivos de control y volumen de tránsito, los cuales fueron analizados con base en los modelos de predicción y evaluación de seguridad mencionados. Los resultados permitieron identificar deficiencias en la infraestructura que contribuyen significativamente a la siniestralidad. La investigación se estructuró metodológicamente en cinco capítulos, abordando la problemática, antecedentes, aplicación de metodologías, análisis de resultados y discusión de hallazgos. En conclusión, el estudio evidencia que el análisis conjunto del HSM, el MSV y la consistencia del diseño geométrico permite una comprensión más precisa de los factores que inciden en la seguridad vial. La combinación de estas herramientas facilita una evaluación técnica integral y proporciona insumos relevantes para formular propuestas que reduzcan los niveles de accidentalidad en vías regionales. La investigación aporta metodológicamente al campo de la ingeniería vial, destacando la importancia de integrar métodos cuantitativos y normativas nacionales e internacionales para mejorar la seguridad en corredores de alto tránsito.

Antecedente N°3

Quispe & Álvarez (2024) en la tesis sobre la “Evaluación y optimización del diseño geométrico de la carretera PE–28B Santa Ana – Maranura, aplicando metodologías en seguridad vial ISV, HSM”, tuvo como objetivo la finalidad evaluar y optimizar el diseño geométrico de la carretera PE–28B, en el tramo Santa Ana – Maranura, mediante la aplicación de metodologías de seguridad vial como el Highway Safety Manual (HSM) y la Inspección de Seguridad Vial (ISV). El estudio abarcó una vía de 12.2 km, dividida en segmentos analizados con Autodesk

Civil 3D. Se efectuó el aforo vehicular y se recolectaron datos de siniestros registrados entre los años 2015 y 2019. Se detectaron incumplimientos respecto al Manual de Diseño Geométrico 2018 del MTC, y se obtuvo un factor de calibración de 0.807 aplicando el método empírico de Bayes. A partir de ello, se plantearon mejoras geométricas y la implementación de dispositivos viales como iluminación y bandas sonoras. Tras la optimización, un nuevo análisis predijo una reducción de hasta el 40 % en la frecuencia de accidentes.

En conclusión, este estudio demuestra que la aplicación conjunta del HSM y la inspección de seguridad vial permite diagnosticar deficiencias geométricas y operacionales, proponer intervenciones adecuadas y cuantificar su impacto en la reducción de siniestralidad. Además, valida el uso del factor de calibración como una herramienta fundamental para adaptar el modelo HSM a condiciones viales locales, aportando un marco metodológico replicable para futuras evaluaciones en carreteras similares del país.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Fotogrametría

Desde el enfoque conceptual, la fotogrametría se sustenta en la medición y análisis cuantitativo de la información visual obtenida a partir de la radiación luminosa, lo que ha permitido su incorporación en diversos campos de aplicación, entre ellos la topografía, la planificación agrícola y la industria audiovisual. En este marco, la fotogrametría aérea adquiere especial relevancia en los estudios topográficos, debido a que integra de manera sistemática procedimientos ejecutados tanto en el trabajo de campo como en las labores de gabinete (Alcántara, 2014).

Según Bonneval (1972), “la fotogrametría es una técnica de elevada precisión que permite obtener mediciones confiables y generar modelos tridimensionales de objetos a partir de imágenes fotográficas”.

Figura 5

Fotogrametría



Nota. Tomado de MCAD. (2022)

3.2.1.1 Dron. Los drones, también denominados aeronaves no tripuladas, corresponden a plataformas aéreas que son controladas a distancia y que operan sin la presencia de tripulación humana a bordo. Estos sistemas integran tecnologías avanzadas, tales como receptores GPS, cámaras de alta resolución y diversos tipos de sensores, lo que posibilita su utilización en una amplia variedad de aplicaciones. Asimismo, sus dimensiones y configuraciones estructurales difieren en función del propósito operativo para el cual han sido diseñados.

Ejemplo de dron de ala fija y ala rotatoria

Figura 6

Dron de ala fija



Nota: Fuente UDB-2016

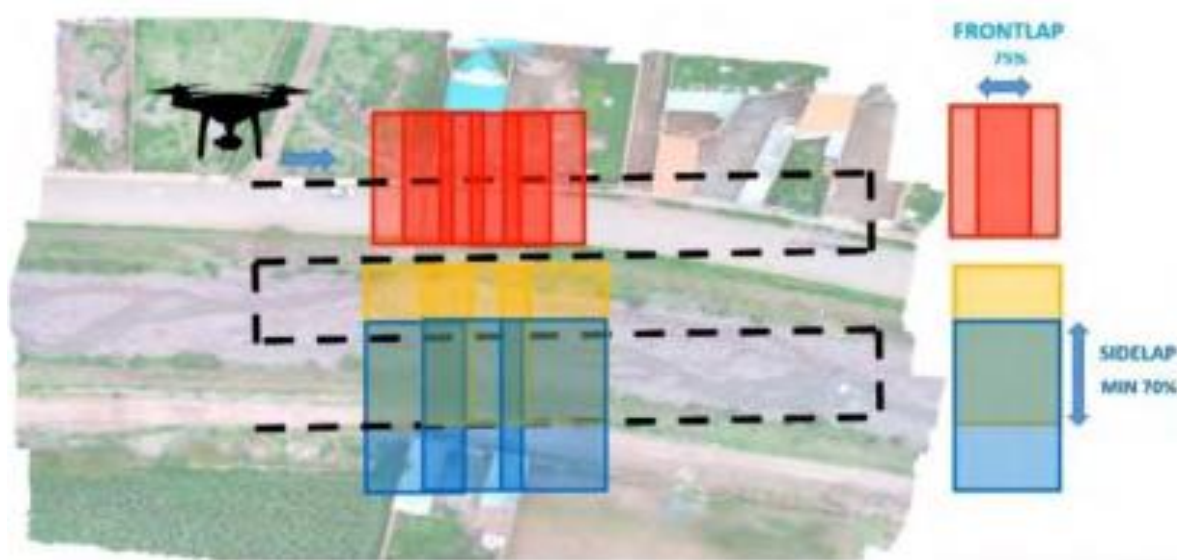
Figura 7

Dron de ala rotatoria



Nota: Fuente UDB-2016

3.2.1.2 Traslapes. Los traslapes corresponden al porcentaje de área común compartida entre dos o más fotografías. Estos pueden clasificarse principalmente en traslape frontal y traslape lateral o también mencionados como traslape longitudinal y transversal, los cuales permiten asegurar la continuidad y coherencia de la información capturada. En la figura siguiente se muestra ambos tipos de traslape.

Figura 8*Traslape longitudinal y trasversal*

Nota. El traslape longitudinal es de sentido horizontal y trasversal en forma vertical. Ejemplo por Ccapa, 2021, <https://acgdrone.com/fotogrametria-aerea-con-drones/>

El dron sigue una línea de vuelo definida, capturando fotografías consecutivas que presentan áreas comunes, conocidas como traslape frontal. Asimismo, la superposición entre imágenes tomadas en líneas de vuelo adyacentes corresponde al traslape lateral. Para trabajos fotogramétricos con fines topográficos, se recomienda un mínimo de 75 % de traslape frontal y 70 % de traslape lateral, pudiendo incrementarse estos valores según el nivel de precisión requerido.

3.2.1.3 Ground Sampling Distance (GSD). Se define como la dimensión del terreno representada por cada píxel de una imagen digital, constituyendo un parámetro fundamental para la resolución espacial. Considerando que el píxel es la unidad mínima de información de una fotografía, su tamaño mantiene una relación directa con el nivel de detalle observable; en consecuencia, una mayor densidad de píxeles por unidad de superficie se traduce en una resolución espacial más elevada (Ccapa, 2021). La estimación del GSD se obtiene a partir de los parámetros de vuelo del dron, lo que posibilita la realización de mediciones indirectas en dos dimensiones.

3.2.1.4 Flujo de Trabajo. El flujo de trabajo inicia con la planificación del vuelo, donde se definen la altura, los traslapes y las características del terreno. Posteriormente, se ejecuta el vuelo bajo condiciones de seguridad y control visual del dron. Finalmente, las imágenes capturadas se procesan para la elaboración de los planos topográficos.

Proceso para la obtención de productos fotogramétricos

1. Orientación de fotos.
2. Georreferenciación
3. Optimización de cámaras
4. Creación de nubes de puntos densa
5. Ajuste con puntos de control
6. Clasificación de puntos por color y nivel de confianza
7. Creación de la malla y Suavizado de malla
8. Creación de Modelo Digital de Elevación (DEM)
9. Creación de curvas de nivel
10. Creación de Ortomosaico

11. Exportación de archivos

3.2.2 Infraestructura Vial

En el ámbito de la ingeniería del transporte, la infraestructura vial constituye un elemento esencial para la movilidad terrestre. De acuerdo con Vásquez y Bendezú (2008), “es un tipo de infraestructura de transporte que está compuesta por una serie de instalaciones y de activos físicos que sirven para la organización y para la oferta de los servicios de transporte de carga y/o de pasajeros por vía terrestre” (p. 27).

3.2.3 Carretera

Infraestructura adaptada sobre una faja del terreno (derecho de vía), la cual debe cumplir condiciones de ancho, alineamiento y pendiente, permitiendo el tránsito de vehículos motorizados de por lo menos dos ejes (Salomon & Rodríguez, 2005, como se citó en Atauchi & Quispe, 2019).

3.2.3.1 Clasificación. La clasificación de carreteras en el Perú comprende 3 diferentes puntos de vista: según su función, según a la demanda y según a sus condiciones orográficas.

3.2.3.1.1 Función. De acuerdo con el *Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial* del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2018), una red vial se define como el conjunto de carreteras que pertenecen a una misma clasificación funcional —Nacional, Departamental o Regional, y Vecinal o Rural—, agrupadas en sistemas según la movilidad del tráfico y el nivel de accesibilidad que brindan.

En este marco, el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) corresponde al conjunto de carreteras que conforman la infraestructura vial del país y se encuentra estructurado en tres jerarquías de red: a) Red Vial Nacional, b) Red Vial Departamental o Regional y c) Red Vial Vecinal o Rural (PROVIAS, 2024).

a) Red vial nacional (RVN)

La Red Vial Nacional compuesto por principales 20 ejes transversales y 3 longitudinales, es de competencia del gobierno nacional, y comprende a las carreteras que cumplan algunos de los siguientes criterios: (PROVIAS, 2024)

- Interconectar al país longitudinal o transversalmente, permitiendo la vinculación con los países vecinos. (PROVIAS, 2024)
- Interconectar las capitales de departamento. (PROVIAS, 2024)
- Soportar regularmente el tránsito de larga distancia nacional o internacional de personas y/o mercancías, facilitando el intercambio comercial interno o del comercio exterior. (PROVIAS, 2024)
- Articular los puertos y/o aeropuertos de nivel nacional o internacional, así como las vías férreas nacionales. (PROVIAS, 2024)
- Interconectar los principales centros de producción con los principales centros de
- Consumo. (PROVIAS, 2024)

b) Red vial Departamental o Regional

La Red Vial Departamental o Regional, de competencia de los gobiernos regionales, comprende las carreteras que cumplan algunos de los siguientes criterios: (PROVIAS, 2024)

- Interconectar la capital del departamento con las capitales de provincias o éstas entre sí. (PROVIAS, 2024)
- Facilitar principalmente el transporte de personas y el intercambio comercial a nivel regional o departamental y que tengan influencia en el movimiento económico regional. (PROVIAS, 2024)

- Interconectar capitales de distritos pertenecientes a más de una provincia o permitir la conformación de circuitos con otras carreteras departamentales o nacionales. (PROVIAS, 2024)
- Articular los puertos y/o aeropuertos de nivel regional. (PROVIAS, 2024))

c) Red Vial Vecinal o Rural

La Red Vial Vecinal o Rural, de competencia de los gobiernos locales, comprende aquellas carreteras que no se encuentran incluidas en la Red Vial Nacional ni en la Red Vial Departamental o Regional (PROVIAS, 2024).

3.2.3.1.2 Clasificación de las Carreteras por Demanda. La clasificación de las carreteras en Perú se da por la demanda, en función a:

a) Autopistas de Primera Clase

Son carreteras con Índice Medio Diario Anual superior a 6 000 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central de longitud mínimo de 6.00 m; cada calzada debe tener dos o más carriles de al menos 3.60 m de ancho, con control total de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos, sin cruces o pasos a nivel y con puentes peatonales en zonas urbanas. (MTC, 2018)

b) Autopistas de Segunda Clase

Son carreteras con un Índice Medio Diario Anual entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central que puede variar de 6.00 m hasta 1.00 m, en cuyo caso se instalará un sistema de contención vehicular; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3.60 m de ancho como mínimo, con control parcial de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos; pueden

tener cruces o pasos vehiculares a nivel y puentes peatonales en zonas urbanas.(MTC, 2018)

c) Carreteras de Primera Clase

Son carreteras con un IMDA entre 4 000 y 2 001 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.60 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad. (MTC, 2018)

d) Carreteras de Segunda Clase

Son carreteras con IMDA entre 2 000 y 400 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.30 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada. (MTC, 2018)

e) Carreteras de Tercera Clase

Son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3.00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2.50 m, contando con el sustento técnico correspondiente. Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura. (MTC, 2018)

f) Trochas Carrozables

Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4.00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m. La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar. (MTC, 2018)

3.2.3.1.3 Clasificación por Orografía. Las carreteras del Perú, en función a la orografía predominante del terreno por dónde discurre su trazo, se clasifican en: (MTC, 2018)

a) Terreno Plano (tipo 1)

Tiene pendientes transversales al eje de la vía, menores o iguales al 10% y sus pendientes longitudinales son por lo general menores de tres por ciento (3%), demandando un mínimo de movimiento de tierras, por lo que no presenta mayores dificultades en su trazo. (MTC, 2018)

b) Terreno Ondulado (tipo 2)

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 11% y 50% y sus pendientes longitudinales se encuentran entre 3% y 6 %, demandando un moderado movimiento de tierras, lo que permite alineamientos rectos, alternados con curvas de radios amplios, sin mayores dificultades en el trazo. (MTC, 2018)

c) Terreno Accidentado (tipo 3)

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 51% y el 100% y sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre 6% y 8%, por lo que requiere importantes movimientos de tierras, razón por la cual presenta dificultades en el trazo. (MTC, 2018)

d) Terreno Escarpado (tipo 4)

Tiene pendientes transversales al eje de la vía superiores al 100% y sus pendientes longitudinales excepcionales son superiores al 8%, exigiendo el máximo de movimiento de tierras, razón por la cual presenta grandes dificultades en su trazo. (MTC, 2018)

3.2.4 Diseño Geométrico

Es un documento normativo que organiza y sistematiza las técnicas y los procedimientos para el diseño de la infraestructura vial, en función de su concepción y desarrollo, y conforme a determinados parámetros técnicos. Asimismo, contiene la información necesaria para la aplicación de diversos procedimientos en la elaboración del diseño geométrico de los proyectos, de acuerdo con su categoría y nivel de servicio, en concordancia con las demás normativas vigentes sobre la gestión de la infraestructura vial (MTC, 2018).

3.2.4.1 Vehículo de Diseño.

Las características físicas y la proporción de vehículos de diferentes dimensiones que circulan por las carreteras constituyen elementos fundamentales para la definición geométrica de la vía. En tal sentido, resulta necesario analizar los distintos tipos de vehículos, establecer su correspondiente clasificación y seleccionar un tamaño representativo dentro de cada grupo para su aplicación en el proyecto. Estos vehículos seleccionados, con pesos representativos, dimensiones y características operativas definidas, y que se emplean para establecer los criterios de diseño de las carreteras, se denominan **vehículos de diseño** (MTC, 2018).

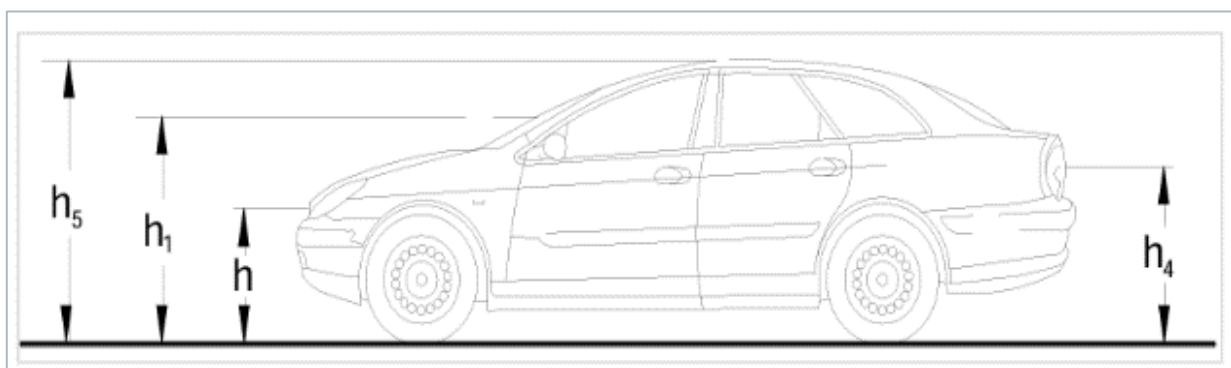
3.2.4.1.1 Vehículo Ligero. Para el cálculo de distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento, se requiere definir diversas alturas, asociadas a los vehículos ligeros, que cubran las situaciones más favorables en cuanto a visibilidad. (MTC, 2018)

- h: altura de los faros delanteros: 0.60 m.

- h_1 : altura de los ojos del conductor: 1.07 m.
- h_2 : altura de un obstáculo fijo en la carretera: 0.15 m.
- h_4 : altura de las luces traseras de un automóvil o menor altura perceptible de carrocería: 0.45 m.
- h_5 : altura del techo de un automóvil: 1.30 m

Figura 9

Vehículo ligero según el estándar del DG-2018



Nota. Vehículo clasificado como vehículo ligero de acuerdo con el manual de diseño geométrico 2018 del MTC (p. 25).

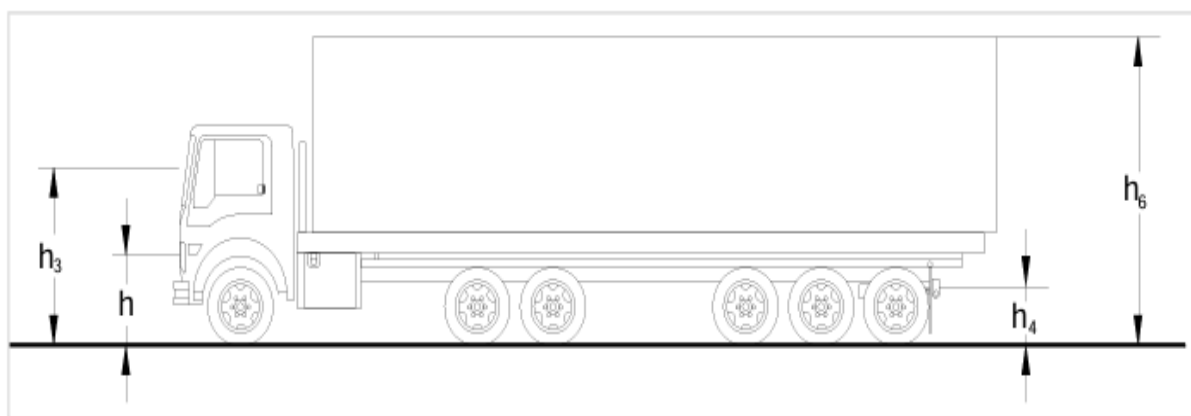
El vehículo ligero es aquel que desarrolla las mayores velocidades de circulación y presenta una menor altura del ojo del conductor; en consecuencia, estas características resultan determinantes para la definición de las distancias de visibilidad de sobrepaso y de parada, así como de las zonas de seguridad vinculadas a la visibilidad en los cruces. Asimismo, influyen en la determinación de la altura mínima de las barreras de seguridad y de los dispositivos antideslumbrantes, además de las dimensiones mínimas de las plazas de aparcamiento en zonas de estacionamiento, miradores o áreas de descanso (MTC, 2018).

3.2.4.1.2 Vehículo Pesado. Para el cálculo de distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento, se requiere definir diversas alturas, asociadas a los vehículos ligeros, que cubran las situaciones más favorables en cuanto a visibilidad. (MTC, 2018)

- h : altura de los faros delanteros: 0.60 m.
- h_3 : altura de ojos de un conductor de camión o bus, necesaria para la verificación de visibilidad en curvas verticales cóncavas bajo estructuras: 2.50 m.
- h_4 : altura de las luces traseras de un automóvil o menor altura perceptible de carrocería: 0.45 m.
- h_6 : altura del techo del vehículo pesado: 4.10 m

Figura 10

Vehículo Pesado según el estándar del DG-2018



Nota. Camión de carga clasificado como vehículo pesado de acuerdo con el manual de diseño geométrico 2018 del MTC (pág. 25).

3.2.4.2 Velocidad de Diseño. La velocidad de diseño es la velocidad seleccionada para el desarrollo del proyecto, entendiéndose como la máxima que puede mantenerse con seguridad y comodidad en un determinado tramo de la carretera, cuando las condiciones resultan favorables para que prevalezcan los criterios establecidos en el diseño geométrico (MTC, 2018).

3.2.4.3 Velocidad de Diseño en Tramo Homogéneo. Según en el manual de diseño geométrico DG-2018 la velocidad de diseño no supere esta velocidad en más de veinte kilómetros por hora.

Figura 11

Rangos de Velocidad de Diseño en función a la demanda y orografía

CLASIFICACIÓN	OROGRAFÍA	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO VTR (km/h)										
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Autopista de primera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Autopista de segunda clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de primera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de segunda clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de tercera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											

Nota. Determinación de la Velocidad de diseño en función a su clasificación orográfica y su demanda de acuerdo con el manual de diseño geométrico. Fuente: 2018 del MTC (p. 97).

3.2.4.4 Velocidad Específica en Curvas Horizontales. Según en el manual de diseño geométrico de carreteras DG-2018 menciona algunos criterios para la designación velocidad en curvas horizontales:

- a) La Velocidad Específica (V_e) en curvas horizontales, será designada y evaluada teniendo en cuenta la Velocidad Específica de la curva horizontal y longitud de segmento en tangente anterior
- b) La Velocidad Específica de una curva horizontal, no será menor que la Velocidad de Diseño del tramo ($V_{CH} \geq V_{TR}$), ni superior a ésta en 20 kilómetros por hora ($V_{CH} \leq V_{TR} + 20$).

Figura 12

Radios mínimos para velocidad específicas de diseño

Velocidad específica Km/h	Peralte máximo e (%)	Valor límite de fricción $f_{máx.}$	Calculado radio mínimo (m)	Redondeo radio mínimo (m)
30	4.0	0.17	33.7	35
40	4.0	0.17	60.0	60
50	4.0	0.16	98.4	100
60	4.0	0.15	149.1	150
30	6.0	0.17	30.8	30
40	6.0	0.17	54.7	55
50	6.0	0.16	89.4	90
60	6.0	0.15	134.9	135
30	8.0	0.17	28.3	30
40	8.0	0.17	50.4	50
50	8.0	0.16	82.0	80
60	8.0	0.15	123.2	125
30	10.0	0.17	26.2	25
40	10.0	0.17	46.6	45
50	10.0	0.16	75.7	75
60	10.0	0.15	113.3	115
30	12.0	0.17	24.4	25
40	12.0	0.17	43.4	45
50	12.0	0.16	70.3	70
60	12.0	0.15	104.9	105

Nota. Fuente: DG-2018, Sección 302, pg. 132. Fuente: DG-2018 (p. 129).

3.2.4.5 Velocidad en Marcha. Denominada también **velocidad de crucero**, es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo se encuentra en movimiento, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito, la vía y los dispositivos de control. Constituye una medida de la calidad del servicio que una vía proporciona a los conductores y presenta variaciones a lo largo del día, principalmente como consecuencia de los cambios en los volúmenes de tránsito (MTC, 2018).

3.2.4.6 Velocidad de Operación. Es la velocidad máxima a la cual pueden circular los vehículos en un determinado tramo de una carretera, en función de la velocidad de diseño, y considerando las condiciones prevalecientes del tránsito, el estado del pavimento, las condiciones meteorológicas y el grado de relación de la vía con otras vías y con la propiedad adyacente (MTC, 2018).

3.2.4.7 Diseño Geométrico en Planta. El alineamiento horizontal, también denominado trazado en planta, se compone de tramos rectos, curvas circulares y curvas de curvatura variable, cuya disposición permite lograr transiciones geométricas suaves entre los distintos elementos del trazado vial (Cárdenas Grisales, 2013).

3.2.4.7.1 Tramos en Tangente. Según el MTC menciona Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (2018), los tramos tangentes que se define en función a la velocidad de diseño las longitudes mínimas admisibles y máximas deseables de los tramos.

Figura 13*Longitudes de tramos en tangente DG-2018*

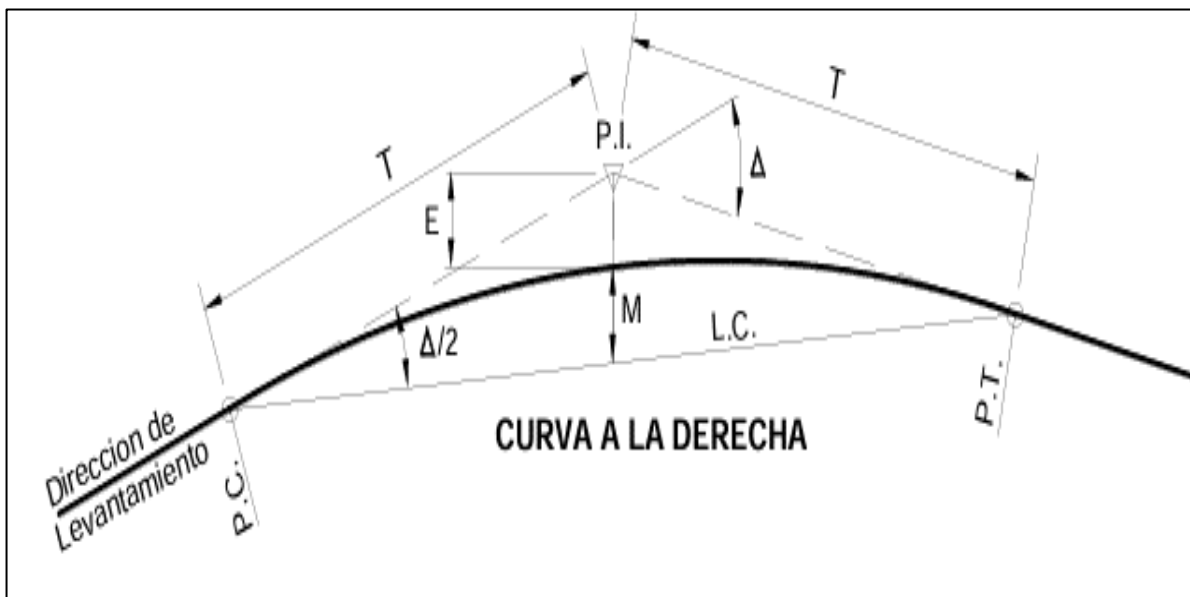
V (km/h)	L mín.s (m)	L mín.o (m)	L máx (m)
30	42	84	500
40	56	111	668
50	69	139	835
60	83	167	1002
70	97	194	1169
80	111	222	1336
90	125	250	1503
100	139	278	1670
110	153	306	1837
120	167	333	2004
130	180	362	2171

Nota. Longitudes mín. y máx. deseables de tramos entre tangentes. Fuente: DG-2018 (p. 127).

Donde:

- L mín.s: Longitud mínima (m) para trazados en “S” (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura de sentido contrario).
- L mín.o: Longitud mínima (m) para el resto de casos (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura del mismo sentido).
- L máx: Longitud máxima deseable (m). V: Velocidad de diseño (km/h).

3.2.4.7.2 Curvas Circulares. Las curvas horizontales circulares simples se definen como arcos de circunferencia de radio constante que permiten la unión de dos tangentes consecutivas, constituyendo la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales empleadas en el trazado geométrico de las carreteras (Cárdenas Grisales, 2013).

Figura 14*Curva circular / DG-2018*

Nota. Longitudes mín. y máx. deseables de tramos entre tangentes. Fuente: DG-2018 (p. 128).

Donde:

- P.C.: Punto de inicio de la curva
- P.I.: Punto de Intersección de 2 alineaciones consecutivas
- P.T.: Punto de tangencia
- E: Distancia a externa (m)
- M: Distancia de la ordenada media (m)
- R: Longitud del radio de la curva (m)
- T: Longitud de la sub-tangente (P.C a P.I. y P.I. a P.T.) (m)
- L: Longitud de la curva (m)
- L.C: Longitud de la cuerda (m)
- Δ = Ángulo de deflexión.

3.2.4.7.3 Radios Mínimos. Los radios mínimos corresponden a los valores más pequeños de radio con los cuales es posible circular manteniendo la velocidad de diseño y el peralte máximo (P_{max}), bajo condiciones aceptables de seguridad y comodidad para el usuario. Al respecto, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones establece, en el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico, una tabla normativa para la selección de los radios mínimos en el diseño de carreteras, así como la fórmula correspondiente para el cálculo del radio mínimo (MTC, 2018

Figura 15

Radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras / DG-2018

Ubicación de la vía	Velocidad de diseño	P máx. (%)	f máx.	Radio calculado (m)	Radio redondeado (m)
Área urbana	30	4.00	0.17	33.7	35
	40	4.00	0.17	60.0	60
	50	4.00	0.16	98.4	100
	60	4.00	0.15	149.2	150
	70	4.00	0.14	214.3	215
	80	4.00	0.14	280.0	280
	90	4.00	0.13	375.2	375
	100	4.00	0.12	492.10	495
	110	4.00	0.11	635.2	635
	120	4.00	0.09	872.2	875
	130	4.00	0.08	1,108.9	1,110
Área rural (con peligro de hielo)	30	6.00	0.17	30.8	30
	40	6.00	0.17	54.8	55
	50	6.00	0.16	89.5	90
	60	6.00	0.15	135.0	135
	70	6.00	0.14	192.9	195
	80	6.00	0.14	252.9	255
	90	6.00	0.13	335.9	335
	100	6.00	0.12	437.4	440
	110	6.00	0.11	560.4	560
	120	6.00	0.09	755.9	755
	130	6.00	0.08	950.5	950
Área rural (plano u ondulada)	30	8.00	0.17	28.3	30
	40	8.00	0.17	50.4	50
	50	8.00	0.16	82.0	85
	60	8.00	0.15	123.2	125
	70	8.00	0.14	175.4	175
	80	8.00	0.14	229.1	230
	90	8.00	0.13	303.7	305
	100	8.00	0.12	393.7	395
	110	8.00	0.11	501.5	500
	120	8.00	0.09	667.0	670
	130	8.00	0.08	831.7	835
Área rural (accidentada o escarpada)	30	12.00	0.17	24.4	25
	40	12.00	0.17	43.4	45
	50	12.00	0.16	70.3	70
	60	12.00	0.15	105.0	105
	70	12.00	0.14	148.4	150
	80	12.00	0.14	193.8	195
	90	12.00	0.13	255.1	255
	100	12.00	0.12	328.1	330
	110	12.00	0.11	414.2	415
	120	12.00	0.09	539.9	540
	130	12.00	0.08	665.4	665

Nota. Son valores máximos de peralte y Radios mínimos para las diversas velocidades de diseño en zonas rurales onduladas y escarpadas. Fuente: DG-2018 (p. 129).

El radio mínimo constituye un valor límite de curvatura para una velocidad de diseño determinada y se establece a partir de la tasa máxima de peralte y del factor máximo de fricción lateral seleccionado para el diseño (valor límite de f). El radio mínimo de curvatura se fundamenta en un umbral de comodidad para el conductor, suficiente para proporcionar un margen de seguridad frente al derrape y al vuelco del vehículo. Asimismo, el radio mínimo de curvatura representa un parámetro de control relevante para la determinación de las tasas de peralte en superficies más planas y curvas (AASHTO, 2018, como se citó en Quispe & Álvarez).

3.2.4.7.4 Curvas de Transición. Las curvas de transición son espirales cuyo objetivo es evitar las discontinuidades en la curvatura del trazado; por ello, en su diseño deben proporcionar las mismas condiciones de seguridad, comodidad y estética que los demás elementos del alineamiento vial (MTC, 2018).

Con esta finalidad, y con el propósito de pasar de la sección transversal con bombeo —correspondiente a los tramos en tangente— a la sección de los tramos en curva, provistos de peralte y sobreancho, resulta necesario intercalar un elemento de diseño con una determinada longitud en la cual se realice dicho cambio de manera gradual, denominada longitud de transición (MTC, 2018).

3.2.4.7.5 Sobreancho El sobreancho es el ancho adicional de la superficie de rodadura de la vía que se dispone en los tramos en curva, con el fin de compensar el mayor espacio requerido por los vehículos durante su circulación (MTC, 2018).

En este sentido, el sobreancho constituye un ensanchamiento adicional de la superficie de rodadura, aplicado principalmente en las curvas horizontales, cuyo propósito es permitir que los vehículos —especialmente aquellos de mayor tamaño— se desplacen con seguridad dentro de su carril. Este ajuste geométrico compensa el desplazamiento lateral de las ruedas traseras

respecto a las delanteras y mejora la maniobrabilidad, reduciendo el riesgo de invasión de carriles contiguos o de salida de la vía (MTC, 2018).

3.2.4.8 Diseño Geométrico en Perfil. El diseño geométrico en perfil se concibe como la representación longitudinal de una carretera, mediante la cual se evidencian las variaciones de elevación a lo largo de su eje. Este diseño permite definir elementos fundamentales como las pendientes, las curvas verticales y las cotas altimétricas, con el fin de garantizar una circulación continua, segura y cómoda para los usuarios. Asimismo, en el perfil longitudinal se determinan parámetros tales como la pendiente máxima y mínima, la longitud crítica de las rampas, los puntos de inflexión y la visibilidad requerida para el tránsito, asegurando la adecuada armonización entre la topografía del terreno y la funcionalidad de la vía (AASHTO, 2018)

3.2.4.8.1 Pendiente. Según al Manual de Diseño geométrico DG-2018 de Ministerio de transporte y comunicaciones lo define como la relación que existe entre la diferencia de niveles entre dos puntos y la distancia horizontal de la misma. Representado en porcentaje por lo general y se clasifica en dos tipos de pendientes

- **Pendiente Mínima:** Menor pendiente longitudinal de la rasante que se permite en el proyecto. Es conveniente proveer una pendiente mínima del orden de 0.5%, a fin de asegurar en todo punto de la calzada un drenaje de las aguas superficiales.
- **Pendiente Máxima:** es la mayor pendiente que se permite en el proyecto. Teniendo en cuenta el volumen de tránsito futuro y su composición, por el tipo de terreno por donde pasará la vía y por la velocidad de diseño

Figura 16*Pendientes Máximas (%)*

Demanda	Autopistas								Carretera				Carretera				Carretera			
Vehículos/día	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 400			
Características	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera clase			
Tipo de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño: 30 km/h																			10.00	10.00
40 km/h																9.00	8.00	9.00	10.00	
50 km/h											7.00	7.00			8.00	9.00	8.00	8.00	8.00	
60 km/h					6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	7.00	8.00	9.00	8.00	8.00		
70 km/h			5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00		7.00	7.00		
80 km/h	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00		6.00	6.00			7.00	7.00		
90 km/h	4.50	4.50	5.00		5.00	5.00	6.00		5.00	5.00			6.00				6.00	6.00		
100 km/h	4.50	4.50	4.50		5.00	5.00	6.00		5.00				6.00							
110 km/h	4.00	4.00			4.00															
120 km/h	4.00	4.00			4.00															
130 km/h	3.50																			

Nota. Fuente: Manual de Diseño Geométrico DG- 2018 (p. 171).

3.2.4.8.2 Curvas Verticales. Las curvas verticales son elementos del diseño en perfil que permiten una transición suave entre dos pendientes longitudinales consecutivas, ya sean ascendentes o descendentes. Estas curvas se emplean con la finalidad de garantizar una conducción cómoda, una visibilidad adecuada y un drenaje eficiente de la vía. Su longitud y geometría dependen de factores tales como la velocidad de diseño, la diferencia de gradientes y los requerimientos de visibilidad de parada y adelantamiento, asegurando de este modo la seguridad y la funcionalidad del trazado vial (MTC, 2018).

Figura 18*Anchos mínimos de calzada en tangente*

Clasificación	Autopista								Carretera				Carretera				Carretera			
Tráfico vehículos/día	> 6,000				6,000 – 4,001				4,000-2,001				2,000-400				< 400			
Tipo	Primera Clase				Segunda Clase				Primera Clase				Segunda Clase				Tercera Clase			
Orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño: 30km/h																			6.00	6.00
40 km/h																6.60	6.60	6.60	6.00	
50 km/h											7.20	7.20			6.60	6.60	6.60	6.60	6.00	
60 km/h					7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.60	6.60	6.60	6.60		
70 km/h			7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.60		6.60	6.60		
80 km/h	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20		7.20	7.20			6.60	6.60		
90 km/h	7.20	7.20	7.20		7.20	7.20	7.20		7.20	7.20			7.20				6.60	6.60		
100 km/h	7.20	7.20	7.20		7.20	7.20	7.20		7.20				7.20							
110 km/h	7.20	7.20			7.20															
120 km/h	7.20	7.20			7.20															
130 km/h	7.20																			

Nota. Fuente: Manual de Diseño Geométrico DG- 2018 (p. 191).

3.2.4.9.2 Bermas. Se define como la franja lateral adyacente a la calzada que cumple funciones relacionadas con la seguridad vial, el soporte estructural y el drenaje superficial. Su finalidad principal es proporcionar un área de recuperación para los vehículos que se desvían de la trayectoria de circulación, además de facilitar la evacuación del agua superficial y servir como espacio para detenciones de emergencia o para la ejecución de labores de mantenimiento. El diseño de la berma se establece en función del tipo de vía, el volumen de tránsito y las condiciones del terreno, contribuyendo de este modo a un funcionamiento seguro y eficiente de la carretera (AASHTO, 2018).

Figura 19*Ancho de bermas*

Clasificación	Autopista				Carretera				Carretera				Carretera			
Tráfico vehículos/día	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400			
Características	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase			
Tipo de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño: 30 km/h																0.50 0.50
40 km/h															1.20 1.20	0.90 0.50
50 km/h											2.60 2.60			1.20 1.20	1.20 0.90	0.90
60 km/h					3.00 3.00	2.60 2.60	3.00 3.00	3.00 3.00	3.00 3.00	2.60 2.60	2.00 2.00	2.00 1.20	1.20 1.20	1.20 1.20		
70 km/h			3.00 3.00	3.00 3.00	3.00 3.00	3.00 3.00	3.00 3.00	3.00 3.00	3.00 3.00	3.00 3.00	2.00 2.00	2.00 1.20		1.20 1.20		
80 km/h	3.00 3.00	3.00 3.00	3.00 3.00	3.00 3.00	3.00 3.00	3.00 3.00	3.00 3.00	3.00 3.00	3.00 3.00	3.00 3.00	2.00 2.00	2.00		1.20 1.20		
90 km/h	3.00 3.00	3.00 3.00			3.00 3.00	3.00 3.00			3.00 3.00		2.00			1.20 1.20		
100 km/h	3.00 3.00	3.00 3.00			3.00 3.00	3.00 3.00			3.00		2.00					
110 km/h	3.00 3.00				3.00											
120 km/h	3.00 3.00				3.00											
130 km/h	3.00															

Nota. Fuente: Manual de Diseño Geométrico DG- 2018 (p. 193).

3.2.4.9.3 Bombeo. En tramos en tangente o en curvas en contraperalte, las calzadas deben tener una inclinación transversal mínima denominada bombeo, con la finalidad de evacuar las aguas superficiales. El bombeo depende del tipo de superficie de rodadura y de los niveles de precipitación de la zona (DG,2018).

Figura 20*Bombeo de la calzada*

Tipo de Superficie	Bombeo (%)	
	Precipitación <500 mm/año	Precipitación >500 mm/año
Pavimento asfáltico y/o concreto Portland	2.0	2.5
Tratamiento superficial	2.5	2.5-3.0
Afirmado	3.0-3.5	3.0-4.0

Nota. Fuente: Manual de Diseño Geométrico DG- 2018 (p. 195).

3.2.4.9.4 Peralte. Es la inclinación transversal de la carretera en los tramos de curva, destinada a contrarrestar la fuerza centrífuga del vehículo. (DG,2018).

Figura 21

Valores de radio a partir de los cuales no es necesario el peralte

Velocidad (km/h)	40	60	80	≥100
Radio (m)	3,500	3,500	3,500	7,500

Nota. Fuente: Manual de Diseño Geométrico DG- 2018 (p. 196).

Seguido se mostrarán los valores máximos del peralte, para las condiciones descritas.

Figura 22

Valores de peralte máximo

Pueblo o ciudad	Peralte Máximo (p)		Ver Figura
	Absoluto	Normal	
Atravesamiento de zonas urbanas	6.0%	4.0%	302.02
Zona rural (T. Plano, Ondulado o Accidentado)	8.0%	6.0%	302.03
Zona rural (T. Accidentado o Escarpado)	12.0	8.0%	302.04
Zona rural con peligro de hielo	8.0	6.0%	302.05

Nota. Fuente: Manual de Diseño Geométrico DG- 2018 (p. 196).

El peralte mínimo será del 2%, para los radios y velocidades de diseño.

Figura 23

Peralte mínimo

Velocidad de diseño km/h	Radios de curvatura
$V \geq 100$	$5,000 \leq R < 7,500$
$40 \leq V < 100$	$2,500 \leq R < 3,500$

Nota. Fuente: Manual de Diseño Geométrico DG- 2018 (p. 197).

3.2.5 Seguridad Vial

La seguridad vial comprende el conjunto de acciones, estrategias y criterios de diseño, operación y control del tránsito orientados a prevenir accidentes y reducir la gravedad de sus consecuencias. En el contexto del diseño geométrico, la seguridad vial busca que los elementos de la carretera, como alineamientos, pendientes, visibilidad y señalización, se integren de manera coherente con el comportamiento esperado de los conductores, garantizando condiciones seguras para todos los usuarios (AASHTO, 2018).

También como en El Manual del Conductor – Costa Rica (2001, como se citó en Herrera Ponce y Mandura Choque, 2023) señala que:

“...la disciplina que estudia y aplica las acciones y mecanismos tendientes a garantizar el buen funcionamiento de la circulación en la vía pública, previniendo los accidentes de tránsito.” (p. 5).

En palabras más cortas según CORESEVI (2012), “la seguridad vial consiste en la prevención de siniestros de tránsito o la minimización de sus efectos”.

3.2.5.1 Seguridad Vial Objetiva y Subjetiva. La seguridad vial no se relaciona intrínsecamente con estándares de diseño, pese a que puede existir una relación estrecha entre ambos. Sin embargo, la experiencia demuestra que no todo lo que cumple un estándar es seguro, y no todo lo que no cumple es inseguro (MSV, 2017).

- **Seguridad vial objetiva:** Es aquella que se encuentra basada en la experiencia pues se concentra en la evidencia real e histórica.
- **Seguridad vial subjetiva:** Es aquella que se asume por el hecho de cumplir con estándares de diseño planteados por alguna organización que rige tal rama.

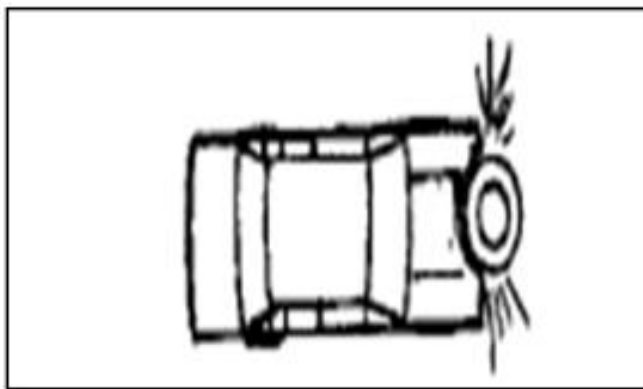
En conclusión, la seguridad vial no solo depende de un factor de diseño, sino también el factor humano y el entorno; por lo cual la seguridad vial objetiva y subjetiva van ligados.

3.2.6 Accidentabilidad

3.2.6.1 Definición de Choque. Encuentro violento entre dos vehículos, un vehículo y un objeto, o un vehículo y una persona. En el presente documento se usa este término intercambiabilmente con los términos siniestro y accidente (MSV, 2017).

Figura 24

Choque vehicular



Nota. Fuente: Aplicaciones de Ingeniería para reducir accidentes (Gold, P, 1998)

3.2.6.1.1 Atropellamiento. Es el accidente en el que un peatón o un animal es alcanzado por un vehículo motorizado o no. Puede ocurrir en la vía o en la acera. En el momento del accidente, el peatón puede estar cruzando la vía, andando por la acera o por la vía o parado (Gold, P, 1998).

3.2.6.1.2 Colisión. Es el accidente entre dos o más vehículos en movimiento en el mismo sentido o en sentidos opuestos, en la franja de la vía. (Gold, P, 1998).

- a. **Colisión trasera:** Es la colisión entre dos o más vehículos en movimiento en el mismo sentido.

Figura 25

Colisión trasera

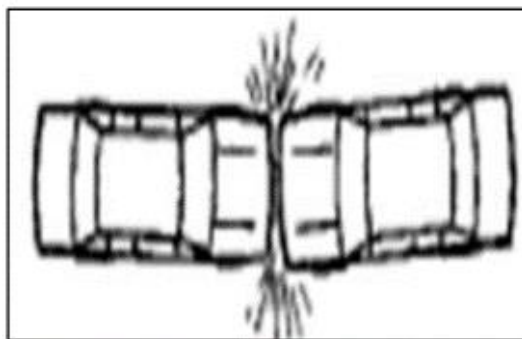


Nota. Aplicaciones de Ingeniería para reducir accidentes (Gold, P, 1998)

- b. Colisión frontal: Es la colisión entre dos vehículos en movimiento en sentidos opuestos.

Figura 26

Colisión frontal

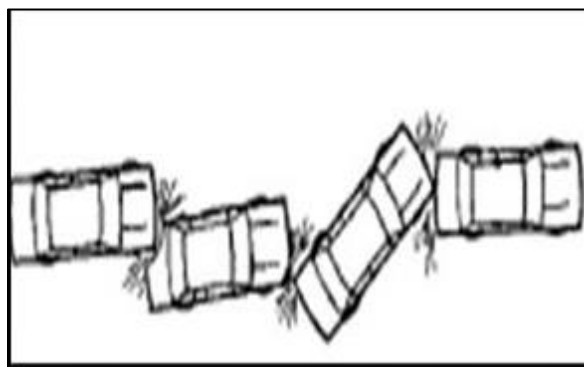


Nota. Aplicaciones de Ingeniería para reducir accidentes (Gold, P, 1998)

- c. **Colisión en cadena:** Es la colisión de tres o más vehículos, uno detrás de otro. Puede ser por colisión trasera (Obsérvese Figura 13) o incluir colisiones frontales (Obsérvese Figura 12).

Figura 27

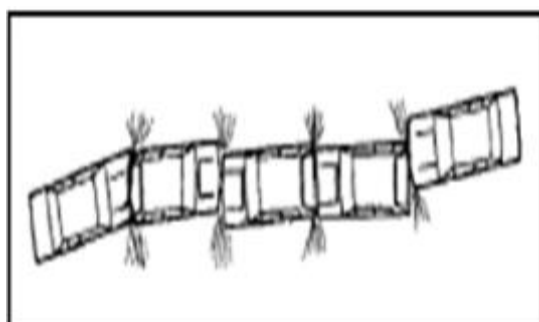
Colisión frontal de 4 vehículos



Nota. Aplicaciones de Ingeniería para reducir accidentes (Gold, P, 1998)

Figura 28

Colisión en cadena (trasera)

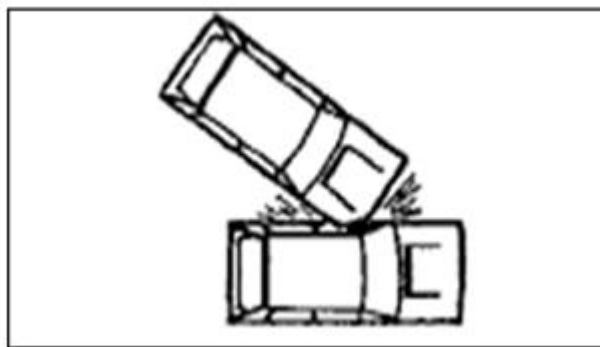


Nota. Aplicaciones de Ingeniería para reducir accidentes (Gold, P, 1998)

- d. **Colisión lateral:** Es el accidente entre vehículos en movimiento por carriles distintos, pero en el mismo sentido cuando uno de ellos inicia un desplazamiento a la izquierda o a la derecha.

Figura 29

Colisión lateral

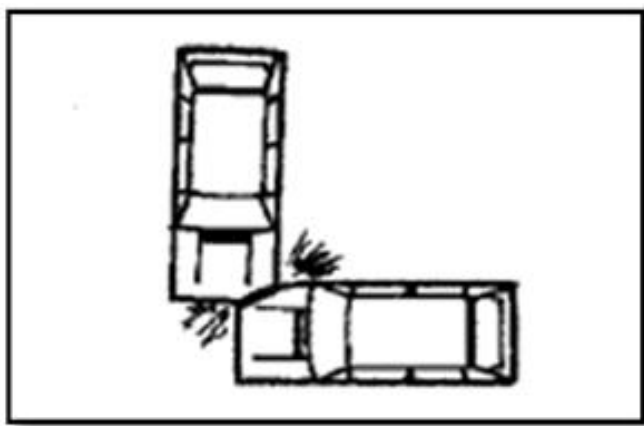


Nota. Aplicaciones de Ingeniería para reducir accidentes (Gold, P, 1998)

- e. Colisión transversal frontal: Es cuando en una colisión transversal el punto de impacto entre ambos vehículos es la parte delantera.

Figura 30

Colisión transversal

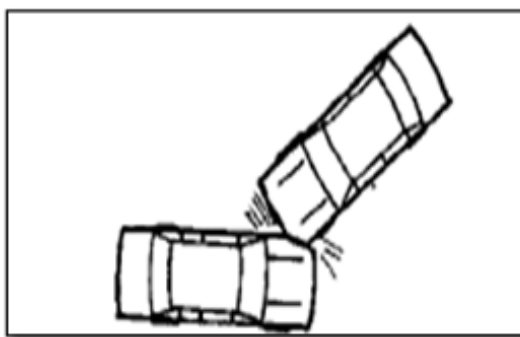


Nota. Aplicaciones de Ingeniería para reducir accidentes (Gold, P, 1998)

- f. **Colisión lateral en sentidos opuestos:** Es el accidente entre vehículos que van en sentidos opuestos y en distintos carriles. Generalmente uno de los vehículos está iniciando un desplazamiento a la izquierda o a la derecha.

Figura 31

Colisión lateral en sentidos opuestos



Nota. Aplicaciones de Ingeniería para reducir accidentes (Gold, P, 1998)

3.2.6.1.3 Vuelco.

- a. **Vuelco en campana.** Es cualquier accidente en el que el techo del vehículo toma contacto con la calzada.

Figura 32

Vuelco de campana



Nota. Aplicaciones de Ingeniería para reducir accidentes (Gold, P, 1998)

- b. **Vuelco lateral.** Es cualquier accidente en que uno de los lados del vehículo toma contacto con la calzada.

Figura 33

Vuelco lateral



Nota. Aplicaciones de Ingeniería para reducir accidentes (Gold, P, 1998)

- c. **Combinación.** Evidentemente, puede haber accidentes que combinen dos o más de los tipos mencionados anteriormente, por ejemplo. Un atropellamiento que provoca una colisión en cadena y un vuelco.

3.2.7 Dispositivos de Control de Tránsito

La señalización vial comprende el conjunto de marcas pintadas sobre el pavimento y de señales instaladas en postes ubicados a lo largo de las vías, las cuales permiten identificar la geometría de las carreteras y vialidades urbanas, así como bifurcaciones, cruces y pasos a nivel. Asimismo, estos dispositivos advierten sobre la presencia y naturaleza de peligros potenciales en la vía, regulan el tránsito mediante la indicación de limitaciones físicas o prohibiciones reglamentarias, y señalan la ubicación de elementos estructurales instalados dentro del derecho de vía. En conjunto, la señalización vial actúa como guía para el recorrido seguro a lo largo de

caminos y carreteras, utilizando símbolos estandarizados que no presentan barreras idiomáticas (Segura, 2018).

3.2.7.1 Señales Verticales. Son aquellos dispositivos instalados al costado o sobre la vía y tienen por finalidad, reglamentar el tránsito, prevenir e informar a los usuarios mediante palabras o símbolos. Cabe mencionar que cada dispositivo de control que se incluya en un proyecto deberá ser diseñado específicamente de acuerdo con el Manual de Dispositivos de control de tránsito automotor para calles y carreteras donde se establece cada parámetro para su colocación (Segura, 2018).

3.2.7.2 Marcas en el Pavimento o Demarcaciones. También conocidas como señalización horizontal y se conforma por marcas planas en la vía, como líneas horizontales y transversales, flechas, símbolos y letras, que se colocan o inserta sobre el pavimento, sardineles, otras estructuras de la vía y zonas adyacentes (Segura, 2018).

3.2.7.3 Semáforos. Son dispositivos de control del tránsito que tienen por finalidad regular y controlar el tránsito vehicular motorizado y no motorizado, y peatonal, a través de las indicaciones de luces de color rojo, verde y amarillo o ámbar que representa alto, siga y precaución (Segura, 2018).

3.2.8 Auditorias e Inspecciones de Seguridad Vial (ISV)

El proceso de Auditoría e inspección de Seguridad Vial es de tipo proactivo y busca anticiparse a la ocurrencia de los accidentes y/o siniestros; de esta manera es recomendable aplicar las ASV/ISV en todas las etapas del proyecto, desde su concepción hasta la operación. Las etapas de control y su aplicación muy intensiva comprenden todos los ciclos del proyecto: factibilidad, estudio definitivo, expediente técnico, ejecución, preapertura, operación y

mantenimiento, así mismo, se ha demostrado que su eficiencia es mayor cuando se intervienen en las primeras etapas de los proyectos. (MSV, 2017).

Figura 34

Ejemplo para la aplicación de auditorías e inspecciones

Evaluación de la Seguridad Vial	Auditoría de Seguridad Vial	Inspección de Seguridad Vial	Gestión de la Seguridad Vial	Gestión de Tramos de Concentración de Accidentes
Estrategias preventivas			Estrategias reactivas	
Aplicado a proyectos y vías en ejecución		Aplicado a vías en servicio		

Nota. Fuente: manual de seguridad vial, 2017 (p. 164).

3.2.8.1 Diferencia entre ASV y ISV. Las ASV son realizadas a infraestructura que está aún por implementarse, por construir o que está en proceso de construcción. Por su parte, las ISV se asocian a la revisión de elementos ya existentes. (MTC, 2018)

3.2.8.2 Aspectos principales para Considerar al Aplicar ISV. Según Jacob Días pineda, como se cita en Herrera y Mandura, 2020, “...presenta algunos aspectos que es fundamental analizar en una ISV; cada emplazamiento concreto puede requerir un análisis más exhaustivo”.

- a. Caracterización del tráfico
 - Intensidad media diaria
 - Tráfico de vehículos pesados
 - Otros tráficos: peatones, ciclistas, motociclistas, vehículos agrícolas, etc.
- b. Caracterización de la accidentalidad
 - Revisión de la accidentabilidad en la vía.
 - Tipología y ubicación de accidentes más recurrentes.

c. Caracterización geométrica de la carretera.

- Trazado horizontal y vertical.
- Sección transversal.
- Márgenes de la vía.
- Equipamiento
 - i. Señalización vertical
 - ii. Marcas viales
 - iii. Sistemas de contención
 - iv. Iluminación, etc., y Puntos singulares: intersecciones, accesos, etc.

Figura 35

Aspecto a Considerar en una inspección de Seguridad Vial (ISV)



Nota. Fuente: Torres Calderón & Aranda Jiménez, 2015, pag.36

3.2.8.3 Procedimiento para Realizar una Inspección de Seguridad Vial. El proceso de inspección de una carretera en servicio presenta similitudes con el aplicado en carreteras de nueva construcción; sin embargo, requiere un énfasis particular en la identificación y el tratamiento de los riesgos existentes. En este contexto, resulta fundamental analizar cómo los distintos tipos de usuarios perciben la vía y su entorno, así como examinar el comportamiento del tránsito y las causas que explican los niveles de accidentalidad registrados, con el propósito de comprender y mitigar los factores que influyen en la seguridad vial (MSV, 2017)

3.2.8.4 Lista de Chequeo. La lista de chequeo constituye una herramienta de apoyo para el desarrollo de las auditorías e inspecciones de seguridad vial, cuyo propósito es facilitar la identificación anticipada de los posibles factores de riesgo asociados a la infraestructura. Asimismo, permite orientar y estructurar los análisis posteriores, en función de las zonas o áreas que presentan mayores niveles de criticidad, contribuyendo a una evaluación sistemática y focalizada de la seguridad vial (MSV, 2017).

3.2.9 Highway Safety Manual 2010 (HSM)

El Highway Safety Manual (HSM), desarrollado por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2010), constituye una herramienta técnica orientada a la cuantificación de los efectos que las condiciones viales ejercen sobre la seguridad del tránsito. La publicación de este manual representó un hito en el ámbito de la seguridad vial, al incorporar métodos científicos para el análisis de la frecuencia y gravedad de los accidentes, en un contexto en el que previamente no se contaba con procedimientos estandarizados y ampliamente aceptados para evaluar de manera explícita dichos efectos.

Asimismo, el HSM establece bases metodológicas para la identificación de zonas con alta probabilidad de siniestros, la evaluación de factores de riesgo y la formulación de medidas

de mitigación. Sus métodos predictivos se aplican principalmente a caminos rurales de dos carriles y doble sentido, carreteras rurales de varios carriles, así como a arterias urbanas y suburbanas, contribuyendo a una gestión vial más segura, eficiente y sustentada en evidencia científica (AASHTO, 2010)

3.2.9.1 Descripción General del Highway Safety Manual 2010 (HSM). Contenido extraído de (Highway Safety Manual User Guide, 2022), indica lo siguiente:

El Highway Safety Manual (HSM) proporciona un conjunto de herramientas analíticas orientadas a la evaluación de los efectos potenciales de los siniestros asociados a las decisiones adoptadas durante las etapas de planificación, diseño, operación y mantenimiento de la infraestructura vial. Asimismo, el manual orienta a las agencias responsables a integrar la seguridad vial dentro de sus procesos de toma de decisiones, promoviendo un enfoque sistemático y preventivo.

Para una correcta interpretación y aplicación de los resultados, el uso del HSM requiere que los profesionales cuenten con conocimientos sólidos en fundamentos de seguridad vial, estadística e ingeniería vial, lo que garantiza un análisis riguroso y técnicamente sustentado de la información obtenida (AASHTO, 2010).

El HSM se usa para las siguientes acciones:

- Identificar lugares con el mayor potencial de frecuencia o gravedad de choques.
- Identificar los factores que contribuyen a los choques y la mitigación potencial asociada medidas.
- Conducir evaluaciones económicas de contramedidas de seguridad y proyecto priorización.
- Evaluar los beneficios de reducción de choques de los tratamientos.

- Calcular el efecto de varias alternativas de diseño en la frecuencia de choques y gravedad.
- Estimar la frecuencia y la gravedad de los choques potenciales en el camino Redes.
- Estimar el efecto potencial sobre la frecuencia y la gravedad de los choques de la planificación, el diseño, las operaciones y decisiones políticas

El Highway Safety Manual (HSM) impulsa la integración de la seguridad vial en todas las etapas del ciclo de vida de un proyecto de infraestructura, desde la fase de planificación inicial hasta las actividades de operación y mantenimiento posteriores a la construcción. Este enfoque integral permite que cada etapa del desarrollo vial incorpore criterios orientados a la prevención de accidentes y a la mejora continua de los niveles de seguridad, fortaleciendo una gestión vial sistemática y proactiva

El HSM está organizado en cuatro partes:

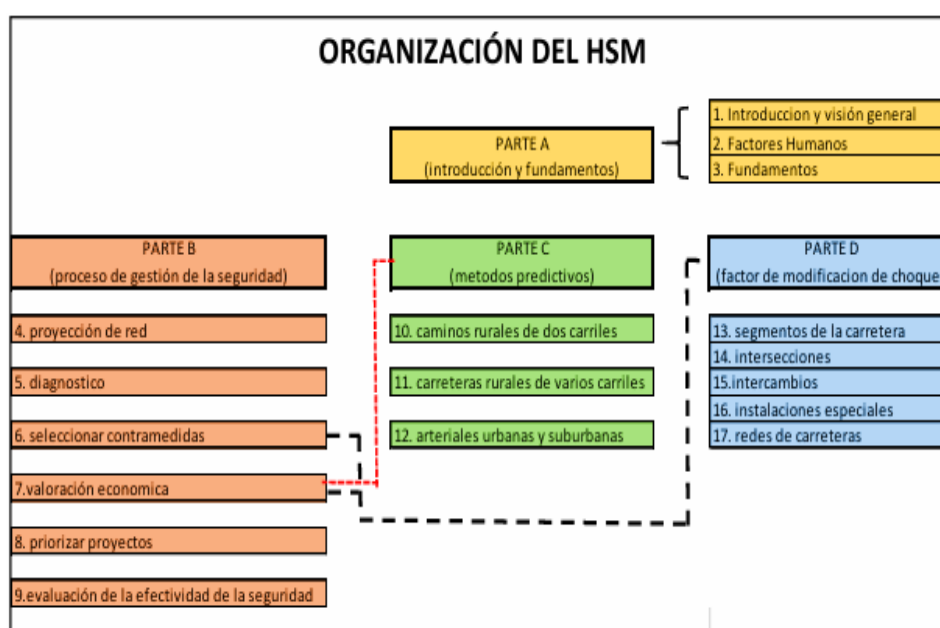
- HSM Parte A: Introducción, factores humanos y fundamentos
- HSM Parte B: Gestión de la Seguridad Vial
- HSM Parte C: Métodos Predictivos
- Parte D: Factores de Modificación de Choques.

La presente investigación se realizó enfocada estrictamente en la Parte C – Métodos predictivos en carretera rural de dos carriles capítulo 10. (Part C – Predictive Method Chapter 10 – Rural two – Lane Roads).

3.2.9.2 Organización General del Highway Safety Manual 2010 (HSM). El Manual de Seguridad Vial (Highway Safety Manual, HSM) se encuentra organizado en cuatro grandes etapas que cubren de manera integral el ciclo de vida de un proyecto vial, iniciándose en la fase de planificación y diseño, y extendiéndose hasta las actividades de operación, evaluación posterior a la construcción y mantenimiento de la infraestructura. Cada una de estas etapas se desarrolla a través de capítulos específicos, en los cuales se detallan los lineamientos, metodologías y criterios técnicos correspondientes.

Figura 36

Organización Del Highway Safety Manual 2010



Nota. Fuente: Highway Safety Manual 2010. Cap. 10

3.2.9.3 Método Predictivo-Parte C del Highway Safety Manual 2010 (HSM).

Contenido Extraído de (Highway Safety Manual User Guide, 2022) indica lo siguiente:

El método predictivo ofrece una estimación cuantitativa de la frecuencia promedio de accidentes que podrían ocurrir bajo las condiciones actuales aún no observadas. De esta manera,

permite evaluar de forma objetiva las características de los proyectos viales en relación con otros factores, como las necesidades comunitarias, la capacidad, los retrasos, los costos, los derechos de vía y los aspectos ambientales.

Este método nos sirva para evaluar y comparar la frecuencia de choque media esperada de situaciones como:

- Vías existentes con volúmenes de tráfico pasados o futuros.
- Diseños alternativos para una vía existente con volúmenes de tráfico pasados o futuros.
- Diseños para una nueva vía con volúmenes de tráfico futuros (previstos).
- La eficacia estimada de las contramedidas después de un período de implementación
- La eficacia estimada de las contramedidas propuestas en una vía existente (antes de la implementación)

En la actualidad existen fórmulas predictivas desarrolladas con datos de Estados Unidos para los siguientes tipos de vías.

- Vías Rurales con Dos Carriles
- Vías Rurales con Múltiples Carriles
- Vías Urbanas
- Autopistas (Vías Expresas)

Se estima la frecuencia media de accidentes esperados, $N_{esperado}$, usando una estimación de modelo predictivo de frecuencia de accidentes, $N_{estimado}$ (llamado la frecuencia media de accidentes) y la frecuencia de accidentes observados, $N_{observado}$ en caso de que los datos están disponibles.

El modelo predictivo que se utilizara para determinar la frecuencia media de accidentes predichos, $N_{predicho}$, está dada por la siguiente ecuación:

Ecuación 1

Frecuencia Promedio de Accidentes Predichos

$$N_{predicho} = N_{FDS} \times (FMA_1 \times FMA_2 \times \dots \times FMA_{12}) \times C$$

Donde:

- $N_{predicho}$ = Predice la frecuencia media de choque para un año específico.
- N_{FDS} = Frecuencia promedio de accidentes predichos determinada para condiciones base.
- FMA_x = Factores de Modificación de Accidentes.
- C = Factor de Calibración para ajustar la Función de Desempeño de Seguridad (F_{DS}) a las condiciones locales.

El efecto del índice medio diario o flujo vehicular de tráfico (IMDA) en la frecuencia de choque se incorpora a través de la Función de Desempeño de Seguridad (F_{DS}), mientras que los efectos del diseño geométrico y las diferentes características de control de tráfico se incorporan a través de los Factores de Modificación de Accidentes (F_{MAS}). (HSM, 2010, pág. 371)

Para el cálculo de N_{FDS} parten de la condición base que se presenta a continuación:

Tabla 2*Valores de las Condiciones Base Establecidas en el HSM*

Segmento de Carretera	Unidades/Descripción	Equivalente (m)
Ancho de carril	12 pies	3.65 m
Ancho de berma	6 pies	1.80 m
Tipo de berma	Pavimentada	
Índice de peligrosidad (RIIR)	3	
Densidad de accesos	5/milla	3/km
Curvatura horizontal	No	
Curvatura vertical	No	
Peralte	< 0.01	
Banda sonora central	No	
Carril de adelantamiento	No	
Carril de giro a la izquierda	No	
Iluminación	No	
Aplicación automática de velocidad	No	
Pendiente longitudinal	< 3%	

Nota. Fuente: Highway Safety Manual 2010.

3.2.9.4 Función de Desempeño de Seguridad (F_{DS}). Las funciones de predicción de accidentes son modelos de regresión que permiten estimar la frecuencia promedio esperada de siniestros en un sitio determinado bajo condiciones base. Estas se basan principalmente en el IMDA y, en el caso de los segmentos viales, también consideran la longitud del tramo. Dichas funciones proporcionan una estimación general de la cantidad promedio de accidentes, aunque el método posibilita distinguirlos según el tipo de accidente y el nivel de gravedad de las lesiones.

Ecuación 2

Frecuencia media esperada de accidentes

$$N_{FDS} = \text{IMDA} \times L \times 365 \times 10^{-6} \times e^{(-0.312)}$$

Donde:

- N_{FDS} : Frecuencia media esperada de accidentes anuales para condiciones base según sea el tipo de sitio. (accidentes/año)
- IMDA: Índice Medio Diario Anual
- L: Longitud del segmento de la carretera en millas

Los F_{DS} para segmentos de carretera son aplicables para un rango de IMDA entre 0 a 17800 vehículos por día. La aplicación con IMDA fuera de este rango no proporcionan resultados fiables. El valor del parámetro de sobredispersión asociado con el F_{DS} para segmentos de carretera de dos carriles se determina como una función de la longitud del segmento. Cuanto más cercano se encuentre el parámetro de sobredispersión a cero, más estadísticamente fiable es el F_{DS} . El valor se determina como: (HSM, 2010, pág. 412)

Ecuación 3

Parámetro de sobre dispersión

$$k = \frac{0.236}{L}$$

Donde: k = Parámetro de sobredispersión y L = Longitud en millas

Factores de Modificación de Accidentes (F_{MAS}). Se utilizan para ajustar la estimación de la frecuencia de choque promedio pronosticado para el efecto del diseño geométrico individual y las características de control de tránsito. El resultado de aplicar cada uno de los factores nos dará un resultado que se aproximará a lo cual significa:

Tabla 3

Factor de F_{MAS}

1.00	Condición Base
> 1.00	Frecuencia de accidentes con probabilidad más alta

< 1.00

Frecuencia de accidentes con probabilidad más baja

Nota. Fuente: Highway Safety Manual 2010. Cap. 10. Pg. 10-29. Adaptación: Propia

Tabla 4

Factores de modificación de accidentes

Factores de Modificaciones de Accidentes				
Tipo de sitio	FMA	especificación	Unidad	Ecuación
Segmento de carretera	FMA1	Ancho de carril	milla	10-11
	FMA2	Ancho y Tipo de berma	ft	10-12
	FMA3	Curvas horizontales	ft	10-13
	FMA4	Peralte	ft/ft	10-14, 10-15, 10-16
	FMA5	Pendiente Longitudinal	%	10-19
	FMA6	Densidad de vía	acc/km	10-17
	FMA7	Banda Sonora Central	Si/No	Indicada
	FMA8	Carriles de adelantamiento	Si/No	Indicada
	FMA9	carriles bidireccionales de giro a izquierdo	Si/No	10-18, 10-19
	FMA10	índice de riesgo	RHR: 1-7	10-20
	FMA11	iluminación	Si/No	10-21
	FMA12	velocidad automatizada	Si/No	Indicada
Intersección FMA1r	FMA1r	Angulo de inclinación de la intersección	G°	10-22, 10-23
	FMA2r	intersección carriles de giro a la izquierda	Si/No	10-21
	FMA3r	intersección carriles de giro a la derecha	Si/No	10-22
	FMA4r	iluminación	Si/No	10-24

Nota. Fuente: Highway Safety Manual 2010. Cap. 10. Pg. 10-29. Adaptación: Propia

3.2.9.4.1 Ancho de Carril (FMA_1). El FMA para el ancho de carril será en base a un carril de 12 pies (3.66 m). Por tanto, para nuestras unidades métricas los carriles de 3.66 m el

FMA que le corresponde es 1,00. Los **FMA_s** podrán ser evaluados para distintitos anchos de calzada, pero se usarán la tabla para hallar el **FMA_{ra}**, por consiguiente, a los accidentes totales dentro del método predictivo aplicando la siguiente ecuación:

Ecuación 4

FMA Ancho de Carril

$$FMA_1 = (FMA_{ra} - 1) \times Pra + 1$$

Donde:

- **FMA₁**: Factor de Modificación de Accidente en referencia al ancho de carril
- **FMA_{ra}**: Factor de modificación de accidentes debido al ancho de carril en fallos relacionados a las dimensiones de la vía.
- **P_{ra}**: Proporción del total de accidentes relacionados a los datos locales o por defecto, tiene un valor de 0.574 según el Highway Safety Manual.

El **FMA₁** está relacionado al ancho de carril y el IMDA que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5

FMA para ancho de carril en segmento de carretera

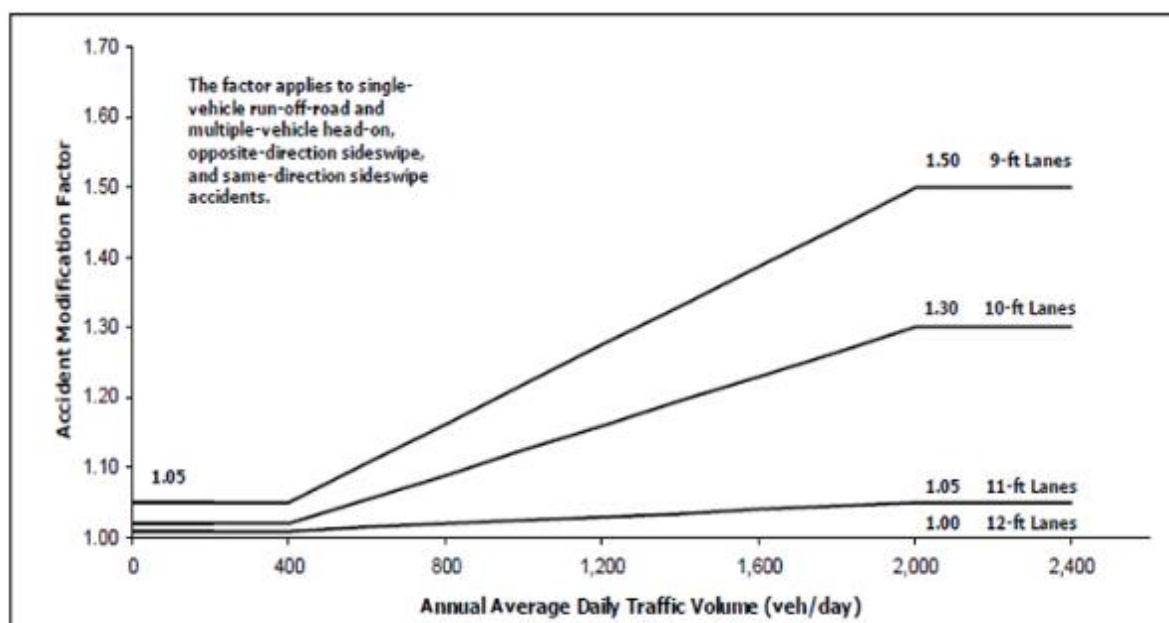
IMDA (veh/dia)			
Ancho de Carril	<400	400 a 2000	>2000
9 pies	1.05	$1.05 + 2.81 \times 10^{-4}(\text{IMDA} - 400)$	1.5
10 pies	1.02	$1.02 + 1.75 \times 10^{-4}(\text{IMDA} - 400)$	1.3
11 pies	1.01	$1.01 + 2.5 \times 10^{-5}(\text{IMDA} - 400)$	1.05
12 pies a mas	1	1	1

Nota. Fuente: Highway Safety Manual 2010. Cap. 10. Pg. 10-30. Adaptación: Propia

Para el incremento en anchos de la vía de 0.15 m que no se describen en la anterior tabla los valores pueden interpolarse ya que hay una transición lineal entre los diversos efectos de IMDA como se muestra en la siguiente figura.

Figura 37

Factor de modificación de accidentes para ancho de carril



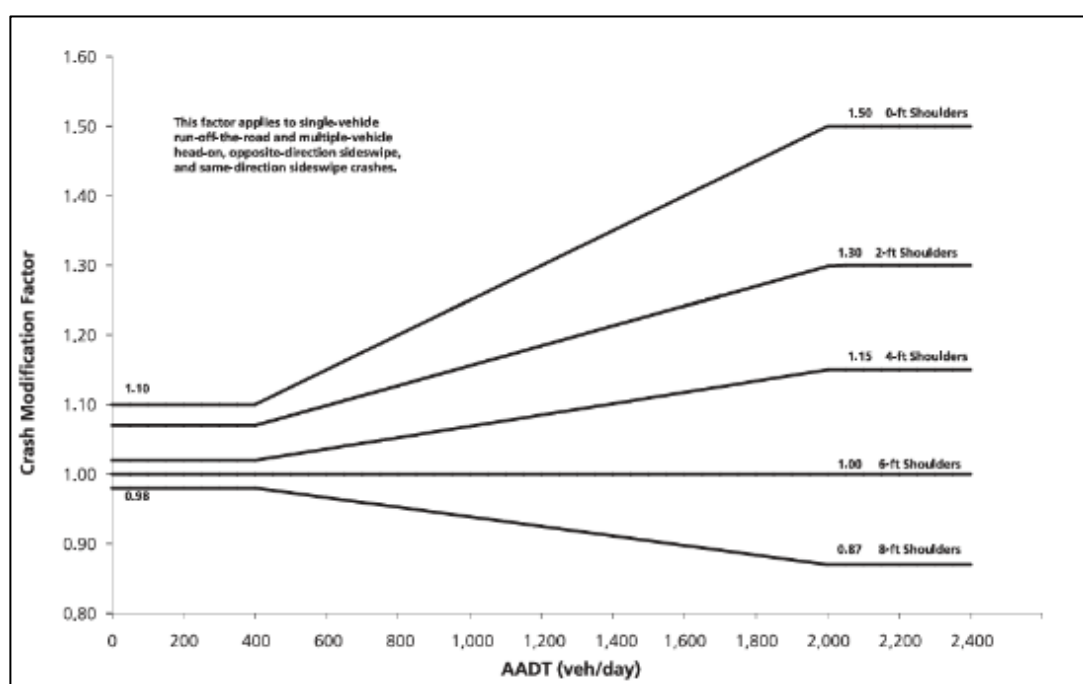
Nota. Fuente: Highway Safety Manual 2010. Cap. 10. Pg. 10-31.

3.2.9.4.2 Ancho y Tipo de Berma (FMA_2). El valor del FMA_2 para la berma se compone de dos valores; para el ancho de berma (FMA_{wra}) correspondiente a las condiciones base de 6 pies (1.83 m) asignándole un valor 1 y en cuanto a la condición del tipo de berma (FMA_{tra}) es pavimentada asignando un valor de 1 como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6*FMAwra – Ancho de Berma*

Ancho de Carril	IMDA (veh/dia)		
	<400	400 a 2000	>2000
0 pies	1.10	$1.10 + 2.50 \times 10^{-4}(\text{IMDA} - 400)$	1.50
2 pies	1.07	$1.07 + 1.43 \times 10^{-4}(\text{IMDA} - 400)$	1.30
4 pies	1.02	$1.02 + 8.125 \times 10^{-5}(\text{IMDA} - 400)$	1.15
6 pies	1.00	1	1.00
8 pies a mas	0.98	$0.98 + 6.875 \times 10^{-5}(\text{IMDA} - 400)$	0.87

Nota. Fuente: Highway Safety Manual 2010. Cap. 10.

Figura 38*Factor de modificaciones de accidentes para ancho de hombro*

Nota. Fuente: Highway Safety Manual 2010. Cap. 10. Pg. 10-32.

Tabla 7*FMA_{tra} tipo de hombro*

Tipo de hombro	Ancho de hombro (pie)						
Pavimento	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Grava	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02
Compuesto	1.00	1.01	1.02	1.02	1.02	1.04	1.06
Césped	1.00	1.01	1.03	1.04	1.05	1.08	1.11

Nota. Fuente: Highway Safety Manual 2010. Cap. 10. Pg. 10-33. Adaptación: Propia.

De las tablas mostradas se obtuvo las fórmulas para aplicar en la ecuación

Ecuación 5*FMA₂ Ancho y Tipo de hombro*

$$FMA_2 = (FMA_{wra} \times FMA_{tra} - 1.0) \times P_{ra} + 1.0$$

Donde:

- *FMA*: Factor de modificación de accidentes en relación ancho y tipo de la berma
- *FMA_{wra}*: Factor de modificación en relación con el ancho de berma.
- *FMA_{tra}*: Factor de modificación en relación con el tipo de berma
- *P_{ra}*: Proporción del total de accidentes relacionados a los datos locales o por defecto, tiene un valor de 0.574 según el H S M.

En caso de que el tipo y ancho de berma sean diferentes, la FMA se determina por separado para cada berma y los FMA resultantes se promedian para el resultado final.

3.2.9.4.3 Curvas Horizontales (*FMA₃*). La condición base para la alineación horizontal es un segmento de vía en tangente. Un FMA ha sido proyectado para representar como los

accidentes en perfiles rectos, difieren de las condiciones en alineaciones con curvas circulares. (HSM, 2010, pág. 424)

Para la curvatura horizontal se encuentra con la siguiente ecuación, el cual está en función de la longitud y el radio de la curva circular y la presencia o ausencia de transiciones espirales (HSM, 2010, pág. 425)

Ecuación 6

FMA para curvas horizontales

$$FMA_3 = \frac{(1.55 \times L_c) + \left(\frac{80.2}{R}\right) - (0.012 \times S)}{(1.55 \times L_c)}$$

Donde:

- FMA_3 = Factor de modificación de accidentes para el efecto de la alineación horizontal sobre accidentes totales.
- L_c = Longitud de la curva horizontal (millas) sobre accidentes totales.
- R = Radio de curvatura (pies). y S = Los valores se precisará en la siguiente tabla

Tabla 8

Factor S

S	Referencia
1	Si la curva presenta transición especial
0	Si la curva no cuenta con transición espiral
0.5	Si la curva cuenta con transición espiral en uno, pero no en ambos extremos

Nota. Fuente: Highway Safety Manual 2010. Cap. 10. Adaptación: Propia.

3.2.9.4.4 Peralte (FM_4). El FMA_4 para el peralte está dado por la diferencia de valores entre el peralte de diseño recomendado en el Libro Verde de AASHTO y el peralte real de la

curva. Si el peralte real coincide o es mayor al recomendado por el Libro Verde entonces el FMA es 1. Si no es el caso, el **FMA₄** se calcula mediante las siguientes ecuaciones mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 9

FMA₄ Peralte

FMA4 Peralte	
variación de Peralte	Ecuación
SV<1.0	FM4=1.00
0.01<=SV<0.02	FM4=1.00+6x(SV-0.01)
SV>=0.02	FM4=1.06+3x(SV-0.02)

Nota. Fuente: Highway Safety Manual 2010. Cap. 10. Pg. 10-35. Adaptación: Propia

Donde:

- SV = (ft / ft), que representa la varianza del peralte contenido en el Libro Verde de la AASHTO menos el peralte real de la curva.

La variación del peralte (SV en pie/pie) se calcula como la diferencia entre el peralte indicado en el Libro Verde de AASHTO menos el peralte real de la curva.

3.2.9.4.5 Pendiente Longitudinal (FMA₅). La condición base para la pendiente longitudinal del factor de modificación es una carretera generalmente de un terreno llano. Los FMA que se presentan en la tabla siguiente para cada segmento se someten a evaluación de forma individual sin importar el signo de cada pendiente. Los FMA para pendiente se aplican a toda la pendiente desde un punto de intersección vertical (PIV) hasta el siguiente (es decir, no se tiene en cuenta las curvas verticales). (HSM, 2010, pág. 426)

Tabla 10*Pendiente longitudinal*

Pendiente Aproximada (%)		
Terreno	Terreno	Terreno
Plano	Moderado	Escarpado (>6%)
(<=3%)	(3%<%<=6%)	
1.00	1.10	1.16

Nota. Fuente: Highway Safety Manual 2010. Cap. 10. Pg. 10-35. Adaptación: Propia

3.2.9.4.6 Densidad de Accesos (FMA_6). La condición base para la densidad de accesos es de cinco accesos por milla (3accesos/Km). El modelo para la condición base se estableció para carreteras con esta densidad de accesos. El FMA para la densidad de accesos se determina usando la siguiente ecuación: (HSM, 2010, pág. 427)

Ecuación 7 *FMA_6 densidad de accesos*

$$FMA_6 = \frac{0.322 + DD \times [0.05 - 0.005 \times \ln(IMDA)]}{0.322 + 5 \times [0.05 - 0.005 \times \ln(IMDA)]}$$

Donde:

- FMA_6 = Factor de Modificación de Accidentes para el efecto de la densidad de accesos.
- IMDA = Índice Medio Anual promedio de la carretera evaluada (veh/día).
- DD = Densidad de accesos considerando los accesos a ambos lados de la carretera (N° acceso/milla).

Si la densidad de accesos es menor de 5 accesos por milla, el FMA_6 es 1.00.

3.2.9.4.7 Banda Sonora Central (FMA_7). La banda sonora central se instala en la carretera para alertar a los conductores que involuntariamente atraviesan o comienzan a cruzar la línea central de la carretera. La condición base para la banda sonora central es la ausencia de esta. El valor de FMA para la presencia de la banda sonora es de 0.94, en caso de ausencia de esta el valor de FMA es 1.00.

Tabla 11

Condiciones de existencia en FMA_7

Existencia	
Si	0.94
No	1.00

Nota. Fuente: Highway Safety Manual 2010. Cap. 10. Pg. 10-36. Adaptación: Propia

3.2.9.4.8 Carril de Adelantamiento (FMA_8). La condición básica para este FMA_8 es la ausencia de un carril, este FMA se basa en el trabajo realizado por Harwood y St. John. Se dispone los siguientes valores para la existencia o no existencia de carriles de adelantamiento. En caso de que exista carril de sobrepaso en uno de los sentidos el FMA es 0.75 y si el carril de sobrepaso está en ambos sentidos el FMA es 0.65. Este valor no se usa cuando las secciones de la carretera sean de cuatro carriles.

Tabla 12*FMA8 Carril de adelantamiento*

Existencia		Observación
Si	0.75	Carril de adelantamiento en un sentido
Si	0.65	Carril de adelantamiento en ambos sentidos
No	1.00	No existe carril de adelantamiento

Nota. Fuente: Highway Safety Manual 2010. Cap. 10. Pg. 10-37. Adaptación: Propia

3.2.9.4.9 Carril para giro a la izquierda (FMA_9). La instalación de un carril central de giro a la izquierda en dos vías implica crear una sección transversal de tres carriles y la posible reducción de accidentes relacionados con las maniobras de giro. El FMA_9 tiene como condición base la carencia de esta; en caso de existir el carril para giro a la izquierda se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación 8.*FMA9 - Accidentes por carril de giro a la izquierda*

$$FMA_9 = 1.0 - (0.7 \times p_{\text{dwy}} \times p_{LT/D})$$

Donde:

- FMA_9 = Factor de modificación de accidentes para el efecto de los carriles de doble sentido de giro a la izquierda en los accidentes totales.
- p_{dwy} = Accidentes relacionados con aceras como proporción del total de accidentes.

- $p_{LT/D}$ = Accidentes de giro a la izquierda susceptibles de ser corregidos por un carril de giro a la izquierda en proporción de los accidentes relacionados con aceras.

El valor de p_{dwy} se puede estimar usando la siguiente ecuación:

Ecuación 9

Accidentes relacionados con aceras

$$p_{dwy} = \frac{(0.0047 \times DD) + (0.0024 \times DD^2)}{1.199 + (0.0047 \times DD) + (0.0024 \times DD^2)}$$

Donde:

- p_{dwy} = Accidentes relacionados con aceras como proporción del total de accidentes.
- DD = La densidad de accesos considerando accesos en ambos lados de la carretera (accesos / milla).
- El valor de $p_{LT/D}$ se estima en 0.5.

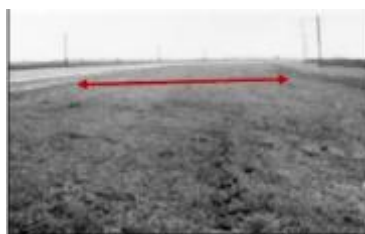
La ecuación antes presentada proporciona la mejor estimación del FMA para la instalación de un carril de giro a la izquierda que puede hacerse sin datos de los volúmenes vehiculares de giro a la izquierda.

La instalación de FMA para carriles de giro a la izquierda no se aplica a menos que la densidad de accesos sea mayor o igual a cinco accesos por milla. Si la densidad de accesos es menor de cinco accesos por milla, el valor de FMA para la instalación del carril de giro a la izquierda es 1.00

3.2.9.4.10 Índice de Riesgo (FMA_{10}). El nivel de diseño del borde de la carretera está representado por la calificación del índice de peligrosidad (RHR) de la carretera que va de un rango de 1 a 7 el cual fue desarrollado por Zegeer siendo 1 optimo y 7 pésimo.

Tabla 13

FMA10 - RHR: índice de Riego

Índice de Riesgo			
RHR	Descripción	Pendiente	Referencia
1	Zona libre mayor o igual a 30 pies o 9.144 metros	1V:4H	
2	Zona libre entre 20 a 25 pies o 6.096 a 7.62 metros	1V:4H	
3	Zona libre alrededor de 10 pies o 3.048 metros	1V:3H	
4	Zona libre entre 5-10 pies o 1.524-3.048 metros	1V:3H, incluyendo algunas consideraciones.	

RHR	Descripción	Pendiente	Referencia
5	Zona libre entre 5-10 pies o 1.524-3.048 metros	1V:3H, sin consideraciones.	
6	Zona libre inferior o igual a 5 pies o menores a 1.524 metros	1V:2H; sin consideraciones	
7	Zona libre menos de 5 pies o 1.524 metros	1V:2H o más empinado, sin consideraciones.	

Nota. Fuente: Highway Safety Manual 2010. Cap. 10. Adaptación: Propia

Esta interpretación de RHR servirá para indicar como parto en la ecuación siguiente:

Ecuación 10

FMA₁₀ índice de riesgo

$$FMA_{10} = \frac{e^{(*0.6869+0.0668 \times RHR)}}{e^{(-0.4865)}}$$

Donde:

- FMA_{10} = Factor de modificación de accidentes para el índice de peligrosidad.
- RHR = Índice de peligrosidad.

3.2.9.4.11 Iluminación (FMA_{11}). La condición base para la iluminación es la falta de esta en el segmento donde el FMA_{11} es igual a 1.00 y para segmentos con iluminación el FMA es calculado con la siguiente ecuación:

Ecuación 11

FMA₁₁ - Factor de modificación de accidentes por iluminación

$$FMA_{11} = 1.0 - [(1.0 - 0.72 \times p_{inr} - 0.83 \times p_{pnr}) \times p_{nr}]$$

Donde:

- FMA_{11} = Factor de modificación de accidentes para el efecto de la iluminación.
- p_{inr} = Proporción del total de accidentes nocturnos transcurridos en el tramo que involucren una muerte o lesión. (HSM recomienda usar el valor de 0.382)
- p_{pnr} = Proporción del total de accidentes nocturnos para personas sin luz. (HSM recomienda usar el valor de 0.618)
- p_{nr} = Proporción del total de accidentes en los tramos de carretera no iluminados que ocurren de noche. (HSM recomienda usar el valor de 0.370)

3.2.9.4.12 Velocidad Automatizada (FMA_{12}). Los diferentes sistemas automatizados de regulación de velocidad hacen uso del video o la identificación fotográfica sumado con el radar o los láseres para localizar conductores con exceso de velocidad. Estos sistemas registran automáticamente la información de identificación de cada vehículo aun sin contar con la presencia policial. La condición inicial base para la aplicación automática de la velocidad es que está ausente. El valor de **FMA_{12}** para el efecto de la regulación automatizada de la velocidad es de 0.93. (HSM, 2010, pág. 430).

3.2.9.4.13 Factor de Calibración (C). Las frecuencias de accidentes en tramos o intersecciones similares no son las mismas en diferentes lugares debido a las diferencias en el clima, cantidad de conductores, distintos tipos de registro de accidentes y también las formas en que se registran los accidentes. Por ello, para equilibrar estas diferencias se incluye un factor

de calibración de accidentes (C) que está en función de las condiciones locales y/o geografía del sitio en estudio. (HSM, 2010, pág. 745)

El factor de calibración C (en este caso, para segmentos de dos carriles inseparables) se obtiene como el cociente entre la sumatoria de la frecuencia de accidentes observadas para todos los segmentos de la muestra ($\Sigma N_{observado}$) y la sumatoria de la frecuencia de accidentes esperada ($\Sigma N_{esperado}$) en los mismos segmentos. (HSM, 2010, pág. 747)

Ecuación 12.

Factor de calibración

$$C = \frac{\Sigma N_{obs}}{\Sigma N_{esp}}$$

Para la obtención de la frecuencia de accidentes esperada N esperado para cada uno de los segmentos en estudio se calculan los FMA correspondientes y se asume un C igual a uno.

3.2.9.5 Método Empírico de Bayes (Método EB). El método empírico de Bayes (EB) se utiliza para combinar la estimación de un modelo predictivo con datos de accidentes observados para obtener una estimación más fiable de la frecuencia de accidentes promedio esperado.

El proceso que sigue el Método Empírico de Bayes es descrito por Agüero Valverde & Castro Estrada en su trabajo de “Aplicación del Método Bayes Empírico en Análisis de Seguridad Vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica – 2015.”. Este proceso se describe a continuación:

La Función de Desempeño de Seguridad (N_{FDS}) es calculada utilizando la Ecuación N° 2.

$$N_{FDS} = IMDA \times L \times 365 \times 10^{-6} \times e^{(-0.312)}$$

Una vez estimado el NFDS, el número predicho de accidentes ($N_{predicho}$) es estimado mediante la Ecuación N.º 1.

$$N_{predicho} = N_{FDS} \times (FMA1 \times FMA2 \times \dots \times FMA12) \times C$$

Seguido, se calcula lo que se conoce como ajuste por peso, que se refiere a la confiabilidad de la Función de Desempeño de Seguridad que se está utilizando. Si los parámetros de sobre dispersión son bajos, lo cual indica una mayor confiabilidad, entonces se tendrá un ajuste por peso más grande, que a su vez indica que la función de desempeño es más confiable. El peso se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 13

Ajuste por peso de Bayes (w).

$$w = \frac{1}{(1 + k/(N_{predicho}))}$$

Donde:

- w = Peso de Bayes empírico.
- k = Parámetro de sobre dispersión de la Función de Desempeño de Seguridad (FDS).

Finalmente, la frecuencia de choques esperados total ($N_{esperado}$) se calcula por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 14

Frecuencia de choques esperados.

$$N_{esperado} = w \times N_{predicho} + (1 - w) \times N_{observado}$$

Donde:

- w = peso de Bayes empírico.

➤ $N_{observado}$ = número de choques observados.

El paso siguiente consiste en calcular el exceso de frecuencia de choques esperado, que corresponde a la diferencia entre los estimados predichos y los estimados con el ajuste de Bayes empírico.

Ecuación 15

Exceso de Frecuencia de Choques Esperado

$$\Delta = N_{esperado} - N_{predicho}$$

Este exceso permite determinar los segmentos que presentan una frecuencia de choques esperada superior a la predicha, los cuales probablemente responderán de manera más favorable a las medidas de mitigación, dado que cuentan con un margen considerable que puede reducirse.

La Función de Desempeño de Seguridad vial se presenta en valor predicho de choques para segmentos con características similares al segmento en estudio. Luego con el peso de Bayes empírico se realiza la corrección por sesgo de regresión a la media, por lo que el valor esperado ($N_{esperado}$) es un valor intermedio entre la frecuencia observada ($N_{observado}$) y la frecuencia predicha por la función de desempeño ($N_{predicho}$). (Agüero Valverde & Castro Estrada, 2015)

3.2.9.6 Pasos para Desarrollar el Método Predictivo del HSM. Los pasos que se describen a continuación están explicados en el Highway Safety Manual (2010)

Paso 1: Definir los límites de la carretera y los segmentos de esta para los que se espera estimar la frecuencia media de choque, la gravedad y los tipos de colisión.

La delimitación de la calzada a analizar dependerá del tipo de estudio realizado. Este puede abarcar un solo segmento o un conjunto de segmentos consecutivos, según los objetivos del análisis (Herrera & Mandura, 2017, pág. 77).

Paso 2: Definir el período de interés.

El método predictivo puede aplicarse tanto a un periodo histórico como a uno futuro, considerando que todos los periodos se expresan en años. Los años para analizar se determinan según la disponibilidad de IMDA observados o proyectados, los registros de siniestros viales y la información del diseño geométrico. De este modo, el periodo de estudio puede comprender lo siguiente: (Herrera & Mandura, 2017, pág. 78)

- Un período pasado (basado en IMDAs observados)
- Un período futuro (basado en las IMDAs pronosticados)

Paso 3: Para el período de estudio, determine la disponibilidad de volúmenes de tráfico diarios promedios anuales y, para una red de carreteras existente, la disponibilidad de datos de choque observados para determinar si el Método EB es aplicable.

Los FDS utilizados en el Paso 9 (y ciertos FMA del Paso 10) requieren valores de IMDA expresados en vehículos por día. Para periodos históricos, el IMDA puede obtenerse a partir de registros automáticos o estimarse mediante encuestas de muestreo. En cambio, para periodos futuros, dicho volumen puede proyectarse empleando modelos de planificación del uso del suelo y de predicción del tránsito, o asumiendo que los volúmenes actuales permanecerán relativamente constantes.

Con frecuencia, no se dispone de datos de IMDA para todos los años del periodo de análisis. En esas situaciones, el IMDA correspondiente a los años faltantes debe calcularse aplicando métodos de interpolación o extrapolación, según corresponda. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 78)

Cuando se evalúa un sitio existente o se analizan condiciones alternativas del mismo, es necesario emplear el Método EB. Este método solo puede aplicarse si se cuenta con registros de accidentes observados que sean suficientes y confiables para el segmento vial en evaluación.

Para su adecuada utilización, se recomienda disponer de al menos dos años de datos de frecuencia de accidentes. Si no se cuenta con información de siniestros observados, no es posible ejecutar los pasos 6, 13 y 15 del método predictivo. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 78)

En este caso, la estimación de la frecuencia media de choque prevista se limita a utilizar un modelo predictivo (es decir, la frecuencia promedio de accidentes predichos). (Herrera & Mandura, 2017, pág. 78)

Paso 4: Determinar las características de diseño geométrico, características de control de tráfico y características del sitio para todos los segmentos en estudio.

Para identificar únicamente los datos necesarios y evitar recopilar información innecesaria, es fundamental entender los requisitos básicos de los FDS del Paso 9 y de los FMA del Paso 10. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 79)

Paso 5: Divida la red de carreteras o la vía en segmentos.

A partir de la información recopilada en el Paso 1 y el Paso 4, la vía se desagrega en sitios individuales conformados por segmentos homogéneos e intersecciones. La división en segmentos de menor longitud debe considerar que ningún tramo sea inferior a 0.10 millas, ya que esto reduce la carga de cálculo sin generar impactos significativos en los resultados. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 79)

Paso 6: Asignar accidentes observados a los segmentos individuales (si aplican).

El Paso 6 se ejecuta únicamente cuando, en el Paso 3, se ha determinado que corresponde aplicar el método EB específico del segmento. Si dicho método no es aplicable, se debe continuar directamente con el Paso 7. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 79)

Paso 7: *Seleccione el primer o siguiente segmento individual en la carretera de estudio.*

Si no hay más segmentos para ser evaluados, vaya al Paso 15.

Para cada segmento se identifican todas las características del diseño geométrico, los elementos de control del tránsito, los valores de IMDA y los registros de siniestros observados obtenidos en los Pasos 1 al 4. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 79)

El método predictivo del HSM proporciona la frecuencia promedio de accidentes estimada para toda la red analizada, obtenida como la suma de las predicciones de todos los segmentos individuales para cada año del periodo de estudio. Es importante señalar que este valor representa el número total de siniestros que se espera que ocurran en todos los segmentos durante el intervalo evaluado. Si se requiere expresar una frecuencia anual, este total puede dividirse entre el número de años considerados en el análisis. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 80)

Paso 8: Para el segmento seleccionado, seleccione el primer o el siguiente año en el período de interés. Si no hay más años para ser evaluados para ese segmento, proceda al Paso 15.

Los pasos del 8 al 14 deben ejecutarse nuevamente para cada segmento incluido en el análisis y para cada uno de los años que conforman el periodo de estudio. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 80)

Paso 9: Para el segmento seleccionado, determine y aplique la Función de Desempeño de Seguridad (FDS).

Los pasos 9 al 13, detallados a continuación, deben repetirse para cada año del periodo de evaluación como parte del análisis de cada segmento de la vía. Cada modelo predictivo del HSM incorpora una Función de Desempeño de Seguridad (FDS), la cual se ajusta a las

condiciones particulares del sitio mediante los Factores de Modificación de Accidentes (FMA_s) en el Paso 10, y posteriormente se adapta a las condiciones propias de la jurisdicción local en el Paso 11. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 80)

Paso 10: Multiplique el resultado obtenido en el Paso 9 por los FMA apropiados para ajustar la frecuencia de accidentes previstos (N_{FDS}) al diseño geométrico específico del sitio y características de control de tráfico. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 80)

Paso 11: Multiplicar el resultado obtenido en el Paso 10 por el factor de calibración apropiado.

Las FDS empleadas en el método predictivo fueron desarrolladas a partir de datos provenientes de jurisdicciones y periodos específicos. Por ello, es necesario calibrarlas para ajustarlas a las condiciones locales y así reflejar las diferencias existentes. Esta calibración se realiza mediante la aplicación de un factor de calibración (C) a cada FDS utilizada en el método predictivo. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 80)

Paso 12: Si hay otro año para ser evaluado en el período de estudio para el segmento seleccionado, regrese al Paso 8. De lo contrario, continúe con el Paso 13.

Este paso crea un bucle a través de los pasos 8 a 12 se repite para cada año del período de evaluación para el segmento seleccionado. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 81)

Paso 13: Aplicar el método EB específico del segmento (si corresponde).

El método EB de sitio específico combina la estimación del modelo predictivo de la frecuencia de choque media predicha, $N_{predicho}$, con la frecuencia de choque observada del sitio específico, $N_{observado}$. Esto proporcionó una estimación estadísticamente más fiable de la frecuencia media de choque prevista del sitio seleccionado. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 81)

Aplique el Método EB de segmento específico a un período de tiempo futuro, si es apropiado. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 81)

Paso 14: Si hay otro segmento a ser evaluado, regrese al Paso 7, de lo contrario, proceda al Paso 15.

Este paso crea un bucle para los pasos 7 a 13 que se repite para cada segmento de carretera. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 81)

Paso 15: Aplicar el método EB de la carretera (si el método EB específico del segmento no es aplicable)

Este paso es aplicable a las condiciones existentes cuando los datos de accidentes observados están disponibles, pero no se pueden asignar con precisión a segmentos específicos. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 81)

Paso 16: Sumar todos los segmentos y años en el estudio para estimar los accidentes totales o la frecuencia promedio de accidentes predichos.

El número total estimado de accidentes dentro de la red o límites de la carretera durante los años del período de estudio se calcula utilizando la siguiente ecuación: (Herrera & Mandura, 2017, pág. 81)

Ecuación 16.

Accidentes totales esperados

$$N_{\text{Total}} = \sum_{\text{segmentos de carretera}} N_{\text{esperado}}$$

Donde:

- N_{total} = número total esperado de accidentes dentro de los límites de la carretera de estudio para todos los años en el período de interés.

- $N_{esperado}$ = frecuencia media de choque prevista para un segmento de la carretera utilizando el método predictivo durante un año.

La ecuación anterior representa el número total previsto de accidentes que se estima se producen durante el período de estudio. La siguiente ecuación se utiliza para estimar la frecuencia total prevista de accidentes dentro de los límites de la red o de la instalación durante el período de estudio. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 82)

Ecuación 17.

Promedio de accidentes esperados en el periodo de estudio

$$N_{promedio\ total} = \frac{N_{total}}{n}$$

Donde:

- $N_{promedio\ total}$ = total de la frecuencia promedio de accidentes predicho estimada para ocurrir dentro de los límites definidos de la carretera durante el periodo de estudio.
- N = número de años en el período de estudio.

Paso 17: Determinar si hay un diseño, tratamiento o pronóstico alternativo de IMDA para ser evaluado.

Los pasos del 3 al 16 del método predictivo se aplican nuevamente, según corresponda, sobre los mismos límites de la carretera, pero considerando diseños geométricos alternativos, tratamientos propuestos, distintos periodos de análisis o valores de IMDA proyectados. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 82)

Paso 18: Evaluar y comparar los resultados.

El método predictivo permite obtener una estimación estadísticamente sólida de la frecuencia promedio de accidentes esperados dentro de los límites definidos de la vía, para un

periodo determinado, considerando las características geométricas, los elementos de control del tránsito y los valores de IMDA disponibles o estimados. (Herrera & Mandura, 2017, pág. 82)

3.3 Definición de Términos

3.3.1 Seguridad Vial

Orienta la disminución de niveles de siniestralidad vial mediante el perfeccionamiento de condiciones físicas de elementos que conforman la infraestructura de transporte, así como del ambiente que la rodea directo. El manual constituye un instrumento normativo que proporciona herramientas, procedimientos, metodologías y criterios vinculados con la Seguridad Vial, los cuales deben considerarse en las distintas fases de los proyectos de infraestructura vial a nivel técnico institucional (factibilidad, diseño preliminar, diseño definitivo, construcción, conservación, mantenimiento, operación y otros). (MSV, 2017).

3.3.2 Método predictivo.

Los modelos predictivos son una técnica estadística comúnmente utilizada para predecir comportamientos y resultados probables en el futuro (Sofia Cobos, 2023).

3.3.3 Manual de Carreteras DG – 2018

Se trata de un instrumento normativo destinado a sistematizar, compendiar métodos y procedimientos aplicables al diseño de la infraestructura vial, desde su concepción, planificación y ejecución, en función de parámetros establecidos. Incorpora la información técnica requerida para los distintos procesos involucrados en la formulación del diseño geométrico de los proyectos viales, según su clasificación y nivel de servicio, asegurando su coherencia con las disposiciones vigentes relacionadas con la gestión de la infraestructura vial. (MTC, 2018).

3.3.4 Deficiencias del Diseño Geométrico

Deficiencias o inconvenientes en diversos elementos del diseño geométrico, como la velocidad de diseño, el ancho de los carriles, la berma, los puentes, los alineamientos horizontal y vertical, la distancia de visibilidad, la pendiente, el peralte y la sección transversal.

3.3.5 Estación de Conteo

Hace referencia al punto donde se instalan uno o varios contadores vehiculares, ya sean manuales o automáticos, encargados de registrar el volumen de tránsito y otras características del flujo vehicular en ese lugar.

3.3.6 Factor De Modificación De Accidentes (FMA_s)

Factor de Modificación de Accidentes. Parámetro empleado para estimar el impacto que una medida de seguridad o contramedida tiene sobre la frecuencia de accidentes.

3.3.7 Factores de la Seguridad Vial

Los accidentes de tránsito son el resultado de diversos factores que pueden clasificarse en cuatro grupos principales: el comportamiento del conductor, el estado mecánico del vehículo, las condiciones geométricas de la vía y las características del entorno físico o climático donde se desarrolla la conducción.

3.3.8 Fórmula Predictiva

Ecuación predictiva. Expresión matemática elaborada para estimar la cantidad de accidentes que pueden ocurrir en una vía o intersección específica, considerando el volumen de tránsito y las características geométricas o de diseño del lugar. (HSM, 2010)

3.3.9 Sistema Global Navigation Satellite System (GNSS)

Acrónimo de Global Navigation Satellite System, utilizado para denominar al conjunto de sistemas de posicionamiento satelital e incluye a los actuales NAVSTAR-GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU.

3.3.10 Modelo Digital de Elevación (DEM)

Se define como una representación digital y continua de la superficie del terreno, expresada mediante valores de elevación referidos a un sistema de coordenadas determinado. Este modelo describe la variación altimétrica del área de estudio y se construye a partir de datos obtenidos mediante técnicas como la fotogrametría, el LiDAR o la teledetección (Lillesand et al., 2015).

3.3.11 Ortomosaico

Es un producto cartográfico obtenido a partir de la unión de múltiples imágenes aéreas que han sido corregidas geométrica y radiométricamente, de modo que cada píxel representa una posición real en el terreno. A diferencia de una fotografía convencional, el ortomosaico elimina las distorsiones causadas por la topografía y la perspectiva, permitiendo realizar mediciones precisas de distancias, áreas y coordenadas (Wolf & Dewitt, 2001).

3.3.12 Posicionamiento Estático Relativo o Diferencial

Determinación de las coordenadas de un punto, mediante el posicionamiento simultáneo de como mínimo dos receptores GNSS, donde uno de ellos ocupa una posición de coordenadas conocidas (Estación base).

3.3.13 Correlación Lineal

La correlación lineal es una medida estadística que indica el grado y la dirección de la relación lineal entre dos variables cuantitativas, es decir, cuánto cambia una variable en función

de la otra de manera proporcional. Su valor se expresa comúnmente mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r), el cual varía entre -1 y $+1$; valores cercanos a $+1$ indican una correlación positiva fuerte, valores cercanos a -1 una correlación negativa fuerte, y valores próximos a 0 indican ausencia de relación lineal significativa (Montgomery, Peck, & Vining, 2012).

IV. Metodología

4.1 Tipo y Nivel de Investigación

4.1.1 Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo de investigación de modo Descriptivo, ya que se detallará las propiedades y características relevantes de un fenómeno, que para el caso de la investigación será del tramo Curahuasi -Limatambo. Este tipo de estudio permite identificar tendencias dentro de un grupo o población, ya que se enfoca en medir o recopilar información sobre variables o conceptos de forma independiente o conjunta, sin buscar establecer relaciones causales entre ellos.

De acuerdo con Terrones (2016), el investigador busca brindar una descripción clara y precisa del hecho, fenómeno o problema analizado, con el propósito de identificar las causas que lo generan y las consecuencias que produce.

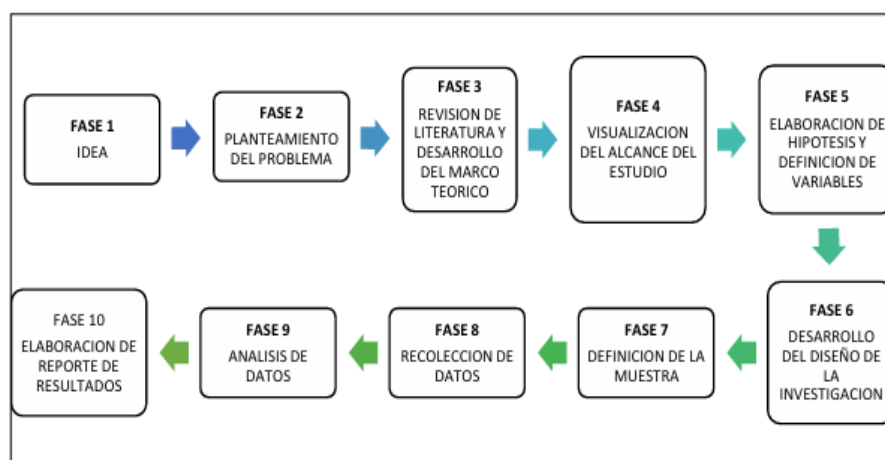
4.1.2 Nivel de Investigación

Por lo tanto, la presente investigación se clasifica como Cuantitativa, ya que se medirán los factores que influyen en la accidentabilidad del tramo comprendido entre el tramo Curahuasi-Limatambo. A partir del análisis de los datos obtenidos, se buscará comprobar la validez de las hipótesis planteadas. Asimismo, el enfoque cuantitativo permitirá formular propuestas de mejora en los puntos que presentan los mayores índices de siniestralidad vial.

Según el Libro Metodología de la Investigación de (Dr. Hernández Sampieri, Dr. Fernández Collado, & Dra. Baptista Lucio, 2010, pág. 4), donde menciona que: “el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías”.

Figura 39

Procedimiento de investigación cuantitativo



Nota. la figura presenta el orden correlativo del proceso cuantitativo de Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010), Metodología de la Investigación. México: McGraw-Hill

4.1.3 Diseño De Investigación

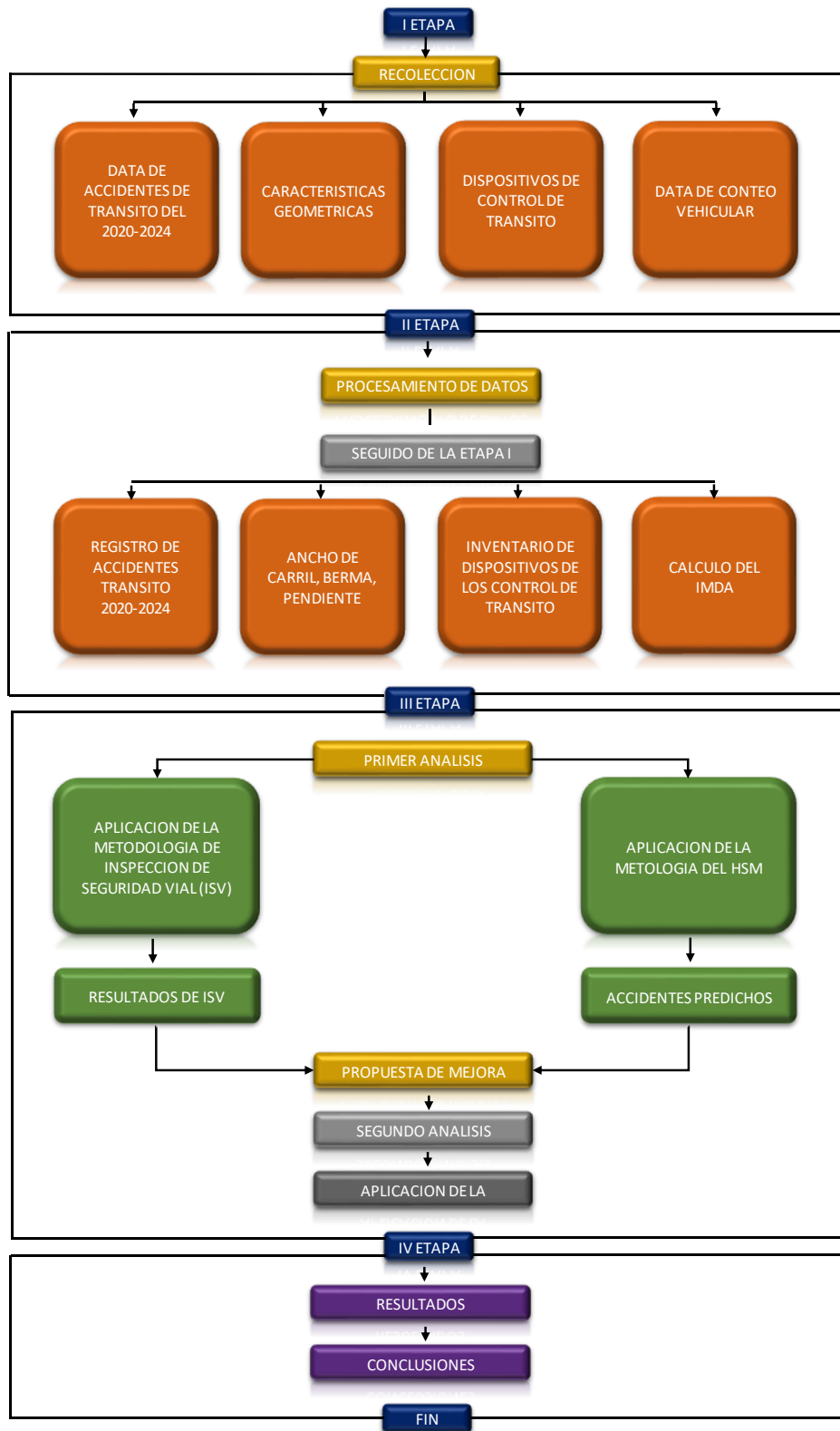
4.1.3.1 Diseño Metodológico. La presente investigación empleó un diseño *No Experimental* de tipo longitudinal en su fase inicial, en la cual se recopilaron datos de campo para analizarlos en función de las condiciones actuales de la vía, conforme a los lineamientos del (HSM). Posteriormente, se aplicó un diseño cuasi experimental, etapa en la que se modificaron diversas variables independientes relacionadas con las condiciones geométricas de la carretera, con el propósito de efectuar un segundo análisis de los Factores de Modificación de Accidentes (FMA) establecidos en el HSM. (Roberto & Christian, 2018).

4.1.3.2 Diseño de Ingeniería. El presente trabajo de investigación se estructuró en cuatro etapas principales con el fin de asegurar un desarrollo adecuado del estudio:

- En primer lugar, se recopiló información policial sobre la cantidad y tipo de accidentes de tránsito ocurridos durante los últimos cinco años (2020–2024), según la jurisdicción correspondiente. Posteriormente, se obtuvieron los datos de las características geométricas de la vía, tales como la longitud total, el ancho de carril, el número de sentidos, el ancho y tipo de bermas, las curvas, el peralte, la pendiente, el carril de adelantamiento y el carril de giro a la izquierda.
- Asimismo, se efectuó la verificación en campo de los dispositivos de control de tránsito, incluyendo la iluminación, la señalización horizontal y vertical, la densidad de accesos, la velocidad automatizada y la presencia de bandas sonoras, elaborándose un inventario vial y guías de observación.
- Del mismo modo, se recopiló el Índice Medio Diario Anual (IMDA) correspondiente al año actual donde se realizó un conteo vehicular en la vía durante un periodo de siete días, considerando la clasificación por tipo de vehículo y del año 2019 el dato se obtendrá de la tesis de Atauchí & Quispe. Finalmente,
- En segundo lugar, se procedió al procesamiento de los datos obtenidos en campo, utilizando los formatos establecidos para registrar la cantidad y tipo de accidentes de tránsito, las características geométricas de la infraestructura vial, los dispositivos de control de tránsito y el Índice Medio Diario Anual (IMDA).
- En tercer lugar, se llevó a cabo el análisis de toda la información procesada en la segunda etapa, con el fin de realizar la evaluación conforme a la Metodología de Inspección de Seguridad Vial establecida en el Manual de Seguridad Vial 2017 del MTC, así como un

primer análisis aplicando la Metodología del Highway Safety Manual (HSM) 2010, lo que permitió contrastar y comprobar las hipótesis planteadas en la investigación.

- Por último, se propusieron soluciones e intervenciones orientadas a mejorar la seguridad vial en la carretera PE-3S, tramo Curahuasi-Limatambo, procediéndose posteriormente a realizar un segundo análisis con los datos obtenidos a partir de dichas propuestas.
- Para culminar se obtienen los resultados y se formulan las conclusiones y recomendaciones de la investigación. Para un mejor entendimiento se realizó un flujograma sobre las etapas mencionadas.

Figura 40*Flujograma del Diseño de Ingeniería*

4.2 Ámbito Temporal y Espacial

4.2.1 Ámbito Temporal

El ámbito temporal de la presente investigación comprende el análisis de los registros de accidentes de tránsito emitidos por la Policía Nacional del Perú (PNP) correspondientes al periodo 2020–2024, los cuales constituyen la base para evaluar la siniestralidad del tramo en estudio. Asimismo, el análisis del flujo vehicular (IMDA) se delimita a los aforos realizados en el mes de septiembre del año 2025 en la estación “E1” Ccayrayoc y “E2” Carrizales ubicada en la trayectoria evaluada.

4.2.2 Ámbito Espacial

El ámbito espacial de la investigación se encuentra delimitado al tramo de la carretera nacional PE-3S perteneciente a la Red Vial Nacional Cusco - Abancay, específicamente entre los kilómetros 893+337 (Limatambo) y 848+683 (Curahuasi), ubicados dentro de las provincias de Anta (Región Cusco) y Abancay (Región Apurímac) se podrá observar en la Figura 108. Asimismo, la delimitación espacial incluye las jurisdicciones policiales vinculadas a la zona de estudio, correspondientes a las comisarías de Limatambo, Mollepata y Curahuasi, de las cuales se obtiene la información oficial sobre los accidentes de tránsito registrados en el tramo.

4.3 Población, Muestra y Muestreo

4.3.1 Población

4.3.1.1 Descripción de la Población. Tomamos como población el tramo en estudio que va desde Limatambo hasta Curahuasi y que forma parte del eje transversal de la Red Vial Nacional con un total de 32 tramos a lo largo de la carretera comprendida por de 44+654 kilómetros.

De acuerdo con Hernández-Sampieri & Mendoza (2018) “Conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (p.174). Teniendo en cuenta esta definición se considerará como población a la Red Vial Nacional con sus distintas codificaciones.

4.3.2 Muestra

4.3.2.1 Descripción de la Muestra. En el desarrollo de esta investigación se identificaron dos muestras a partir de las poblaciones consideradas: la primera muestra comprende la totalidad del recorrido de la carretera longitudinal PE-3S y la segunda muestra corresponde a los informes policiales relacionados con los accidentes de tránsito registrados en la carretera departamental PE-3S. Para la primera muestra se tomó en cuenta la extensión completa de la vía, siendo 44+654 km en análisis; mientras que, para la segunda muestra, se evaluaron los informes policiales sobre accidentes de tránsito correspondientes a los últimos cinco años (2020-2024) del tramo Curahuasi-Limatambo de la carretera longitudinal.

Tabla 14

Tramos de la carretera a evaluar.

TRAMO DE ESTUDIO	
LUGAR	PROGRESIVA
CUSCO-ANTA-LIMATAMBO	848+683
APURIMAC-ABANCAY-CURAHUASI	893+337
TOTAL	44.654 km

Nota. El tramo de estudio abarca la totalidad de la carretera evaluada, comprendida entre las progresivas 848+683 y 893+337, con una longitud total de 44.654 km. Por ello, las muestras analizadas representan el 100 % de la población objeto de estudio, garantizando que los resultados reflejen las condiciones reales del tramo evaluado.

4.3.3 Método de muestreo

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, esta investigación utilizó un método de muestreo no probabilístico, ya que las muestras pueden seleccionarse de manera aleatoria dentro de la población. Asimismo, se considera que el muestreo es integral, puesto que abarca toda la longitud de la vía analizada. Del mismo modo, se incluyen en el estudio los informes policiales correspondientes.

En las muestras probabilísticas, cada integrante de la población posee la misma probabilidad de ser seleccionado. Estas se determinan al establecer las características de la población y el tamaño de la muestra, realizando posteriormente una selección aleatoria o sistemática de las unidades de análisis (Hernández Sampieri, 2014, p. 176).

4.4 Técnicas e instrumentos recolección de datos

4.4.1 Técnicas de recolección de datos

Para ellos usaremos:

- a) Accidentalidad (Formato de accidentes de tránsito en el tramo estudiado).

Se utilizó la revisión documental como técnica de recolección de datos, a partir del análisis de los registros históricos de accidentes de tránsito ocurridos en el tramo de estudio. La información fue organizada en una tabla de accidentes de tránsito, la cual permitió sistematizar los datos según tipo de accidente, localización y periodo de ocurrencia.

- b) Factores geométricos (Formato de recolección de datos por segmento).

Para la obtención de las características geométricas de la vía se aplicó la observación directa y la medición, mediante el análisis segmentado del tramo de estudio. Los datos recolectados fueron registrados en una tabla de recolección de

datos por segmento, considerando parámetros como ancho de carril, ancho de berma, radio de curva y pendiente longitudinal.

c) Aforo vehicular (Formato de conteo vehicular).

El flujo vehicular fue determinado mediante la técnica de conteo vehicular, a través de aforos realizados en puntos estratégicos del tramo evaluado. La información obtenida fue registrada en una tabla de conteo vehicular, lo que permitió estimar el Índice Medio Diario Anual (IMDA).

d) Dispositivos de control de tránsito (Formato del del inventario vial)

Para la identificación y evaluación de los dispositivos de control de tránsito se empleó la observación sistemática y el inventario vial, registrando la presencia, estado y funcionamiento de señales verticales, señalización horizontal y otros elementos de seguridad. Los datos fueron organizados en una tabla de inventario vial.

e) Inspección de seguridad vial (Formato de lista de chequeo)

La evaluación de las condiciones de seguridad vial se realizó mediante la Inspección de Seguridad Vial (ISV), utilizando una lista de chequeo que permitió identificar factores de riesgo asociados al diseño geométrico, entorno de la vía y comportamiento del tránsito.

f) Highway Safety Manual 2010 (formatos de tablas)

Para el análisis de la seguridad vial se aplicó la técnica de modelación predictiva, empleando los procedimientos y formatos de tablas establecidos en el *Highway Safety Manual* (HSM, 2010). Estos formatos permitieron organizar la

información necesaria para el cálculo de las Funciones de Desempeño de Seguridad (FDS) y los Factores de Modificación de Choques (FMC).

4.4.2 Instrumentos de recolección de datos

La herramienta utilizada es la norma Americana del Manual de Seguridad Vial (HSM) de AASHTO (Asociación americana de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte) Adicionalmente, se requirió disponer de equipos e instrumentos de medición como:

- Hoja de formatos de las tablas, según HSM-C
- Formato de accidentes de tránsito (PNP)
- Lista de cheque, según el formato de ISV
- Conteo vehicular, según el formato del MTC

Y para la obtención de datos en campo los instrumentos fueron:

- Instrumentos de medición (Flexómetro).
- Instrumentos de ingeniería (Drone Matrice 4E Enterprise, Control remoto del drone Mavic 4E Enterprise, laptop de alta gama, cámara filmadora, softwares como Excel, Civil 3D, Agisoft Metashape, Leica Infinity y Global Mapper).

4.5 Procedimientos

4.5.1 Procedimiento de recolección de datos

4.5.1.1 Accidentabilidad

4.5.1.1.1 Datos utilizados en la prueba. La carretera Nacional en estudio contempla con 3 puestos policiales en toda la ruta PE-3S. Primero se realizó la solicitud a la a la comisaria de Limatambo, seguido se realizó con la comisaria de Mollepata. Por último, para Curahuasi si hizo por medio de una solicitud a “DITERPOL XVI Apurímac”, para la remisión de la cantidad de accidentes suscitados en el tramo de Curahuasi-Limatambo –durante los últimos cinco años (2020, 2021, 2022, 2023, 2024).

Figura 41

Comisaria de Limatambo



Nota. Fuente: fotografía propia (2025).

Figura 42

Comisaria de Mollepata



Nota. Fuente: fotografía propia (2025).

Figura 43

Comisaria de Curahuasi



Nota. Fuente: fotografía propia (2025).

4.5.1.1.2 Procedimiento. La información emitida de las comisarias y de división de estadística DITERPOL se procesa y filtra para así poder identificar de manera clara los accidentes suscitados en la vía en estudio.

4.5.1.1.3 Toma de datos. Para fines de la presente investigación se elaboró un formato específico orientado a recopilar los datos requeridos de la información remitida, denominado Formato de Accidentes de Tránsito, el cual permitió efectuar la clasificación de los accidentes correspondientes a años anteriores, para posteriormente realizar el registro de los eventos de tránsito, organizándolos en accidentes fatales y accidentes no fatales.

Figura 44

Solicitud de accidentes de tránsito a la PNP



Nota. Registro fotográfico obtenido durante la entrega de información de la PNP.

4.5.1.2 Factores geométricos. Los equipos utilizados fueron:

- GNSS (CHCNAV I93)
- Dron Matrice 4E
- Wincha
- Formato de datos geométricos

4.5.1.2.1 Procedimiento. Se tomaron datos en campo para un procesamiento de georreferenciación para luego hallar las dimensiones de carriles, bermas, sobrehanchos, etc. Los valores del diseño geométrico horizontal y vertical se decodificaron a través del software Autodesk Civil 3D donde:

Tabla 15

Segmentos para la carretera

Tramo N	Tramo de carretera
L	Tangente
CH	Curva horizontal

Nota: Los sufijos serán usados para la caracterización de segmentos de la carretera

4.5.1.2.2 Levantamiento fotogramétrico.

- **Primero**, se llevó a cabo la monumentación de las 5 placas de aluminio de aproximadamente cada 5 km de distancia entre cada punto. Además, se realizó la colocación de dianas o puntos de fotocontrol, que permitirán ajustar y georreferenciar con precisión la reconstrucción fotogramétrica.

Figura 45

Incrustación/Monumentación de BM-5

**Figura 46**

Incrustación/Monumentación de BM-4

**Figura 47**

Incrustación/Monumentación de BM-3

**Figura 48**

Incrustación/Monumentación de BM-2

**Figura 49**

Incrustación/Monumentación de BM-1



Nota. El cuadro de coordenadas de los “BMs” se muestra en el Anexo 4

Figura 50

Colocación de puntos de Fotocontrol/Dianas



Nota. Las imágenes de las dianas se colocaron con yeso y pintura en aerosol.

- **Segundo**, se empleó el equipo GNSS de marca CHCNAV modelo i93 para la toma de datos en las placas de aluminio y puntos de fotocontrol. En cada punto se instaló el equipo, dejando un tiempo adecuado de lectura para posteriormente procesar los datos obtenidos por el equipo.

Figura 51

Instalación de Equipo GNSS CHCAN I93



- **Tercero**, se procedió a la planificación del vuelo fotogramétrico, generando el plan de vuelo correspondiente que luego fue cargado en el dron.

Figura 52

Programación del plan de vuelo



Nota. La programación se hizo con el RC y el software DJPilot 2

- **Cuarto**, con el plan de vuelo establecido, se ejecutó el vuelo fotogramétrico utilizando el dron Matrice 4E, obteniendo las imágenes aéreas necesarias para el procesamiento.

Figura 53

Vuelo de dron Matrice 4E



Nota. Los vuelos se deben hacer en lugares despejados para poder despegar.

4.5.1.3 Aforo Vehicular

4.5.1.3.1 Equipos Utilizados. Uno de los datos importantes para analizar la seguridad vial en una carretera es conocer la cantidad y tipo de vehículos. Por ese motivo se usó:

- Cámara de filmadora
- Formato de conteo vehicular

Figura 54

Punto de estación Carrizales



Nota. Fuente: fotografía propia (2025).

Figura 55

Punto de estación Ccayrayoc



Nota. Fuente: fotografía propia (2025).

4.5.1.3.2 Procedimiento. En cuanto al volumen de tránsito vehicular de los años anteriores se considerará de la tesis de (Atauchi & Quispe) de la tesis “Análisis De La Influencia De Las Características Geométricas, Dispositivos De Control E Intensidad Del Tránsito En La Accidentabilidad De La Carretera Nacional Pe-3s Tramo Ancahuasi - Limatambo Según La Metodología De Inspección De Seguridad Vial Del MTC 2017 Y El Manual De Seguridad Vial HSM 2010”. Además del Boletín Informativo de Flujo Vehicular (INEI).

Dado que la vía en estudio no presenta un número elevado de accesos, se consideró establecer una estación por departamento. Como el tramo analizado atraviesa los departamentos de Cusco y Apurímac, se seleccionaron dos puntos de estación para la ejecución del conteo vehicular: el sector de Ccayrayoc, correspondiente al departamento de Apurímac, y el sector de Carrizal, correspondiente al departamento de Cusco.

Figura 56

Instalación de Cámara en Carrizales



Nota. Fuente: fotografía propia (2025).

Figura 57*Instalación de Cámara en Ccayrayoc**Nota. Fuente: fotografía propia (2025).*

4.5.1.3.3 Toma de Datos. Para calcular el número de vehículos que circulan diariamente en el tramo específico de una carretera durante un año, se lleva a cabo la medición diaria durante una semana, siguiendo los estándares y utilizando las ecuaciones ya mencionadas. Para ello, se extraen los datos de las grabaciones en las hojas con el formato de conteo vehicular.

4.5.1.4 Dispositivos de control de Tránsito y Entorno de Vía.

4.5.1.4.1 Equipos Utilizados. Para la realización del inventario vial de la carretera y su entorno se utilizaron los siguientes equipos:

- Cámara filmadora
- Formato para datos de los dispositivos de control de tránsito

4.5.1.4.2 Procedimiento. Para verificar y definir los dispositivos de control de tránsito de la carretera en estudio, primero se realizó la verificación in situ de forma visual (Se realizó el llenado de datos como la iluminación, bandas sonoras, señalización y entre otros), de la

misma manera se realizó un inventario vial en el que se registró los elementos presentes en la vía.

4.5.1.4.3 Toma de Datos. Se realiza el llenado de información de datos en los formatos mencionados, podemos observar los datos recolectados en campo. Se mostrará la recopilación de datos en el ítem de flujo vehicular.

Haciendo uso del formato presentado se registra todas las señalizaciones existentes, el tipo y la condición en la que se encuentra; además la superficie de rodadura y estado de transitabilidad; mostrando la fotografía actual del elemento vial.

4.6 Análisis de Datos

Para la presentación de datos, utilizando el software Microsoft Excel y AutoCAD Civil 3D se elaboraron tablas que muestran los resultados finales obtenidos mediante los métodos del ISV Y HSM. Además, se elaboraron grafico de barras, líneas y círculos estadísticos que ilustraron de manera gráfica los resultados proporcionados. Para el estudio e interpretación de los datos, se llevó a cabo el análisis de cuadrado de estadístico, cuyo objetivo era verificar la hipótesis propuesta en este caso, los factores geométricos, flujo vehicular y dispositivos de tránsito inciden significativamente en los accidentes de tránsito.

La estadística es considerada la ciencia encargada de la interpretación de los datos en base al uso de modelos matemáticos (Barreto, 2012).

4.6.1 Accidentabilidad

4.6.1.1 Procesamiento de Datos Obtenidos. Para el desarrollo de la presente tesis, se procesó la información proporcionada por la Policía Nacional del Perú (PNP), efectuando el filtrado de los registros de accidentes de tránsito correspondientes a la vía nacional PE-3S, tramo Curahuasi – Limatambo, en los últimos cinco años. Se analizó la siniestralidad vial fatal y no fatal por jurisdicción. Debido a la heterogeneidad en la información reportada por las tres comisarías, los datos fueron uniformizados en variables básicas, considerando la clasificación de accidentes en fatales y no fatales, así como su tipología: atropello, choque y volcadura.

4.6.2 Factores Geométricos

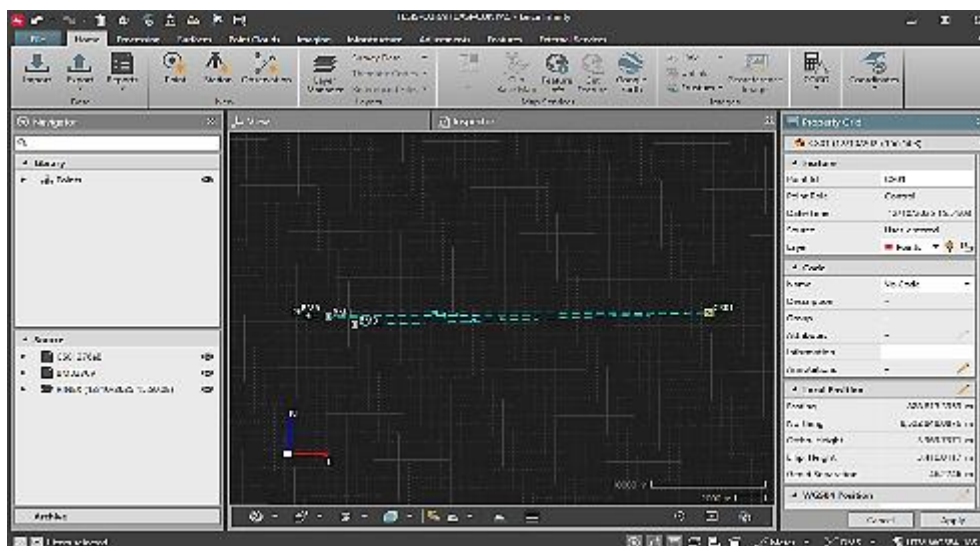
4.6.2.1 Procesamiento de Datos Obtenidos. Concluido el trabajo de campo, se procedió al procesamiento de la información en gabinete. En primer lugar, se realizó la corrección diferencial de los datos GNSS empleando información del Instituto Geográfico Nacional (IGN), utilizando como referencia la estación de rastreo permanente de Cusco (código CUS-01). Este procedimiento permitió mejorar la exactitud posicional de los puntos levantados, reduciendo errores sistemáticos propios de las observaciones satelitales. El procesamiento y ajuste de las observaciones GNSS se efectuaron mediante el software Leica Infinity, obteniéndose coordenadas finales consistentes con el sistema de referencia oficial.

Posteriormente, se llevó a cabo el procesamiento fotogramétrico de las imágenes obtenidas, utilizando el software Agisoft Metashape. En esta etapa se realizó la alineación de imágenes y la generación de la nube de puntos y del modelo del terreno, integrando la información geoespacial previamente corregida. Como resultado, se generaron los principales productos fotogramétricos, tales como el Ortomosaico georreferenciado, el Modelo Digital de

Elevaciones (DEM) y las curvas de nivel, los cuales constituyen insumos fundamentales para el análisis topográfico del área de estudio.

Figura 58

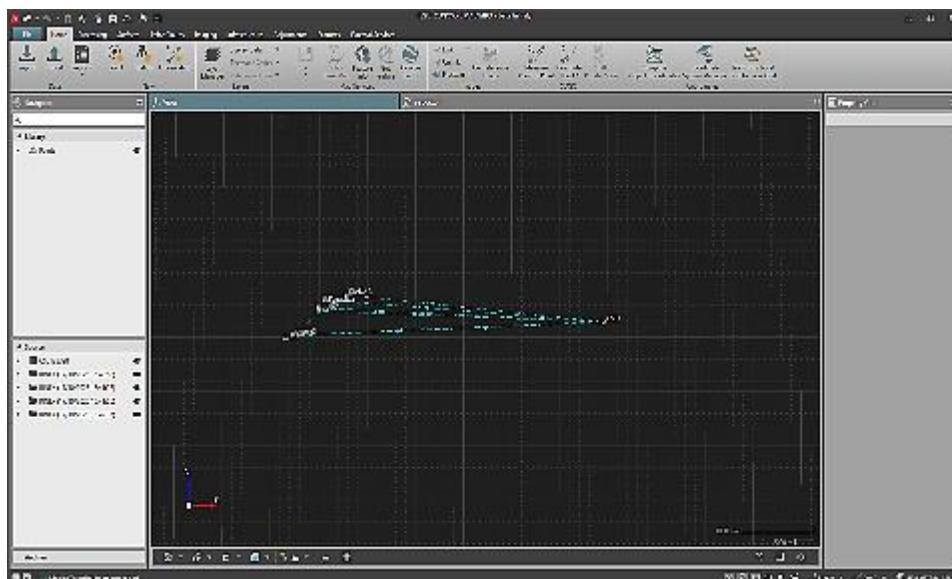
Procesamiento de líneas base Tramo Curahuasi-Puente Cunyac



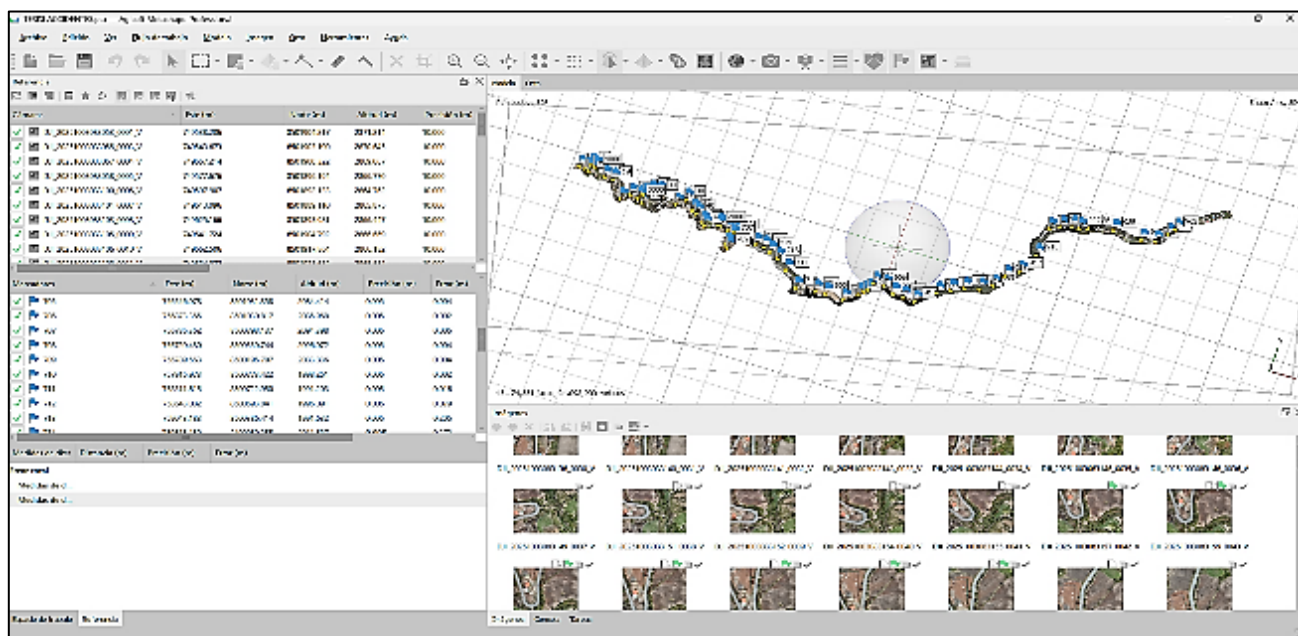
Nota: El procesamiento de líneas base con el software Leica Infinity (2025).

Figura 59

Procesamiento de líneas base Tramo Puente Cunyac-Limatambo



Nota: El procesamiento de líneas base con el software Leica Infinity (2025).

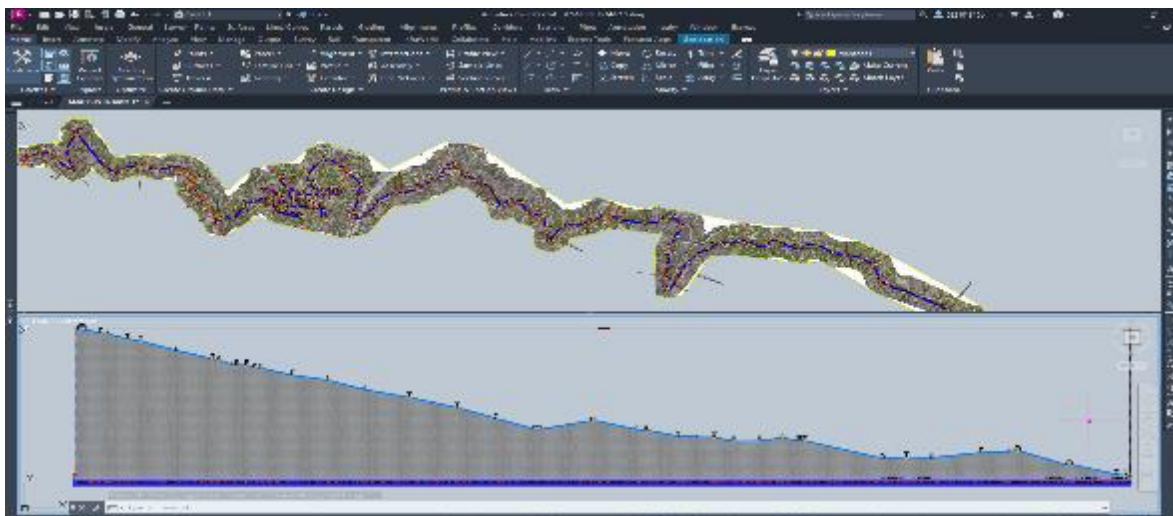
Figura 60*Procesamiento de 4187 Imágenes Georreferenciadas*

Nota: El procesamiento de las 4187 imágenes georreferenciadas se realizó con el software Agisoft Metashape Professional (2025).

- **Finalmente**, Debido al gran volumen de datos generados durante el procesamiento, estos fueron transferidos al software Global Mapper, con la finalidad de facilitar su visualización, gestión y análisis espacial. En este entorno se realizó la depuración, organización y preparación de la información geoespacial, optimizando su manejo para las etapas posteriores. Posteriormente, los datos procesados fueron exportados al software AutoCAD Civil 3D, donde se desarrolló el dibujo planimétrico de la vía, incorporando sus principales componentes geométricos, tales como alineamientos, curvas y elementos asociados, los cuales sirvieron como base para el análisis geométrico del tramo en estudio

Figura 61

Ortofoto cargada al software AutoCAD Civil 3D



Nota: El procesamiento para la determinación de los factores geométricos se realizó mediante la elaboración del dibujo planimétrico y altimétrico (perfil longitudinal) de la vía, a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM) y la ortofoto georreferenciada. Este procedimiento se llevó a cabo utilizando el software AutoCAD Civil 3D (2025), donde se definieron los alineamientos y elementos geométricos correspondientes. Posteriormente, una vez completado el trazado planimétrico, la información geométrica obtenida fue exportada a tablas en formato Excel, lo que permitió sistematizar los parámetros geométricos. Estos datos extraídos constituyen insumos fundamentales para la aplicación del Highway Safety Manual (HSM), específicamente para el análisis de seguridad vial y la estimación de la accidentabilidad del tramo en estudio.

4.6.2.1.1 Toma de Datos. La información recolectada se tiene registrada en el ítem de factores geométricos. Además, en el levantamiento fotogramétrico se tomó las medidas de

prevención para garantizar la seguridad (uso de chalecos) para evitar de posibles accidentes viales.

Figura 62

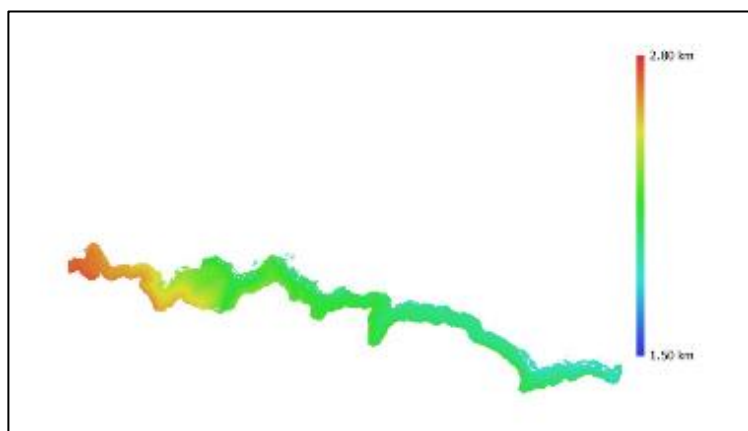
Equipo de trabajo



Nota. Equipo de trabajo para el tramo de estudio

Figura 63

Generación del Modelo Digital de Elevación (MDE)



Nota. El color rojo representa la altitud máxima de elevación y el color azul la altitud mínima del tramo de estudio

4.6.2.2 Estudio de Diseño Geométrico. Se clasifica por:

a) Clasificación por demanda.

Es necesario identificar el flujo de vehículos ligeros y pesados, tanto en sentido de ingreso como de salida, en los distritos de Curahuasi y Limatambo. Para ello se usará como base en el IMDA obtenido. La carretera evaluada se clasifica como una carretera de segunda clase, conforme a los criterios establecidos en la normativa vigente.

b) Clasificación por orografía.

Una vez interpolado y generado las curvas de nivel de nuestra superficie, se procedió a evaluar las pendientes transversales de la vía actual. Los resultados indican que, conforme a la configuración orográfica del terreno, dichas pendientes exceden el 51 %, lo que permite categorizar el sector como zona accidentada tipo III.

Figura 64

Zona montañosa



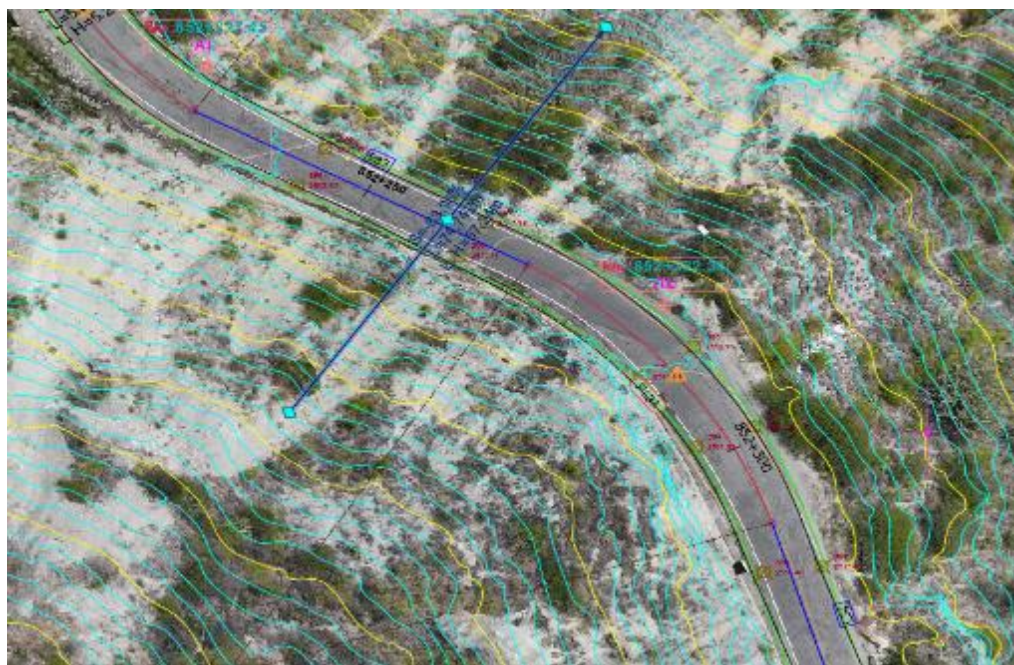
A lo largo de la vía se trazaron múltiples pendientes transversales con el fin de obtener un valor representativo mediante el promedio de todas ellas. Se identificaron sectores donde las pendientes transversales “S”, superan los 80 grados, lo cual correspondería a una zona escarpada

tipo IV, dado que la normativa clasifica como tal a los ángulos mayores a 45 grados. Sin embargo, al considerar el promedio general de las pendientes obtenidas, el tramo se clasifica como zona accidentada tipo III, categoría en la que las pendientes transversales se encuentran entre el 51 % y el 100 %, conforme a lo establecido en la DG-2018.

La figura siguiente presenta un ejemplo de la pendiente transversal de la carretera existente en vista en planta.

Figura 65

Pendiente de 83 %



Nota. Trazo de sección transversal en el segmento L33 con resultado de $S=83.56\%$

I. Velocidad de diseño

De acuerdo con la demanda de tránsito actual, la vía se clasifica como una carretera de segunda clase y considerando su orografía, corresponde a una zona accidentada tipo III. En consecuencia, los valores de velocidad de diseño se encuentran dentro del rango de 50 km/h, 60

km/h y 70 km/h. Sin embargo, al analizar las longitudes de las tangentes presentes en el trazado en planta de la carretera existente, se determina que la velocidad más adecuada para el diseño es 50 km/h.

Figura 66

Velocidad de diseño de 50 km/h - DG 2018

CLASIFICACIÓN	OROGRAFÍA	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO VTR (km/h)										
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Autopista de primera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Autopista de segunda clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de primera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de segunda clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de tercera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											

Nota. La carretera es tiene una velocidad de diseño de acuerdo con el manual de diseño geométrico 2018 del MTC.

En el análisis del estudio de tráfico se evidencia una presencia significativa de vehículos pesados circulando por la vía. Esta condición influye directamente en las maniobras que dichos vehículos requieren al desplazarse por curvas horizontales, especialmente en lo referente al espacio adicional necesario para evitar invasiones de carril.

Por tal motivo, y en lugar de considerar un vehículo tipo específico, se opta por emplear la ecuación 18 de sobreechancho, la cual permite determinar de manera más precisa el valor del

sobreancho requerido, tomando como base la proporción de vehículos pesados registrada en el aforo y las características operativas propias de este tipo de unidades.

Ecuación 18

Ecuación de sobreancho

$$Sa = n \left(R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) + \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

II. Radio mínimo

Para la determinación del radio se examinan las fuerzas que actúan sobre un vehículo al ingresar a una curva con un peralte máximo. Estas fuerzas corresponden a la fuerza centrífuga, la fuerza de fricción y la fuerza normal, la cual es perpendicular al peso del vehículo. El radio mínimo depende de parámetros tales como la velocidad de diseño, el peralte máximo y el coeficiente de fricción transversal por rotación. Se consideran los siguientes parámetros:

Ecuación 19

Fórmula de Radio mínimo

$$R_{min} = \frac{Vd^2}{127(p_{max} + uf_{max})}$$

Como condición base tenemos la velocidad de 50 km/h con p% max de 12% y con coeficiente de fricción máxima de 0.15 (adimensional).

$$R_{min} = \frac{50^2}{127(12\% + 0.16)}$$

Tendremos como condición base $R_{min} = 70.304 \text{ m} \cong 70 \text{ m}$.

El radio mínimo presenta una relación inversamente proporcional tanto al peralte máximo como al coeficiente de fricción transversal. En otras palabras, a medida que el radio de la curva aumenta, los valores requeridos de peralte y de fricción transversal disminuyen.

4.6.3 Aforo Vehicular

4.6.3.1 Procesamiento de Datos Obtenidos.

a) Volumen de Tránsito del Año 2025

Para el cálculo del volumen de tránsito en la situación actual (año 2025), se procesaron los datos obtenidos del conteo y la clasificación vehicular realizados en campo durante el periodo comprendido entre el 5 y el 22 de setiembre del presente año.

Para la realización del método predictivo del Highway Safety Manual es necesario conocer el IMDA de los años 2020 hasta el 2025, teniendo en cuenta que ya se tiene los datos reales del tráfico vehicular de la de la tesis de Atauchí y Quispe, el cual nos facilitara hacer la interpolación y proyección del IMDA.

Para ello usaremos la siguiente ecuación:

Ecuación 20.

Índice Medio Diario Anual

$$IMDA = IMDS \times Fc$$

Ecuación 21.

Índice Medio Diario Semanal

$$IMDS = \left(\frac{\sum Vi + Vs + Vd}{7} \right)$$

Donde:

IMDA = Índice medio diario anual

IMDS = Índice medio diario semanal

V_i = Volumen vehicular diario de los 5 días de la semana (Lunes, Martes, Miércoles, Jueves y Viernes)

V_s = Volumen vehicular diario proveniente del día Sábado.

V_d = Volumen vehicular diario proveniente del día Domingo.

F_c = Factor de corrección estacional

El factor de corrección estacional (F_c), se aplica con el propósito de eliminar la influencia de variaciones externas que puedan alterar la cuantificación del tránsito. Este factor depende tanto del mes en que se ejecuta el aforo como de la estación de monitoreo más cercana al tramo analizado. Para el presente estudio, corresponde utilizar los valores de la estación de “Ccasacancha” (antes denominada estación Huillque), los cuales se presentan en la Tabla 16. Dichos datos son proporcionados por Provías Nacional.

Tabla 16

Factor de Corrección de vehículos pesados y livianos

Estación: Ccasacancha ex Huillque	
Mes del aforo: Setiembre	
F.C.E. Vehículos ligeros:	0.908100
F.C.E. Vehículos pesados:	0.955500

Nota. Fuente: Factores de corrección promedio para vehículos pesados 2010- 2020 -

Aplicativo de la Guía Simplificada de Caminos Vecinales –MTC

4.6.4 Dispositivos de Control y Entorno de Vía

4.6.4.1 Procesamiento de Datos Obtenidos. Para el análisis de los dispositivos de control de tránsito y del entorno de la vía, se emplearon registros obtenidos mediante una cámara de vigilancia, lo que permitió contar con una visión amplia y continua del tramo evaluado. Esta información fue complementada con el Ortomosaico generado a partir del procesamiento fotogramétrico, el cual facilitó la identificación precisa de las progresivas a lo largo de la carretera.

A partir de esta información integrada, se realizó la segmentación del tramo de estudio, permitiendo identificar y registrar las características correspondientes a cada segmento, tales como el tipo de superficie de rodadura, el ancho del carril, el ancho de berma y la presencia de accesos. Estos datos fueron sistematizados y utilizados como insumo para la evaluación del entorno vial y su influencia en la seguridad del tramo analizado.

4.6.5 Highway Safety Manual (HSM)

Una vez determinadas las características geométricas de la carretera y calculado el IMDA, se procede a realizar la evaluación integral del tramo empleando los indicadores de la Lista de Chequeo establecidos en el Manual de Seguridad Vial. Posteriormente, se aplica el método predictivo del HSM para estimar el nivel de seguridad operacional de la vía.

4.6.5.1 Procesamiento de Datos Obtenidos. El modelo predictivo del Highway Safety Manual (HSM) permite realizar un análisis cuantitativo de la seguridad vial en carreteras existentes. En esta investigación se empleó la formulación correspondiente a vías rurales bidireccionales de dos carriles, cuya ecuación general estima el número de accidentes esperados por segmento. Debido a que el HSM fue desarrollado en Norteamérica, las variables medidas en el Sistema Internacional fueron previamente convertidas a unidades del sistema inglés antes de efectuar los cálculos.

El método predictivo del HSM se aplicó considerando las funciones de desempeño de seguridad (FDS) y los factores multiplicativos de ajuste (FMA). Con fines ilustrativos, el procedimiento se desarrolló inicialmente en dos tramos representativos: el tramo L-1 en tangente y el tramo Ch-1 en curva, a fin de mostrar la aplicación de las fórmulas. Posteriormente, la metodología se extendió al conjunto de los 32 tramos del área de estudio.

Asimismo, se incorporó el factor de calibración para un primer análisis es de 1 para adecuar los modelos del HSM a las condiciones locales. Finalmente, con la información del período 2020–2024, se aplicó el método Empírico de Bayes, obteniéndose estimaciones más confiables de la frecuencia esperada de accidentes, las cuales permiten identificar tramos críticos y sustentar propuestas de mejora en seguridad vial.

Como parte final se obtiene el factor de calibración, seguido una evaluación para el segundo análisis, donde se propondrá mejoras para la seguridad vial y ver resultados comparativos de cuantos accidentes se reducen con la nueva propuesta.

V. Resultados y Discusión

5.1 Resultados

5.1.1 Accidentalidad

Una vez obtenidos los registros de accidentes de tránsito proporcionados por la base de datos de la PNP, la información fue depurada, ordenada y sistematizada con el fin de garantizar su consistencia y confiabilidad. Posteriormente, los datos fueron clasificados de acuerdo con las jurisdicciones policiales correspondientes al tramo de estudio, permitiendo una adecuada delimitación espacial de los eventos registrados.

A continuación, se mostrará los resultados obtenidos y clasificados por jurisdicción.

a. Accidentes viales – Jurisdicción de Curahuasi

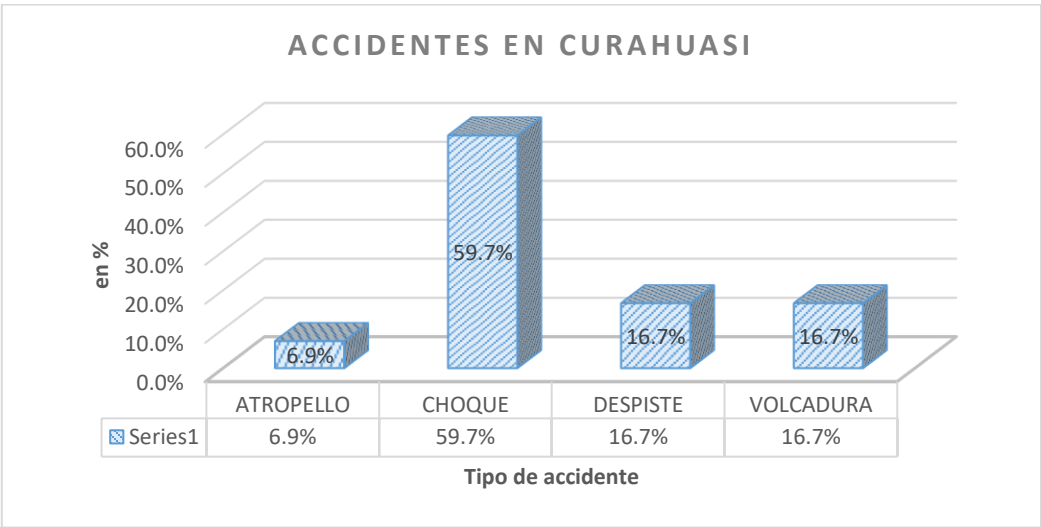
Figura 67

Accidentes de tránsito del año 2020-2024 de la jurisdicción de Curahuasi

ACCIDENTES DE TRANSITO REGISTRADOS EN LA COMISARIA DE CURAHUASI TRAMO CENTRO POBLADO CURAHUASI AL PUENTE CUNYAC												
	NO FATAL					FATAL						
TIPO/SUB TIPO/ MODALIDAD	2020	2021	2022	2023	2024	2020	2021	2022	2023	2024	TOTAL	
ATROPELLO	1	0	2	0	1	0	0	0	0	1	5	
ACCIDENTES DE TRANSITO	1	0	2	0	1	0	0	0	0	1	5	
ATROPELLO	1	0	2	0	1	0	0	0	0	1	5	
ATROPELLO Y FUGA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CHOQUE	15	8	0	6	13	0	0	0	1	0	43	
ACCIDENTES DE TRANSITO	15	8	0	6	13	0	0	0	1	0	43	
CHOQUE	14	7	0	2	6	0	0	0	1	0	30	
CHOQUE CON DAÑOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CHOQUE CON DAÑOS MATERIALES Y LESIONES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CHOQUE FRONTAL	0	1	0	1	4	0	0	0	0	0	6	
CHOQUE LATERAL	1	0	0	3	3	0	0	0	0	0	7	
CHOQUE MULTIPLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CHOQUE POR ALCANCE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CHOQUE POR RASPADA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CHOQUE Y FUGA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
DESPISTE	0	7	2	2	0	1	0	0	0	0	12	
ACCIDENTES DE TRANSITO	0	7	2	2	0	1	0	0	0	0	12	
DESPISTE	0	3	2	1	0	1	0	0	0	0	7	
DESPISTE CON DAÑOS MATERIALES	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
DESPISTE CON LESIONES	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
VOLCADURA	3	0	0	2	7	0	0	0	0	0	12	
ACCIDENTES DE TRANSITO	3	0	0	2	7	0	0	0	0	0	12	
VOLCADURA CON DAÑOS MATERIALES	2	0	0	2	7	0	0	0	0	0	11	
VOLCADURA CON LESIONES	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
VOLCADURA CON RESULTADO FATAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
VOLCADURA CON RESULTADO FATAL Y LESIONES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
VOLCADURA TONEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL GENERAL	19	15	4	10	21	1	0	0	1	1	72	
TOTAL EN PORCENTAJE	26%	21%	6%	14%	29%	1%	0%	0%	1%	1%	100%	

Figura 68

Tipos de accidentes de tránsito-Curahuasi



Nota. Accidentes del sector de Curahuasi de los años 2020-2024

A partir de la información proporcionada por la PNP de la jurisdicción de Curahuasi se elaboró la Figura 67, donde se detalla la cantidad de accidentes registrados en los años 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024, según el tipo de siniestro ocurrido en la carretera, además del porcentaje correspondiente a cada categoría. De este análisis se identifica que los choques, tanto fatales como no fatales, son los eventos más recurrentes, alcanzando un total de 72 casos.

Figura 69

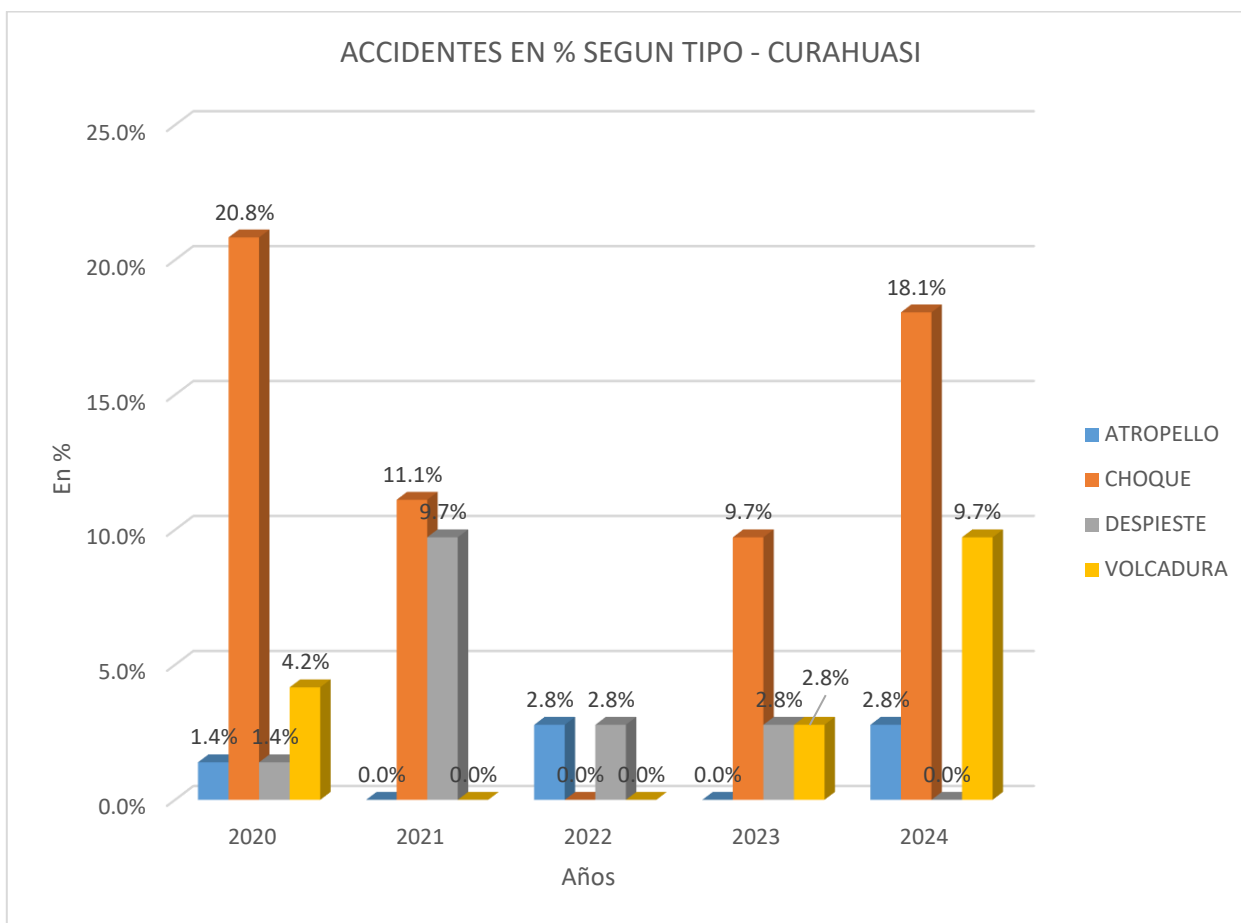
Tipo de accidentes de tránsito entre los años 2020 a 2024 - Curahuasi.

TIPOS DE ACCIDENTE		ATROPELLO		CHOQUE		DESPIESTE		VOLCADURA	
TOTAL DE FATALES Y NO FATALES =72	AÑO	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
	2020	1	1.4%	15	20.8%	1	1.4%	3	4.2%
	2021	0	0.0%	8	11.1%	7	9.7%	0	0.0%
	2022	2	2.8%	0	0.0%	2	2.8%	0	0.0%
	2023	0	0.0%	7	9.7%	2	2.8%	2	2.8%
	2024	2	2.8%	13	18.1%	0	0.0%	7	9.7%
TOTAL DE ACCIDENTES EN %		5	6.9%	43	59.7%	12	16.7%	12	16.7%

Nota. Los accidentes de tránsito más frecuentes en Curahuasi son por choque con 59.7%.

Figura 70

Accidentes de tránsito en Curahuasi según su tipo entre los años 2020-2024



Nota. Los accidentes en tramo de Curahuasi fueron en el año 2020 por accidentes de choque llegando a un 20.8% y los más bajos con atropello en el año 2021 y 2022 con 0% al igual que volcadura.

La Figura 69 presenta el desglose de la información mostrada en la Figura 67, registrando los tipos de accidentes fatales y no fatales ocurridos en el distrito de Curahuasi durante cada uno de los años del periodo 2020-2024.

En la figura 70 se muestra un gráfico comparativo de los accidentes según su clase entre los años 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024.

b. Accidentes viales – Jurisdicción de Mollepata.

Figura 71

Accidentes de tránsito del año 2020-2024 de la jurisdicción de Mollepata

ACCIDENTES DE TRANSITO RESGISTRADOS EN LA COMISARIA DE MOLLEPATA TRAMO RIO BLANCO-CUNYAC											
ACCIDENTES DE TRANSITO	NO FATAL					FATALES					
TIPO/SUB TIPO/ MODALIDAD	2020	2021	2022	2023	2024	2020	2021	2022	2023	2024	TOTAL
ATROPELLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACCIDENTES DE TRANSITO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ATROPELLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ATROPELLO Y FUGA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHOQUE	0	0	2	1	1	0	0	0	1	6	11
ACCIDENTES DE TRANSITO	0	0	2	1	1	0	0	0	1	6	11
CHOQUE	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	3
CHOQUE CON DAÑOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHOQUE CON DAÑOS MATERIALES Y LESIONES	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	7
CHOQUE FRONTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHOQUE LATERAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHOQUE MULTIPLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHOQUE POR ALCANCE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHOQUE POR RASPADA	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
CHOQUE Y FUGA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DESPISTE	0	1	1	2	3	0	1	1	0	0	9
ACCIDENTES DE TRANSITO	0	1	1	2	3	0	1	1	0	0	9
DESPISTE	0	1	0	2	3	0	0	0	0	0	6
DESPISTE CON DAÑOS MATERIALES	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2
DESPISTE CON LESIONES	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
VOLCADURA	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
ACCIDENTES DE TRANSITO	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
VOLCADURA CON DAÑOS MATERIALES	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
VOLCADURA CON LESIONES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VOLCADURA CON RESULTADO FATAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VOLCADURA CON RESULTADO FATAL Y LESIONES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VOLCADURA TONEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL GENERAL	0	1	3	3	5	0	1	1	1	6	21
TOTAL GENERAL	0	1	3	3	5	0	1	1	1	6	21
TOTAL EN PORCENTAJE	0%	5%	14%	14%	24%	0%	5%	5%	5%	29%	100%

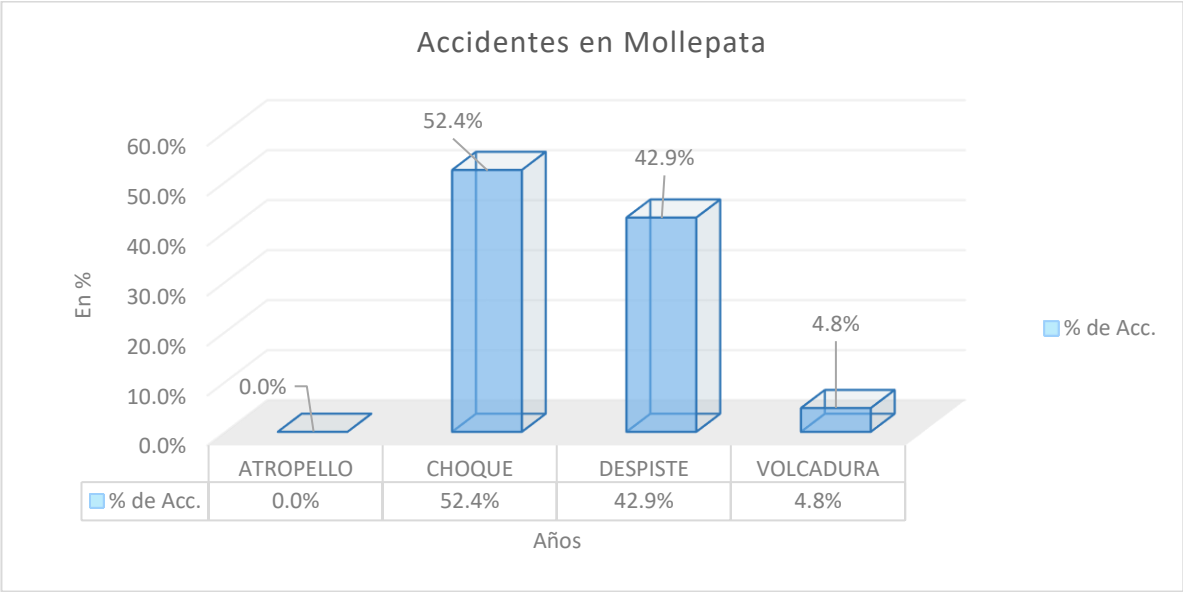
Nota. se hizo un filtrado de información emitida por la PNP, donde se obtuvo un total de 21

accidentes de tránsito entre fatal y no fatal en el tramo de Mollepata, donde accidentes por

choque se obtuvo 11, por despiste 9 y volcadura 1 accidente de tránsito

Figura 72

Tipos de accidentes de tránsito - Mollepata



La Figura 71 se elaboró a partir de la información proporcionada por la PNP, donde se detalla la cantidad de accidentes registrados en los años 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024, según el tipo de siniestro ocurrido en la carretera. Además del porcentaje correspondiente a cada categoría en la Figura 72. De este análisis se identifica que los choques, tanto fatales como no fatales, son los eventos más recurrentes, alcanzando un total de 21 casos.

Figura 73

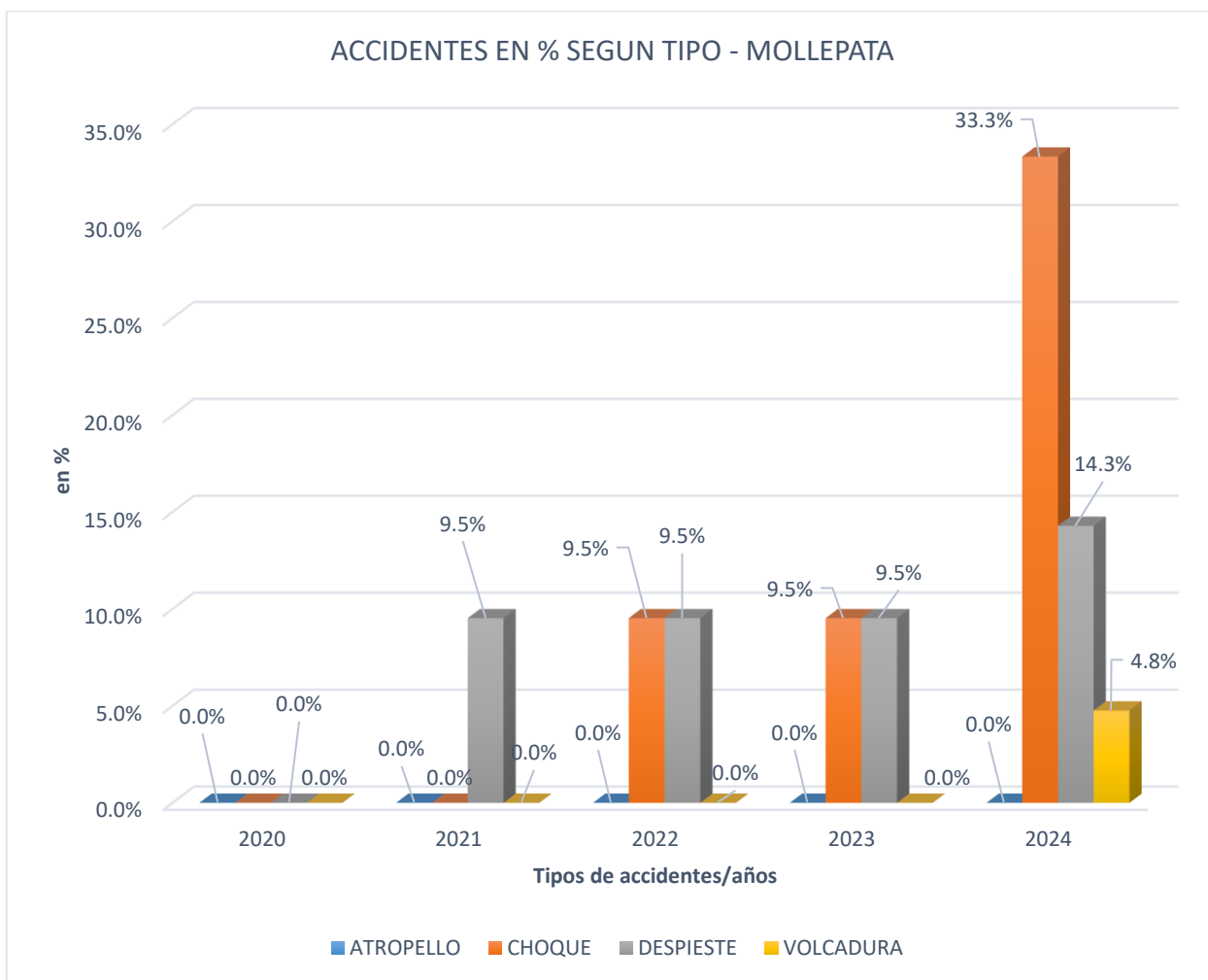
Tipo de accidentes de tránsito entre los años 2020 a 2024 – Mollepata

TIPOS DE ACCIDENTE		ATROPELLO		CHOQUE		DESPIESTE		VOLCADURA	
TOTAL DE FATALES Y NO FATALES =21	AÑO	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
	2020	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	2021	0	0.0%	0	0.0%	2	9.5%	0	0.0%
	2022	0	0.0%	2	9.5%	2	9.5%	0	0.0%
	2023	0	0.0%	2	9.5%	2	9.5%	0	0.0%
	2024	0	0.0%	7	33.3%	3	14.3%	1	4.8%
TOTAL DE ACCIDENTES EN %		0	0.0%	11	52.4%	9	42.9%	1	4.8%

Nota. Los accidentes en tramo de Mollepata por tipo de accidente por atropello en los 5 años de estudio en 0%, en choque fue de 52.4%, despiste en 42.9% y volcadura de 4.8%.

Figura 74

Accidentes de tránsito en Mollepata según su tipo entre los años 2020-2024



Nota. Gráfico barras de los accidentes según su clase entre los años 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024. Mostrando que en el año 2024 los accidentes por choque son del 33.3% del total de ese año.

La Figura 73 presenta el desglose de la información mostrada en la Figura 71 registrando los tipos de accidentes fatales y no fatales del periodo 2020 a 2024 y en la Figura 74 se aprecia de mejor manera los porcentajes de accidentes ocurridos según el tipo, que en el distrito de Mollepata se presentan entre los años 2020 a 2024.

c. Accidentes viales – Jurisdicción de Limatambo.

Figura 75

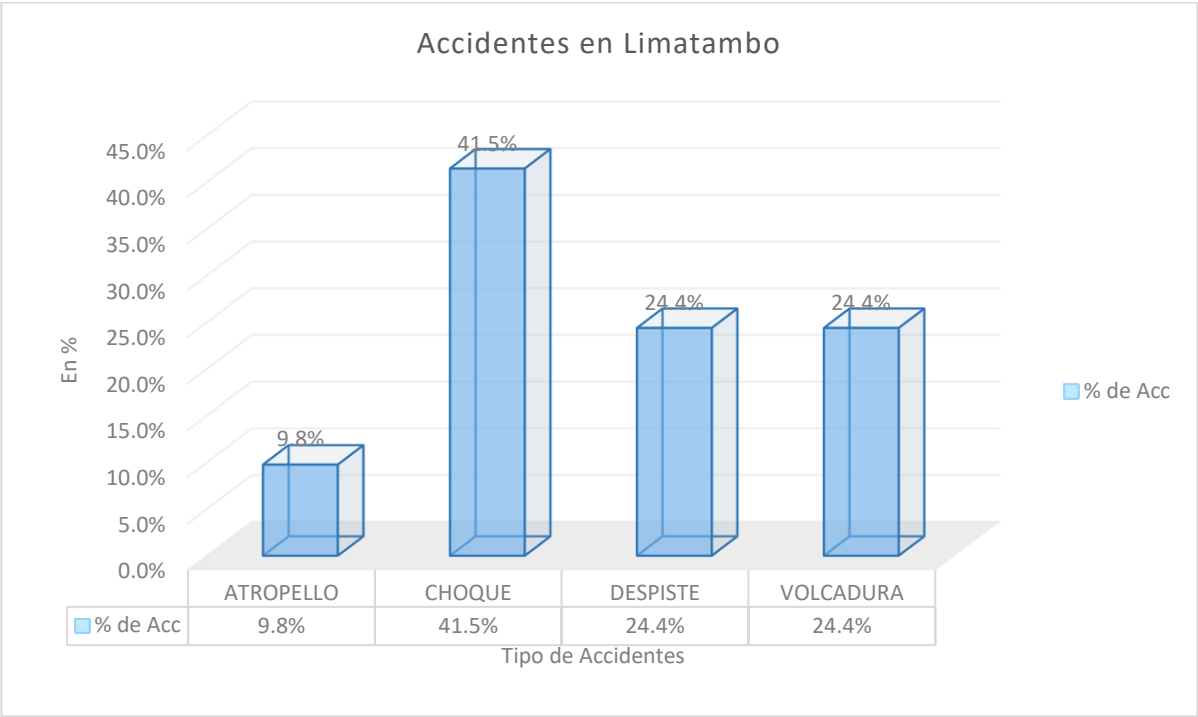
Accidentes de tránsito del año 2020-2024 de la jurisdicción de Limatambo

ACCIDENTES DE TRANSITO RESGISTRADOS EN LA COMISARIA DE LIMATAMBO TRAMO CENTRO POBLADO LIMATAMBO Y RIO BLANCO											
ACCIDENTES DE TRANSITO	NO FATAL					FATAL					
TIPO/SUB TIPO/ MODALIDAD	2020	2021	2022	2023	2024	2020	2021	2022	2023	2024	TOTAL
ATROPELLO	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	4
ACCIDENTES DE TRANSITO	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	4
ATROPELLO	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	4
ATROPELLO Y FUGA	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
CHOQUE	0	2	3	4	4	1	0	0	2	1	17
ACCIDENTES DE TRANSITO	0	2	3	4	4	1	0	0	2	1	17
CHOQUE	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
CHOQUE CON DAÑOS	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2
CHOQUE CON DAÑOS MATERIALES Y LESIONES	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	3
CHOQUE FRONTAL	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	6
CHOQUE LATERAL	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
CHOQUE MULTIPLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHOQUE POR ALCANCE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHOQUE POR RASPADA	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2
CHOQUE Y FUGA	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2
DESPISTE	0	0	0	2	2	0	0	1	3	2	10
ACCIDENTES DE TRANSITO	0	0	0	2	2	0	0	1	3	2	10
DESPISTE	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	3
DESPISTE CON DAÑOS MATERIALES	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	4
DESPISTE CON LESIONES	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	3
VOLCADURA	1	1	2	1	1	0	1	0	1	2	10
ACCIDENTES DE TRANSITO	1	1	2	1	1	0	1	0	1	2	10
VOLCADURA CON DAÑOS MATERIALES	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	3
VOLCADURA CON LESIONES	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
VOLCADURA CON RESULTADO FATAL	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	3
VOLCADURA CON RESULTADO FATAL Y LESIONES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
VOLCADURA TONEL	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
TOTAL GENERAL	1	3	6	7	8	1	2	1	6	6	41
TOTAL EN PORCENTAJE	2.4%	7.3%	14.6%	17.1%	19.5%	2.4%	4.9%	2.4%	14.6%	14.6%	100%

Nota. Con la información proporcionada por la PNP de la jurisdicción de Limatambo se elaboró la Figura 75, donde se detalla la cantidad de accidentes registrados en los años 2020 al 2024, según el tipo de siniestro ocurrido en la carretera. De este análisis se identifica que los choques, tanto fatales como no fatales, son los eventos más recurrentes, alcanzando un total de 41 casos.

Figura 76

Tipos de accidentes de tránsito - Limatambo



Nota. Los accidentes por choque tienen 41.5 %, atropello con 9.8%, despieste 24.4% y volcadura 24% del total de accidentes en Limatambo.

Figura 77

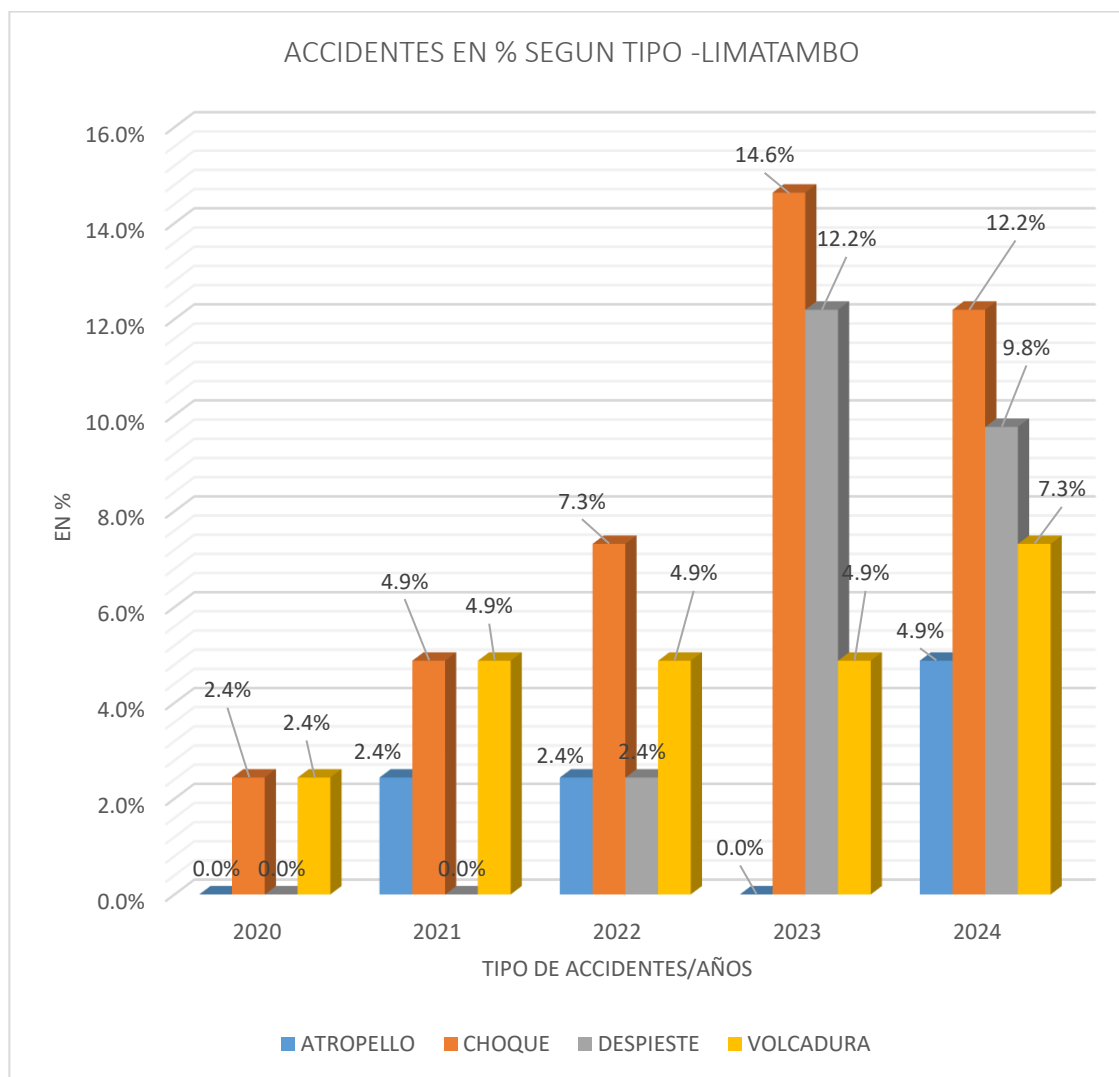
Tipo de accidentes de tránsito entre los años 2020 a 2024 – Limatambo

TIPOS DE ACCIDENTE		ATROPELLO		CHOQUE		DESPIESTE		VOLCADURA	
TOTAL DE FATALESY NO FATALES =41	AÑO	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
	2020	0	0.0%	1	2.4%	0	0.0%	1	2.4%
	2021	1	2.4%	2	4.9%	0	0.0%	2	4.9%
	2022	1	2.4%	3	7.3%	1	2.4%	2	4.9%
	2023	0	0.0%	6	14.6%	5	12.2%	2	4.9%
	2024	2	4.9%	5	12.2%	4	9.8%	3	7.3%
TOTAL DE ACCIDENTES EN %		4	9.8%	17	41.5%	10	24.4%	10	24.4%

Nota. Los accidentes de tránsito más frecuentes en Limatambo son por choque con 41.5%.

Figura 78

Accidentes de tránsito en Limatambo según su tipo entre los años 2020-2024



Nota. Gráfico de barras muestra los accidentes según su clase entre los años 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024 donde los accidentes por choque presentan mayor porcentaje.

La Figura 77 presenta el desglose de la información mostrada en la Figura 75, registrando los tipos de accidentes fatales y no fatales del periodo 2020 a 2024 y en la figura 78 se aprecia de mejor manera los porcentajes de accidentes ocurridos según el tipo, que en el

distrito de Limatambo se presentan entre los años 2020 a 2024. Donde en el año 2023 se presentó la mayor cantidad de accidentes observados dentro del tramo.

A continuación, en la Tabla 17 se muestra un gráfico comparativo de los accidentes en las 3 jurisdicciones, según su clase entre los años 2020 al 2024. Además, en la Figura 79 se muestra un gráfico barras de los accidentes según su clase entre los años 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024.

Tabla 17

Resumen general de tránsito de la vía estudiada

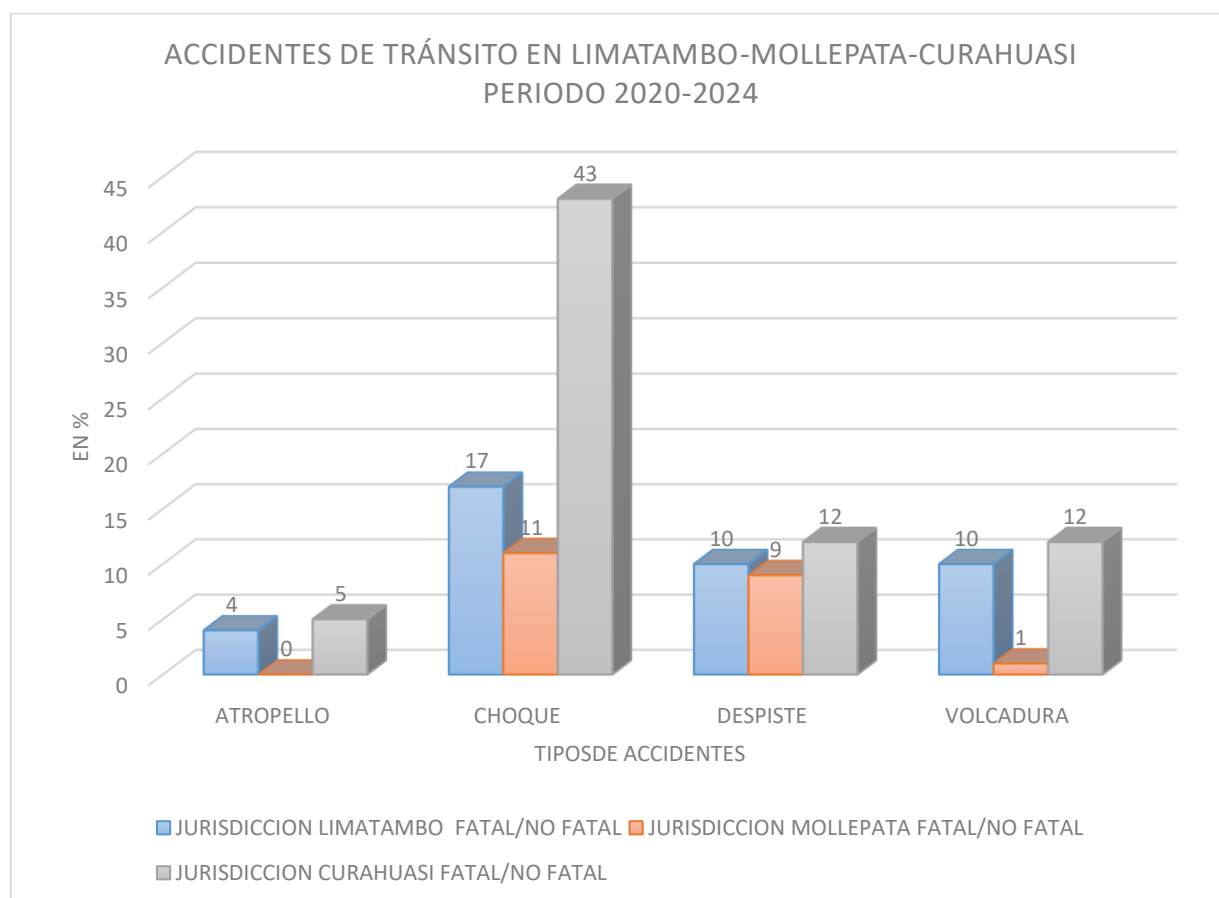
Accidentes de tránsito 2020-2024			
Tipos	Jurisdicción		
	Limatambo	Mollepata	Curahuasi
	Fatal/no fatal	Fatal/no fatal	Fatal/no fatal
Atropello	4	0	5
Choque	17	11	43
Despiste	10	9	12
Volcadura	10	1	12
Total general	41	21	72
134			

Nota. Los accidentes de tránsito registrados durante el período 2020–2024 en las tres jurisdicciones comprendidas dentro del tramo de estudio evidencian diferencias significativas en la ocurrencia de siniestros viales. En particular, el tramo correspondiente a Puente Cunyac–Curahuasi concentra un total de 72 accidentes de tránsito, lo que representa la mayor

incidencia dentro del área analizada. Por su parte, el tramo ubicado en la jurisdicción de Limatambo registra 41 accidentes, mientras que el tramo de Mollepata presenta 21 accidentes, constituyéndose este último como el de menor ocurrencia. Estos resultados permiten inferir que el tramo de Curahuasi presenta una elevada concentración de accidentes viales, lo cual sugiere la presencia de condiciones geométricas y operacionales desfavorables que justifican su priorización para el análisis de seguridad vial y la aplicación de medidas correctivas

Figura 79

Gráfico de accidentes de tránsito en Limatambo-Mollepata-Curahuasi



Nota. Se observa que los choques tienen una alta incidencia de accidentes.

En la Figura 79 se observa que los atropellos presentan una baja incidencia durante el periodo 2020 - 2024, registrando únicamente 9 casos en ambas jurisdicciones. En contraste, los choques constituyen el tipo de siniestro más frecuente, alcanzando 72 eventos en el mismo intervalo. Los accidentes por despiste muestran una ocurrencia intermedia, con 31 registros, mientras que las volcaduras suman 23 casos. En conjunto, los tres tipos de accidentes analizados acumulan un total de 134 siniestros, considerando tanto los eventos fatales como los no fatales dentro de las jurisdicciones evaluadas.

5.1.2 Factores Geométricos.

Datos obtenidos del Modelo Digital de Elevación (DEM), trazo en planta y perfil longitudinal junto con el Ortomosaico.

A continuación, se mostrará las condiciones del Reglamento del Diseño Geométrico de carreteras para la evaluación de los elementos en tangente y curva.

a. Características de la geometría en tangente y curva

Figura 80

Levantamiento de información de la carretera existente en geometría en tangente

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS -TANGENTE											
DIS TRI TO	TRAMOS	SEGMENT O	PROGRESIVA		LONGIT UD	ANCHO DE CARRIL	PENDIENT E %	BOMBEO	TIPO DE CURVA		CONDICION LminS=1.39(50)=65.5m LminO=2.78(50)=139m Lmax16.7(50)=835m
			KM INICIO	KM FINAL	m	m	%	%	I/D	S/O	
CURAHUASI	TRAMO 1	L1	848+683.00	848+720.88	37.88	3.30	-0.39%	2.5%	-		
		L2	848+753.36	848+763.54	10.18	3.30	-0.39%	2.5%	D	S	INSUFICIENTE
		L3	848+792.99	848+832.04	39.05	3.30	-5.78%	2.5%	I	S	INSUFICIENTE
		L4	848+896.10	848+957.65	61.55	3.30	-3.51%	2.5%	I	O	INSUFICIENTE
		L5	849+033.32	849+039.98	6.67	3.30	-5.79%	2.5%	I	O	INSUFICIENTE
		L6	849+084.85	849+103.00	18.14	3.30	-5.79%	2.5%	I	O	INSUFICIENTE
		L7	849+132.94	849+204.58	71.64	3.30	-5.79%	2.5%	D	S	SUFICIENTE
		L8	849+207.85	849+248.44	40.59	3.30	-5.79%	2.5%	I	S	INSUFICIENTE
		L9	849+271.44	849+315.31	43.87	3.30	-5.79%	2.5%	I	O	INSUFICIENTE
		L10	849+382.99	849+423.03	40.04	3.30	-5.79%	2.5%	I	O	INSUFICIENTE
		L11	849+460.98	849+525.99	65.01	3.30	-5.79%	2.5%	I	O	INSUFICIENTE
		L12	849+576.53	849+654.79	78.27	3.30	-5.79%	2.5%	D	S	SUFICIENTE
		L13	849+719.79	849+861.34	141.55	3.30	-5.79%	2.5%	I	S	SUFICIENTE
		L14	849+898.17	849+932.13	33.96	3.30	-5.79%	2.5%	I	O	INSUFICIENTE
CURAHUASI	TRAMO 2	L15	849+999.69	850+077.80	78.11	3.30	-6.40%	2.5%	D	S	SUFICIENTE
		L16	850+107.83	850+592.88	485.05	3.30	-6.40%	2.5%	D	O	SUFICIENTE
		L17	850+631.37	850+713.81	82.43	3.30	-6.40%	2.5%	D	O	INSUFICIENTE
		L18	850+765.19	850+802.32	37.13	3.30	-6.40%	2.5%	D	O	INSUFICIENTE
		L19	850+832.41	850+851.64	19.23	3.30	-6.40%	2.5%	D	O	INSUFICIENTE
		L20	850+885.51	851+006.46	120.95	3.30	-6.40%	2.5%	I	S	SUFICIENTE
		L21	851+051.95	851+077.07	25.12	3.30	-6.40%	2.5%	I	O	INSUFICIENTE
		L22	851+133.72	851+205.31	71.59	3.30	-6.40%	2.5%	I	O	INSUFICIENTE

Nota. LminS= 69.5m; Lmin O= 139m y Lmax= 835 m. datos fueron obtenidos de la norma

DG-2018; el resto del análisis de las características geométricas en curva se muestra en el

Anexo 5.

Del análisis geométrico entre tangentes, se identificaron tramos de 215 en “S” (simples) y 128 en “O” (compuestas) y una longitud máxima excedida. De este total, 108 tramos presentan longitudes mínimas exigida, lo que representa el 31.5% de los tramos evaluados y evidencia que menos de la mitad cumple con los parámetros establecidos en la DG-2018. Por otro lado, 234 tienen longitudes insuficientes con lo mínimo representando el 68.2% poco más de la mitad que no cumplen con los parámetros de la normativa.

Figura 81

Levantamiento de información de la carretera existente en geometría en curva

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS -CURVAS									
DIS TRI TO	TRAM O	SEGMENTO	PROGRESIVA		LONG DE CUERDA	SOBREANC HO	CONDICION 0.40 MIN	RADIO	CONDICION Rmin=70.0 m
			KM INICIO	KM FINAL	m	m		m	
CURAHUASI	TRAMO 1	CH-1	848+720.88	848+753.36	30.89	0.15	NO CUMPLE	29.71	NO CUMPLE
		CH-2	848+763.54	848+792.99	29.28	0.15	NO CUMPLE	77.85	CUMPLE
		CH-3	848+832.04	848+896.10	63.03	0.15	NO CUMPLE	102.9	CUMPLE
		CH-4	848+957.65	849+033.32	75.1	0.15	NO CUMPLE	178.21	CUMPLE
		CH-5	849+039.98	849+084.85	43.52	0.15	NO CUMPLE	52.59	NO CUMPLE
		CH-6	849+103.00	849+132.94	29.11	0.45	CUMPLE	36.56	NO CUMPLE
		CH-7	849+204.58	849+207.85	3.27	0.45	CUMPLE	200	CUMPLE
		CH-8	849+248.44	849+271.44	22.99	0.45	CUMPLE	199.5	CUMPLE
		CH-9	849+315.31	849+382.99	45.26	0.80	CUMPLE	22.7	NO CUMPLE
		CH-10	849+423.03	849+460.98	37.9	0.15	NO CUMPLE	200	CUMPLE
		CH-11	849+525.99	849+576.53	50.06	0.15	NO CUMPLE	106.34	CUMPLE
		CH-12	849+654.79	849+719.79	64.7	0.15	NO CUMPLE	197.39	CUMPLE
		CH-13	849+861.34	849+898.17	35.9	0.15	NO CUMPLE	47.03	NO CUMPLE
		CH-14	849+932.13	849+999.69	42.42	0.80	CUMPLE	21.22	NO CUMPLE
CURAHUASI	TRAMO 2	CH-15	850+077.80	850+107.83	29.96	0.20	NO CUMPLE	127.83	CUMPLE
		CH-16	850+592.88	850+631.37	38.17	0.20	NO CUMPLE	86.08	CUMPLE
		CH-17	850+713.81	850+765.19	49.84	0.20	NO CUMPLE	60.27	NO CUMPLE
		CH-18	850+802.32	850+832.41	29.67	0.20	NO CUMPLE	51.65	NO CUMPLE
		CH-19	850+851.64	850+885.51	32.89	0.20	NO CUMPLE	40.42	NO CUMPLE
		CH-20	851+006.46	851+051.95	45.45	0.20	NO CUMPLE	319.09	CUMPLE
		CH-21	851+077.07	851+133.72	55.95	0.20	NO CUMPLE	104.35	CUMPLE
		CH-22	851+205.31	851+242.75	36.04	0.20	NO CUMPLE	39.3	NO CUMPLE

Nota. Los datos fueron extraídos del software AutoCAD Civil 3D, la condición de radio es obtenida de la norma DG-2018, y se muestra en la ecuación 19, el resto del análisis de las características geométricas en curva se muestra en el Anexo 5.

Del análisis geométrico se identificaron 331 curvas, varias de ellas correspondientes a tramos con curvas compuestas, lo que incrementa la complejidad operativa de la vía. Del total evaluado, 193 curvas horizontales presentan radios superiores al mínimo exigido, representando el 58.3 %, lo que evidencia que poco más de la mitad cumple con los parámetros establecidos en la DG-2018. No obstante, el 41.7 % restante corresponde a curvas con radios inferiores al mínimo normativo, las cuales constituyen puntos críticos desde la perspectiva de la seguridad

vial, debido a mayores demandas de fricción lateral y posibles reducciones abruptas de velocidad.

En cuanto a los sobreanchos, se empleó el valor mínimo de $S_a = 0.40$ m indicado por la normativa; sin embargo, este valor no se ajusta adecuadamente a las condiciones reales de la carretera, considerando la presencia de curvas de radio reducido y tránsito mixto. En consecuencia, sería necesario incrementar el sobreancho conforme a la Ecuación 18, con el fin de mejorar las condiciones de circulación y seguridad, especialmente en aquellas curvas que no cumplen con los radios mínimos, las cuales deben ser consideradas como tramos prioritarios de intervención y como insumo relevante para el ingreso de datos al HSM.

5.1.3 Aforo Vehicular

A través del llenado de las hojas del conteo vehicular (véase en ANEXO 6), se elabora la Figura 82y Figura 83, se presentará el aforo vehicular de tránsito diario junto con el IMDA corregido la estación de conteo en el sector de **“Ccayrayoc y Carrizales”** para el año 2025. El cálculo del IMDA se obtuvo aplicando la Ecuación 20, la cual se fundamenta en la metodología descrita en la Ecuación 21.

a. Estación de Ccayrayoc

Figura 82

Aforo vehicular de la estación Ccayrayoc con periodo de 7 días

Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

FORMATO DE CLASIFICACION VEHICULAR

Factores geométricos y de tránsito en la accidentabilidad vial: Análisis de la carretera nacional PE-3S, tramo: km 893+337 (Limatambo) al km 848+683 (Curahuasi), mediante inspección de seguridad vial y el Highway Safety Manual 2010.

ESTUDIO DE TRAFICO -LUNES

INSTRUMENTACIÓN CIVIL

CUBO

ESTACIÓN PRINCIPAL DE LA CARRETERA

CCASACANCHA

SENTIDO

AMBOS

UBICACIÓN

CAYRAYOC

4

CURAHUASI

E

←

S

→

ESTACION

CODIGO DE LA ESTACION

DIA Y FECHA

CCASACANCHA

E-1

892025

HORA	SENTI DO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS		RURAL Combi	MICRO	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER			
				PICK UP	PANEL			2 E	3 E	4 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
00-01	E	17	3	4	1	0	0	1	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	8	2	1	2	1	0	0	0	0	6	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
01-02	E	10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	4	1	0	2	0	0	0	0	3	0	4	3	1	0	0	0	0	0	1	0
02-03	E	5	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	4	1	0	0	0	0	0	0	5	0	5	1	0	0	0	2	0	0	0	0
03-04	E	9	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	S	9	2	0	1	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0	1	1	0	0	1	0
04-05	E	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0
	S	17	4	0	2	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	5	5	1	0	0	0
05-06	E	12	4	5	0	1	0	0	0	0	3	1	1	0	0	1	4	0	0	0	0
	S	21	3	4	2	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	2	8	0	0	0	0
06-07	E	20	5	1	1	0	0	0	0	0	7	0	0	1	0	0	4	0	0	0	0
	S	21	4	1	2	0	0	0	0	0	4	1	0	1	0	1	9	0	0	0	0
07-08	E	25	2	7	1	0	0	0	0	0	4	2	1	4	0	1	4	0	0	1	0
	S	31	6	6	1	0	0	0	0	0	7	4	5	0	0	1	4	0	0	1	0
08-09	E	36	3	10	2	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0
	S	35	3	6	2	1	0	0	0	0	3	1	0	0	0	1	5	0	0	0	0
09-10	E	31	5	5	2	1	0	0	0	0	1	2	3	0	0	2	6	0	0	0	0
	S	26	6	7	1	0	0	0	1	0	2	2	5	1	0	0	6	0	0	0	0
10-11	E	19	3	6	1	0	0	1	1	0	1	3	0	0	0	0	6	0	0	0	0
	S	24	2	2	2	1	0	0	3	0	5	4	1	3	0	2	9	0	0	1	0
11-12	E	24	5	2	2	0	0	0	2	0	4	1	0	0	0	1	5	0	0	0	0
	S	25	1	4	3	1	0	0	4	0	4	2	1	1	0	2	7	0	0	0	0
12-13	E	21	1	11	2	0	0	0	2	0	9	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0
	S	16	3	5	4	0	0	0	1	2	0	7	1	3	0	1	8	0	0	0	0
13-14	E	24	2	8	0	0	0	0	0	0	3	1	1	2	0	0	4	0	0	0	0
	S	22	0	6	3	1	0	0	0	0	3	0	1	1	1	1	7	0	0	1	0
14-15	E	22	5	3	1	1	0	0	2	0	4	2	0	1	0	1	6	0	0	0	0
	S	27	2	9	2	0	0	0	2	0	6	1	0	0	0	0	5	0	0	1	0
15-16	E	24	2	9	1	0	0	0	1	0	7	3	0	1	0	0	4	0	0	0	1
	S	21	1	6	3	0	0	0	1	0	2	3	1	1	0	3	2	0	0	0	0
16-17	E	26	2	6	3	1	0	1	2	0	5	2	1	1	1	0	5	1	0	0	0
	S	25	2	7	2	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	6	2	0	0	0
17-18	E	32	2	6	3	1	0	0	1	0	4	2	1	0	0	0	12	0	0	0	0
	S	30	5	2	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	1	4	1	0	0	0
18-19	E	35	7	3	3	0	0	0	1	0	7	2	0	1	0	1	4	0	0	0	0
	S	21	7	3	0	0	0	0	0	0	5	4	1	0	1	0	5	0	0	0	0
19-20	E	25	2	5	1	1	0	0	1	0	11	3	0	3	0	1	10	3	0	0	1
	S	25	1	1	0	0	0	0	2	0	2	0	1	1	0	0	5	0	0	0	0
20-21	E	25	1	0	3	0	0	0	3	0	6	0	1	1	0	1	5	1	0	0	0
	S	11	1	2	1	0	0	0	0	0	2	0	0	2	1	0	5	1	0	0	0
21-22	E	19	1	3	3	0	0	0	0	0	7	3	2	1	0	0	5	1	0	0	0
	S	13	0	3	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	0	0	9	1	0	0	0
22-23	E	20	0	5	3	1	0	0	0	0	5	3	0	1	0	0	4	0	0	0	0
	S	11	0	1	0	0	0	0	4	0	3	3	0	0	0	1	3	1	0	0	0
23-24	E	22	0	2	0	0	0	0	2	0	4	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0
	S	12	1	4	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
PARCIAL:		967	115	196	67	16	0	4	48	0	191	75	33	30	4	31	222	14	0	8	2

Nota. El resto del conteo vehicular se muestra en el Anexo 6.

Figura 83

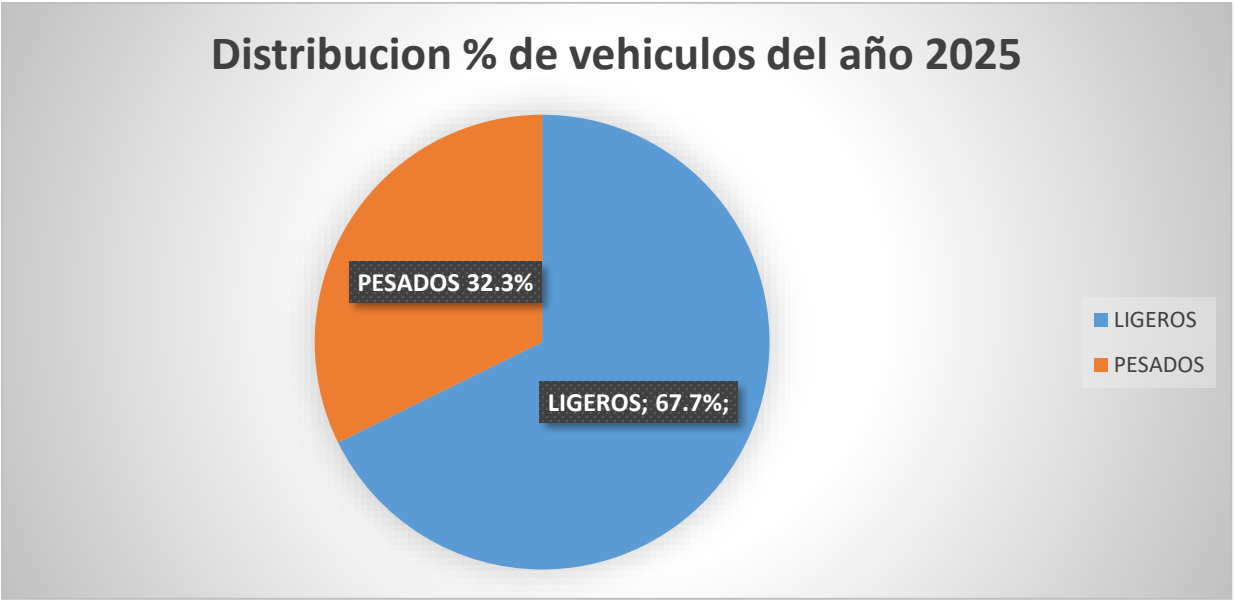
IMDA del 2025 según el tipo de vehículo en el Sector de Carrizales

Tipo de Vehículo	Tráfico Vehicular en dos Sentidos por Día							TOTAL	IMD _s	FC	IMD _a	Distribución (%)	TOTAL EN %
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo						
Automovil	963	819	778	916	1060	1120	1048	6704	958	0.908	870	43.5	67.7 (LIGEROS)
Station Wagon	90	68	66	74	74	124	152	648	93	0.908	85	4.3	
Camioneta (Pickup/Panel)	284	350	320	496	517	433	356	2756	394	0.908	358	17.9	
C.Rural (Combi)	18	25	29	46	29	51	49	247	35	0.908	33	1.7	
Micro	4	7	14	9	3	3	13	53	8	0.908	7	0.4	32.3 (PESADOS)
Bus 2E	4	1	1	3	7	1	7	24	3	0.956	4	0.2	
Bus 3E	47	66	70	68	74	85	82	492	70	0.956	68	3.4	
Bus 4E	0	0	0	0	1	1	1	3	0	0.956	1	0.1	
Camión 2E	190	161	197	180	210	136	120	1194	171	0.956	163	8.2	
Camión 3E	85	67	92	75	61	82	107	569	81	0.956	78	3.9	
Camión 4E	31	11	27	15	17	33	23	157	22	0.956	22	1.1	
Semitrayler (T2S1 / T2S2)	30	31	26	25	24	32	41	209	30	0.956	29	1.5	
Semitrayler (T2S3)	6	1	2	25	29	6	5	74	11	0.956	11	0.6	
Semitrayler (T3S1 / T3S2)	24	13	3	37	42	44	29	192	27	0.956	27	1.4	
Semitrayler (T3S3)	198	223	229	198	210	266	253	1577	225	0.956	216	10.8	
Trayler (C2R2)	14	21	19	12	16	4	3	89	13	0.956	13	0.7	
Trayler (C2R3)	1	1	4	1	2	1	1	11	2	0.956	2	0.1	
Trayler (C3R2)	10	3	3	12	12	7	5	52	7	0.956	8	0.4	
Trayler (C3R3)	2	3	1	5	3	1	4	19	3	0.956	3	0.2	
TOTAL	2001	1871	1881	2197	2391	2430	2299	15070	2153		1998	100.0	100.0

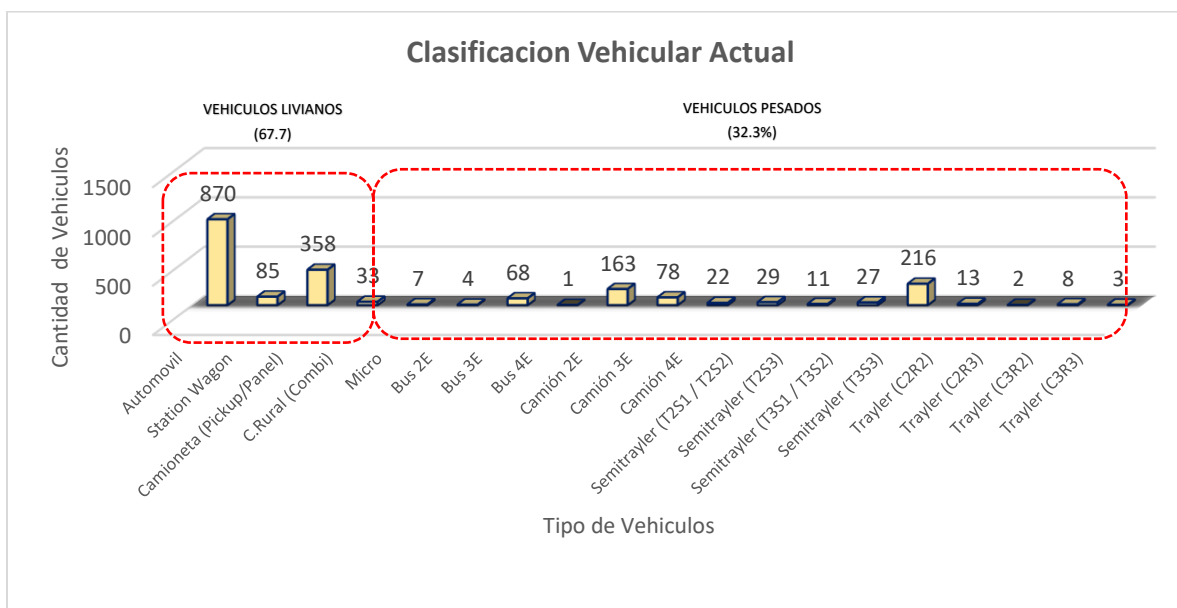
Nota. Resumen del conteo vehicular de la estación Carrizales para el año 2025.

Figura 84

Distribución % de Vehículos de año 2025



Nota. En el año 2025 existe mayor cantidad de vehículos ligeros con un 67.7% frente a un 32.3% de vehículos pesados.

Figura 85*Clasificación vehicular 2025*

Nota. En el tramo de estudio de 44.654 km de la carretera PE-3S, comprendido entre Limatambo, Mollepata y Curahuasi, se observa que la mayor cantidad de vehículos corresponde a automóviles, alcanzando hasta 870 veh/día. Asimismo, la composición vehicular está conformada por un 67.7% de vehículos livianos y un 32.3% de vehículos pesados, evidenciando el predominio del tránsito liviano en la vía.

b. Estación de Ccayrayoc
Figura 86

Aforo vehicular de la estación Carrizales con periodo de 7 días.

Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

Factores geométricos y de tránsito en la accidentabilidad vial: Análisis de la carretera nacional PE-3S, tramo: km 893+337 (Limatambo) al km 848+683 (Curahuasi), mediante inspección de seguridad vial y el Highway Safety Manual 2010.

ESTUDIO DE TRAFICO -LUNES

INIA CIVIL

CUSCO

ESTACION PRINCIPAL DE LA CARRETERA		CCASACANCHA		LIMATAMBO													ESTACION		CCASACANCHA		
SENTIDO		AMBOS		E ← S													CODIGO DE LA ESTACION		E-2		
UBICACION		CARRIZALES															DIA Y FECHA		15 9 2025		
DIA		1																			
HORA	SENTI DO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS		RURAL Combi	MICRO	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER			
				PICK UP	PANEL			2 E	3 E	4 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
00-01	E	12	2	5	2	0	0	1	1	0	4	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	S	6	2	1	2	1	0	0	0	0	5	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
01-02	E	15	2	2	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	S	2	1	1	1	0	0	0	1	0	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
02-03	E	6	1	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	S	8	1	1	0	0	0	0	2	0	3	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
03-04	E	5	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	S	2	1	1	2	0	0	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
04-05	E	6	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0
	S	12	3	1	0	0	0	0	1	0	6	3	0	0	0	2	6	0	0	0	0
05-06	E	14	2	3	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	5	0	0	1	0
	S	26	1	2	1	0	0	0	1	0	2	5	0	0	0	1	3	0	0	0	0
06-07	E	12	3	1	0	0	0	0	0	0	6	5	0	0	0	1	3	1	0	0	0
	S	20	3	2	2	1	0	0	0	0	7	2	0	0	0	1	8	0	0	0	0
07-08	E	20	4	3	1	0	1	0	0	0	6	2	1	2	0	1	3	0	0	1	0
	S	28	5	4	1	0	0	0	0	0	5	4	2	0	0	1	6	0	0	0	0
08-09	E	42	3	6	1	1	0	0	0	0	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	S	30	3	8	4	1	0	0	2	0	4	2	1	0	0	0	3	0	0	0	0
09-10	E	25	1	6	2	1	0	0	0	0	0	3	2	0	0	1	9	0	0	0	0
	S	20	2	4	2	0	0	0	1	0	2	2	3	0	0	1	8	0	0	1	0
10-11	E	36	3	3	0	0	0	1	1	0	2	2	1	1	0	0	5	0	0	0	0
	S	24	2	8	2	1	0	0	2	0	6	5	1	2	0	2	7	0	0	1	0
11-12	E	16	2	5	2	0	0	0	1	0	3	2	0	1	1	2	2	0	0	0	0
	S	26	3	6	3	1	0	0	4	0	4	3	2	1	0	1	8	1	0	0	0
12-13	E	25	1	10	2	0	0	0	3	0	10	2	1	0	0	1	5	0	0	1	0
	S	20	2	6	3	0	0	0	1	4	5	0	1	0	0	1	6	0	0	0	0
13-14	E	23	2	5	1	0	0	0	0	0	4	2	1	1	0	0	6	0	0	0	0
	S	21	2	8	4	1	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
14-15	E	26	2	6	2	1	0	0	1	4	0	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	30	2	11	2	0	0	0	3	0	5	3	1	1	1	0	2	0	0	0	0
15-16	E	22	1	5	2	0	0	0	2	0	8	2	0	0	0	0	3	0	0	1	0
	S	19	1	5	2	0	0	0	0	0	5	0	2	1	0	2	2	0	0	0	0
16-17	E	28	1	8	2	1	1	1	3	0	3	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	S	28	2	8	1	0	0	0	1	0	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0
17-18	E	35	2	5	3	1	0	0	0	0	5	1	2	0	0	1	6	1	0	0	0
	S	29	1	2	2	0	0	0	0	0	3	1	1	1	0	0	4	0	0	0	0
18-19	E	49	3	6	1	1	0	0	1	0	9	1	0	0	0	1	10	0	0	0	0
	S	27	5	2	1	0	0	0	1	0	7	3	2	1	1	0	2	1	0	0	0
19-20	E	22	3	3	1	1	1	0	1	0	10	2	0	2	0	0	10	1	0	0	0
	S	23	2	8	1	0	0	0	0	0	5	1	0	2	0	1	5	1	0	1	0
20-21	E	29	1	8	2	0	0	0	3	0	2	1	1	2	1	0	4	2	0	0	0
	S	15	1	5	1	0	0	0	1	0	2	1	0	2	0	0	3	1	0	0	0
21-22	E	13	1	6	2	0	0	0	0	0	3	2	1	0	0	0	8	1	0	0	0
	S	9	1	4	0	2	0	0	1	0	3	0	0	1	0	1	6	1	0	0	0
22-23	E	15	1	5	1	1	0	0	0	0	2	2	0	0	1	0	3	0	0	0	0
	S	15	0	2	0	0	0	0	2	0	4	1	0	1	0	1	3	1	0	0	0
23-24	E	26	0	2	0	0	0	0	1	0	2	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
	S	1	1	6	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
PARCIAL:		963	90	214	70	18	4	4	47	0	190	85	31	30	6	24	198	14	1	10	

Nota. El resto del conteo vehicular se muestra en el Anexo 6.

Figura 87

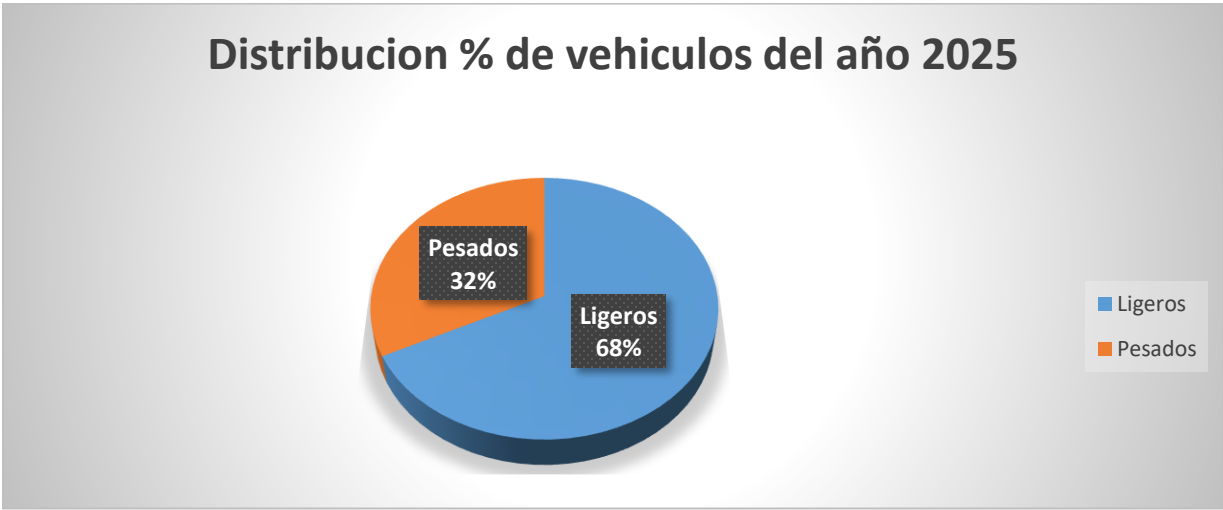
IMDA 2025 según el tipo de vehículo en el Sector de Ccayrayoc

Tipo de Vehículo	Tráfico Vehicular en dos Sentidos por Día							TOTAL	IMD _s	FC	IMD _a	Distribución (%)	TOTAL EN %
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo						
Automovil	967	813	782	862	1063	1085	1005	6577	940	0.908	862	44.4	68 (LIGEROS)
Station Wagon	115	77	79	81	98	106	191	747	107	0.908	91	4.7	
Camioneta (Pickup/Panel)	263	290	259	307	472	351	356	2298	328	0.908	328	16.9	
C.Rural (Combi)	16	20	20	13	30	42	49	190	27	0.908	29	1.5	
Micro	0	2	3	6	1	5	4	21	3	0.908	5	0.3	
Bus 2E	4	2	0	5	5	0	3	19	3	0.956	3	0.2	32 (PESADOS)
Bus 3E	48	63	61	78	64	62	57	433	62	0.956	64	3.3	
Bus 4E	0	0	0	0	0	1	2	3	0	0.956	1	0.1	
Camión 2E	191	169	206	210	220	142	132	1270	181	0.956	169	8.7	
Camión 3E	75	48	68	74	83	90	74	512	73	0.956	74	3.8	
Camión 4E	33	9	21	21	15	25	18	142	20	0.956	21	1.1	
Semitrayler (T2S1 / T2S2)	30	34	24	22	22	42	30	204	29	0.956	29	1.5	
Semitrayler (T2S3)	4	8	1	23	22	3	2	63	9	0.956	10	0.5	
Semitrayler (T3S1 / T3S2)	31	25	4	19	37	31	27	174	25	0.956	25	1.3	
Semitrayler (T3S3)	222	154	223	180	213	227	240	1459	208	0.956	208	10.7	
Trayler (C2R2)	14	3	21	8	12	9	0	67	10	0.956	11	0.6	
Trayler (C2R3)	0	2	1	2	1	0	0	6	1	0.956	2	0.1	
Trayler (C3R2)	8	7	3	2	12	13	9	54	8	0.956	8	0.4	
Trayler (C3R3)	2	2	2	2	5	1	4	18	3	0.956	3	0.2	
TOTAL	2023	1728	1778	1915	2375	2235	2203	14257	2037		1943	100.0	100.0

Nota. Resumen del conteo vehicular de la estación Ccayrayoc para el año 2025.

Figura 88

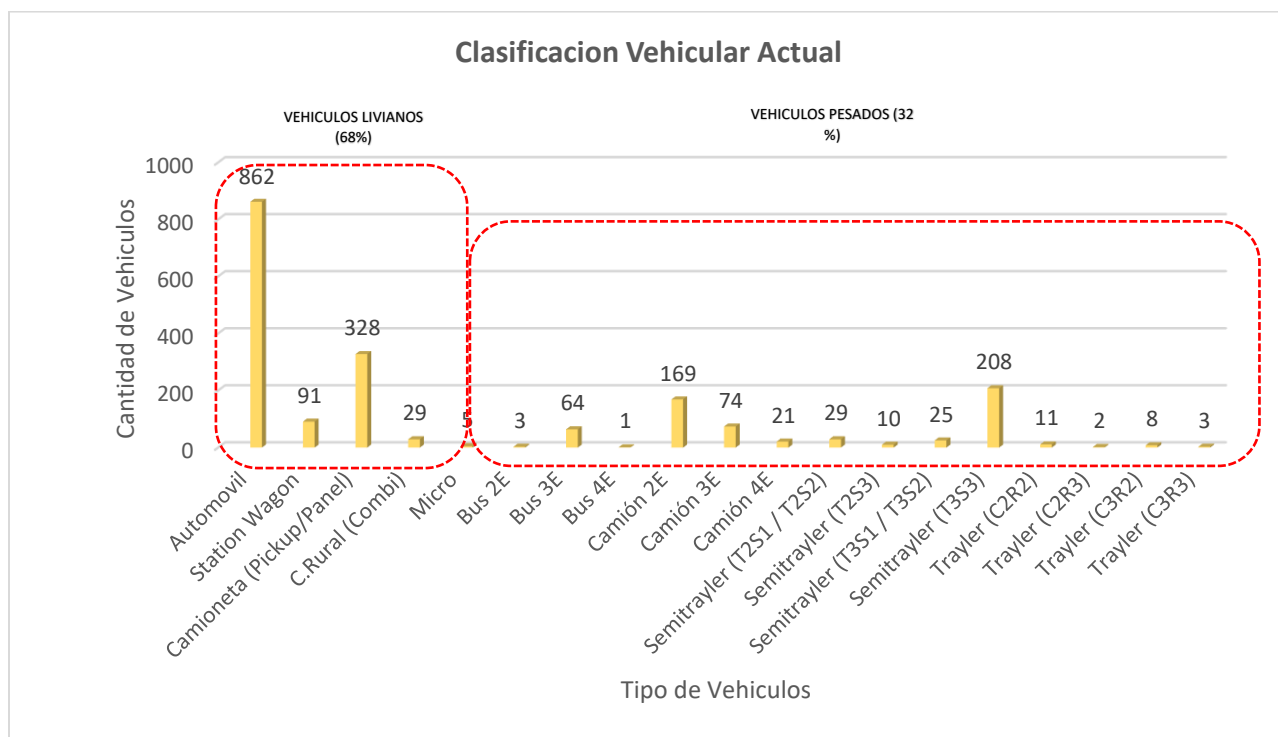
Distribución % de Vehículos de año 2025



Nota. En el año 2025 existe mayor cantidad de vehículos pesados con un 32% frente a un 68% de vehículos ligeros.

Figura 89

Clasificación vehicular del año 2025 en Carrizales y Ccayrayoc



Nota: La clasificación vehicular muestra un predominio de vehículos livianos (68%), destacando los automóviles como la categoría más representativa. En contraste, los vehículos pesados (32%) presentan una distribución más dispersa, siendo los semirremolques tipo T3S3 y los camiones de 2 ejes los de mayor participación dentro de este grupo. Esta composición evidencia una vía con alta demanda de tránsito liviano, pero con presencia significativa de transporte de carga, lo cual es relevante para el análisis de seguridad vial y diseño geométrico.

A continuación, en la Figura 90 se muestra el promedio de ambas estaciones “Carrizales” y “Ccayrayoc”, que serán usadas para el tramo de estudio.

Figura 90

IMDA 2025 según el tipo de vehículo en los Sectores de Carrizales y Ccayrayoc

CARRIZALES Y CCAYRAYOC												
Tipo de Vehículo	Tráfico Vehicular en dos Sentidos por Día							TOTAL	IMD _s	FC	IMD _a	Distribución (%)
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo					
Automovil	965	816	780	889	1061.5	1102.5	1026.5	6641	949	0.908	862	44.4
Station Wagon	102.5	72.5	72.5	77.5	86	115	171.5	698	100	0.908	91	4.7
Camioneta (Pickup/Panel)	273.5	320	289.5	401.5	494.5	392	356	2527	361	0.908	328	16.9
C.Rural (Combi)	17	22.5	24.5	29.5	29.5	46.5	49	219	31	0.908	29	1.5
Micro	2	4.5	8.5	7.5	2	4	8.5	37	5	0.908	5	0.3
Bus 2E	4	1.5	0.5	4	6	0.5	5	22	3	0.956	3	0.2
Bus 3E	47.5	64.5	65.5	73	69	73.5	69.5	463	66	0.956	64	3.3
Bus 4E	0	0	0	0	0.5	1	1.5	3	0	0.956	1	0.1
Camión 2E	190.5	165	201.5	195	215	139	126	1232	176	0.956	169	8.7
Camión 3E	80	57.5	80	74.5	72	86	90.5	541	77	0.956	74	3.8
Camión 4E	32	10	24	18	16	29	20.5	150	21	0.956	21	1.1
Semitrayler (T2S1 / T2S2)	30	32.5	25	23.5	23	37	35.5	207	30	0.956	29	1.5
Semitrayler (T2S3)	5	4.5	1.5	24	25.5	4.5	3.5	69	10	0.956	10	0.5
Semitrayler (T3S1 / T3S2)	27.5	19	3.5	28	39.5	37.5	28	183	26	0.956	25	1.3
Semitrayler (T3S3)	210	188.5	226	189	211.5	246.5	246.5	1518	217	0.956	208	10.7
Trayler (C2R2)	14	12	20	10	14	6.5	1.5	78	11	0.956	11	0.6
Trayler (C2R3)	0.5	1.5	2.5	1.5	1.5	0.5	0.5	9	1	0.956	2	0.1
Trayler (C3R2)	9	5	3	7	12	10	7	53	8	0.956	8	0.4
Trayler (C3R3)	2	2.5	1.5	3.5	4	1	4	19	3	0.956	3	0.2
TOTAL	2012	1799.5	1829.5	2056	2383	2332.5	2251	14663.5	2095		1943	100.0

Nota. Es el promedio de ambos puntos de estación (Carrizales y Ccayrayoc), se obtiene el promedio de los vehículos livianos y pesados con el factor de corrección de la estación Casacancha. Teniendo un total de 1943 vehículos/día.

Para hallar el resto de los datos del índice medio diario anual (IMDA) se procede a realizar una ecuación de correlación y partir de los datos de investigaciones pasadas de la tesis de “**Atauchi & Quispe**”, en el año 2019 obtenidas in situ mediante el aforo vehicular correspondiente. Además, usaremos el Boletín Informativo de Flujo Vehicular del año 2020 del mes de septiembre para hallar el dato del 2020 y así poder obtener los datos faltantes.

Para hallar los datos faltantes del IMDA de los años 2021 hasta el 2024 se usará la ecuación de correlación lineal:

Ecuación 22

Ecuación de correlación lineal

$$Y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

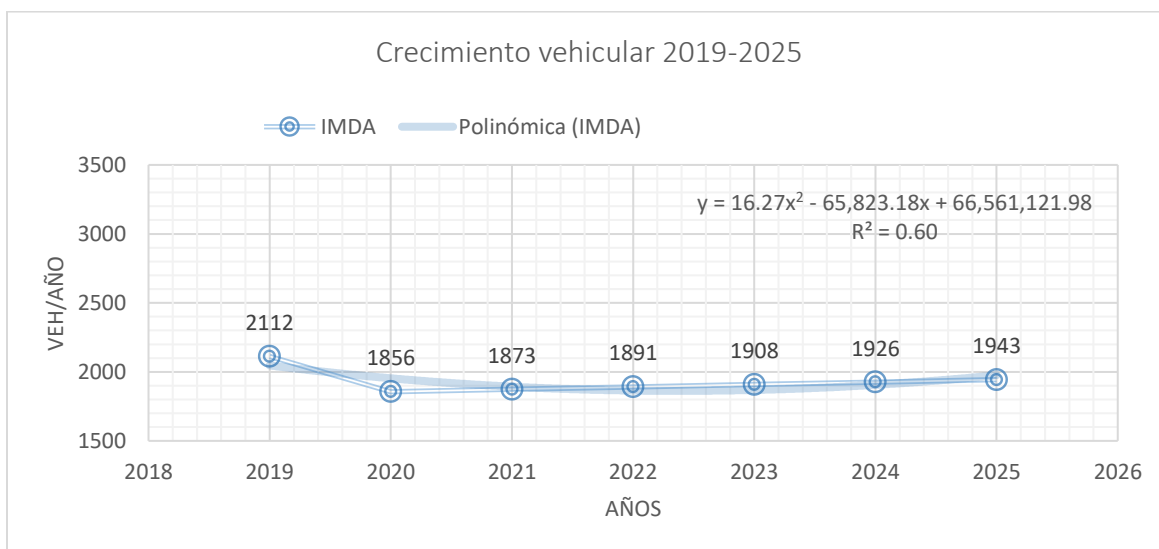
A continuación, la Fórmula se aplicará para los datos ya mencionados en la tabla 18.

Tabla 18

Cálculo del IMDA

AÑO	IMDA	FUENTE
2019	2112	Datos de tesis Atauchí y Quispe
2020	1856	Boletín de flujo vehicular (INEI)
2021	1873	Correlación Lineal
2022	1891	Correlación Lineal
2023	1908	Correlación Lineal
2024	1926	Correlación Lineal
2025	1943	Aforo vehicular in situ

Nota. El año 2019 es dato de la Empresa SurVial, y para el año 2020 mediante el boletín (INEI), indica para ese periodo se redujo en 11.7 % y como resultado se obtuvo 1856 y para el periodo 2021 hasta 2024 se halló mediante Correlación lineal.

Figura 91*Crecimiento vehicular periodo 2019-2025*

Nota. Debido a la presencia de la pandemia de la COVID-19, se observa un marcado declive del tránsito vehicular en el año afectado, como consecuencia de las restricciones de movilidad y la reducción de actividades económicas. No obstante, para los años posteriores se prevé un incremento progresivo del volumen vehicular, asociado al levantamiento de las medidas sanitarias, la reactivación económica y la normalización de las actividades de transporte, lo cual evidencia una tendencia de recuperación del tránsito tras el periodo de pandemia.

5.1.4 Dispositivos de Control y Entorno de Vía

Los datos recopilados se han ordenado de acuerdo con los segmentos de carretera establecidas para el estudio de la vía, obteniendo la Figura 92 y Figura 93 que muestra el tipo de superficie, el ancho del carril, berma y los accesos que corresponden a cada segmento de carretera.

a) Dispositivos de control en tangente y curva.

Figura 92

Resumen de dispositivos de control de tránsito y entorno de vía en tangente

Dispositivos de control y entorno de vía en Tangente																			
Tramo	Segmento	Progresivas		Longitud		IMDA AÑO 2025	Ancho de Carril		Ancho de Berma		Tipo de superficie	Acces os	Bandas Sonoras SI/NO	Velocidad Automatizada SI/NO	Iluminacion SI/NO	INDICE DE RIESGO	Carril de Adelant.	Carril de Giro a la Izq.	PENDIENTE LONGTUDI NAL (%)
N°	TIPO	Km inicio	Km final	m	ml		m	ft	m	ft									
TRAMO 1	L1	848+683.00	848+720.88	37.88	0.02	1943	3.3	10.8	0.45	1.5	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-0.39%
	L2	848+753.36	848+763.54	10.18	0.01	1943	3.3	10.8	0.45	1.5	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-0.39%
	L3	848+792.99	848+832.04	39.05	0.02	1943	3.3	10.8	0.45	1.5	Asfalto	0	NO	NO	SI	5	NO	NO	-5.78%
	L4	848+896.10	848+957.65	61.55	0.04	1943	3.3	10.8	0.45	1.5	Asfalto	1	NO	NO	SI	5	NO	NO	-3.51%
	L5	849+033.32	849+039.98	6.67	0.00	1943	3.3	10.8	0.45	1.5	Asfalto	1	NO	NO	SI	5	NO	NO	-5.79%
	L6	849+084.85	849+103.00	18.14	0.01	1943	3.3	10.8	0.45	1.5	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-5.79%
	L7	849+132.94	849+204.58	71.64	0.04	1943	3.3	10.8	0.45	1.5	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-5.79%
	L8	849+207.85	849+248.44	40.59	0.03	1943	3.3	10.8	0.45	1.5	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-5.79%
	L9	849+271.44	849+315.31	43.87	0.03	1943	3.3	10.8	0.45	1.5	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-5.79%
	L10	849+382.99	849+423.03	40.04	0.02	1943	3.3	10.8	0.45	1.5	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-5.79%
	L11	849+460.98	849+525.99	65.01	0.04	1943	3.3	10.8	0.45	1.5	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-5.79%
	L12	849+576.53	849+654.79	78.27	0.05	1943	3.3	10.8	0.45	1.5	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-5.79%
	L13	849+719.79	849+861.34	141.55	0.09	1943	3.3	10.8	0.45	1.5	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-5.79%
TRAMO 2	L14	849+898.17	849+932.13	33.96	0.02	1943	3.3	10.8	0.45	1.5	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-5.79%
	L15	849+999.69	850+077.80	78.11	0.05	1943	3.3	10.8	0.50	1.6	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-6.40%
	L16	850+107.83	850+592.88	485.05	0.30	1943	3.3	10.8	0.50	1.6	Asfalto	1	NO	NO	SI	5	NO	NO	-6.40%
	L17	850+631.37	850+713.81	82.43	0.05	1943	3.3	10.8	0.50	1.6	Asfalto	0	NO	NO	NO	6	NO	NO	-6.40%
	L18	850+765.19	850+802.32	37.13	0.02	1943	3.3	10.8	0.50	1.6	Asfalto	0	NO	NO	NO	6	NO	NO	-6.40%
	L19	850+832.41	850+851.64	19.23	0.01	1943	3.3	10.8	0.50	1.6	Asfalto	0	NO	NO	NO	6	NO	NO	-6.40%
	L20	850+885.51	851+006.46	120.95	0.07	1943	3.3	10.8	0.50	1.6	Asfalto	0	NO	NO	NO	6	NO	NO	-6.40%
	L21	851+051.95	851+077.07	25.12	0.02	1943	3.3	10.8	0.50	1.6	Asfalto	0	NO	NO	NO	6	NO	NO	-6.40%
L22	851+133.72	851+205.31	71.59	0.04	1943	3.3	10.8	0.50	1.6	Asfalto	0	NO	NO	NO	6	NO	NO	-6.40%	
TRAMO 3	L23	851+242.75	851+376.70	133.95	0.08	1943	3.0	9.8	0.70	2.3	Asfalto	0	NO	NO	NO	6	NO	NO	-5.70%
	L24	851+446.92	851+500.44	53.52	0.03	1943	3.0	9.8	0.70	2.3	Asfalto	0	NO	NO	NO	6	NO	NO	-5.70%
	L25	851+617.86	851+650.83	32.97	0.02	1943	3.0	9.8	0.70	2.3	Asfalto	1	NO	NO	NO	6	NO	NO	-5.70%
	L26	851+688.27	851+706.07	17.80	0.01	1943	3.0	9.8	0.70	2.3	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-5.70%
	L27	851+828.42	851+862.21	33.79	0.02	1943	3.5	11.5	0.70	2.3	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-5.70%
	L28	851+927.85	851+938.58	10.72	0.01	1943	3.5	11.5	0.70	2.3	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-5.70%
	L29	851+952.85	851+992.03	39.19	0.02	1943	3.1	10.2	0.70	2.3	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-7.80%
	L30	852+018.85	852+051.15	32.30	0.02	1943	3.2	10.5	0.70	2.3	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-7.80%
	L31	852+144.25	852+159.30	15.05	0.01	1943	3.1	10.2	0.70	2.3	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-7.80%
	L32	852+177.08	852+196.05	18.97	0.01	1943	3.1	10.2	0.70	2.3	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-3.76%
	L33	852+229.76	852+268.82	39.06	0.02	1943	3.0	9.8	0.70	2.3	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-3.76%
	L34	852+309.85	852+335.57	25.72	0.02	1943	3.0	9.8	0.70	2.3	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-3.76%
	L35	852+370.88	852+390.00	19.11	0.01	1943	3.0	9.8	0.70	2.3	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-3.76%
	L36	852+448.11	852+483.66	35.54	0.02	1943	3.0	9.8	0.70	2.3	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-3.76%

Nota. El Resumen de dispositivos de control de tránsito y entorno de vía en Tangente que servirán de apoyo para los datos de ingreso del HSM; el resto de la información se presenta en el Anexo 7.

En relación con el análisis de los segmentos en tangente de la vía PE-3S Tramo en estudio Limatambo- Curahuasi, se da conocer lo siguiente:

1. El ancho de carril en la carretera presenta de 3.00 metros que representa el 43.10%, 3.10 metros el 0.9%, 3.2 metros el 44.0%, 3.30 metros el 14.4% y 3.50 metros el 0.6% de los 344 tramos en tangente.
2. El ancho de berma es variable teniendo 0.45 metros que representan el 8.7 %, 0.50 metros el 79.1 % y 0.55 metros el 5.5 %, 0.60 metros el 2.6 % y el 0.70 metros el 4.1% de la carretera de estudio.
3. La pendiente longitudinal, tiene como menor pendiente de 0.39% y una pendiente mayor de 8.90%
4. En la densidad de accesos, en los del kilómetro 848+683 al 893+337 presenta con 62 accesos en tangente.
5. Índice de riesgo, el 10.8 % de la carretera pertenece al RHR de 4, el 19.20% pertenece al RHR N°5, el 18.3% pertenece al RHR N°6 y el 51.7% al N.º 7.
6. La iluminación, solo el 13.7% de los segmentos analizados cuentan con iluminación en la carretera y el 86.3% esta con ausencia de esta.
7. Banda sonora, presentan en ciertos segmentos, pero las condiciones son malas por ende no se les considera.
8. Velocidad automatizada, no existe equipos de captación de exceso de velocidad en la carretera de estudio.
9. Tipo de pavimento en bermas, analizando en los 344 tramos son de pavimento y están en buen estado.
10. La transitabilidad en la carretera es buena.

Figura 93

Resumen de dispositivos de control de tránsito y entorno de vía en Curva

Dispositivos de control y entorno de vía en Curva																			
Tramo	Segmento	Radio		Longitud de Cuerda		IMDA AÑO 2025	Ancho de Carril		Ancho de Berma		Tipo de superficie	Accesos	Bandas Sonoras SI/NO	Velocidad Automatizada SI/NO	Iluminación SI/NO	INDICE DE RIESGO (1-2-3-4-5-6-7)	Carril de Adelant. NO	Carril de Giro a la Izq. NO	PENDIENTE LONGITUDINAL (%)
N°	TIPO	m	ml	m	ml		m	ft	m	ft									
TRAMO 1	CH-1	29.71	97.4738	30.89	0.02	1943	3.45	11.32	0.50	1.64	Asfalto	1	NO	NO	SI	5	NO	NO	-0.39%
	CH-2	77.85	255.4134	29.28	0.02	1943	3.45	11.32	0.50	1.64	Asfalto	0	NO	NO	SI	5	NO	NO	-0.39%
	CH-3	102.90	337.5984	63.03	0.04	1943	3.45	11.32	0.50	1.64	Asfalto	0	NO	NO	SI	5	NO	NO	-5.78%
	CH-4	178.21	584.6785	75.10	0.05	1943	3.45	11.32	0.50	1.64	Asfalto	2	NO	NO	SI	5	NO	NO	-5.78%
	CH-5	52.59	172.5394	43.52	0.03	1943	3.45	11.32	0.50	1.64	Asfalto	1	NO	NO	SI	5	NO	NO	-5.78%
	CH-6	36.56	119.9475	29.11	0.02	1943	3.75	12.30	0.50	1.64	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-3.51%
	CH-7	200.00	656.1680	3.27	0.00	1943	3.75	12.30	0.50	1.64	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-3.51%
	CH-8	199.50	654.5276	22.99	0.01	1943	3.75	12.30	0.50	1.64	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-3.51%
	CH-9	22.70	74.4751	45.26	0.03	1943	4.10	13.45	0.50	1.64	Asfalto	1	NO	NO	NO	5	NO	NO	-3.51%
	CH-10	200.00	656.1680	37.90	0.02	1943	3.45	11.32	0.50	1.64	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-5.28%
	CH-11	106.34	348.8845	50.06	0.03	1943	3.45	11.32	0.50	1.64	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-5.79%
	CH-12	197.39	647.6050	64.70	0.04	1943	3.45	11.32	0.50	1.64	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-5.79%
	CH-13	47.03	154.2979	35.90	0.02	1943	3.45	11.32	0.50	1.64	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-5.79%
	CH-14	21.22	69.6194	42.42	0.03	1943	4.10	13.45	0.50	1.64	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-5.79%
TRAMO 2	CH-15	127.83	419.3898	29.96	0.02	1943	3.50	11.48	0.70	2.30	Asfalto	1	NO	NO	NO	5	NO	NO	-6.50%
	CH-16	86.08	282.4147	38.17	0.02	1943	3.50	11.48	0.70	2.30	Asfalto	0	NO	NO	NO	5	NO	NO	-6.50%
	CH-17	60.27	197.7362	49.84	0.03	1943	3.50	11.48	0.70	2.30	Asfalto	0	NO	NO	NO	6	NO	NO	-6.50%
	CH-18	51.65	169.4554	29.67	0.02	1943	3.50	11.48	0.70	2.30	Asfalto	0	NO	NO	NO	6	NO	NO	-6.50%
	CH-19	40.42	132.6116	32.89	0.02	1943	3.50	11.48	0.70	2.30	Asfalto	0	NO	NO	NO	6	NO	NO	-6.50%
	CH-20	319.09	1046.8832	45.45	0.03	1943	3.50	11.48	0.70	2.30	Asfalto	0	NO	NO	NO	6	NO	NO	-6.50%
	CH-21	104.35	342.3557	55.95	0.03	1943	3.50	11.48	0.70	2.30	Asfalto	0	NO	NO	NO	6	NO	NO	-6.50%
	CH-22	39.30	128.9370	36.04	0.02	1943	3.50	11.48	0.70	2.30	Asfalto	0	NO	NO	NO	6	NO	NO	-6.50%
	CH-23	180.89	593.4711	69.78	0.04	1943	3.50	11.48	0.40	1.31	Asfalto	0	NO	NO	NO	6	NO	NO	-5.70%
	CH-24	103.43	339.3373	111.21	0.07	1943	3.50	11.48	0.40	1.31	Asfalto	0	NO	NO	NO	6	NO	NO	-5.70%
TRAMO 3	CH-25	37.33	122.4738	35.89	0.02	1943	3.50	11.48	0.40	1.31	Asfalto	0	NO	NO	NO	6	NO	NO	-6.50%
	CH-26	52.56	172.4410	96.54	0.06	1943	3.50	11.48	0.40	1.31	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-10.88%
	CH-27	38.64	126.7717	58.03	0.04	1943	4.50	14.76	0.40	1.31	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-2.50%
	CH-28	107.47	352.5919	14.26	0.01	1943	4.50	14.76	0.40	1.31	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-7.87%
	CH-29	143.42	470.5381	26.78	0.02	1943	3.50	11.48	0.40	1.31	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-7.87%
	CH-30	204.00	669.2914	92.29	0.06	1943	3.50	11.48	0.40	1.31	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-7.87%
	CH-31	76.65	251.4764	17.74	0.01	1943	3.20	10.50	0.40	1.31	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-7.87%
	CH-32	40.35	132.3819	32.74	0.02	1943	3.20	10.50	0.40	1.31	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-7.87%
	CH-33	59.18	194.1601	40.22	0.02	1943	3.50	11.48	0.40	1.31	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-7.87%
	CH-34	119.67	392.6181	35.18	0.02	1943	3.50	11.48	0.40	1.31	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-7.87%
	CH-35	163.52	536.4830	57.81	0.04	1943	3.50	11.48	0.40	1.31	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-7.87%
	CH-36	21.20	69.5538	41.10	0.03	1943	3.50	11.48	0.40	1.31	Asfalto	0	NO	NO	NO	7	NO	NO	-7.87%

Nota. El Resumen de dispositivos de control de tránsito y entorno de vía en Curva que servirán de apoyo para los datos de ingreso del HSM; el resto de la información se presenta en el Anexo 7.

En relación con el análisis de los segmentos en curva de la vía PE-3S Tramo en estudio Limatambo- Curahuasi, se da conocer lo siguiente:

1. El ancho de carril en la carretera presenta de 3.10 metros que representa el 3 %, 3.20m el 3 %, 3.3 m el 5.7 %, 3.4m el 33.8 %, 3.45 m el 2.7 %, 3.5m el 6.6 %, el 3.7m el 0.6%, el 3.8m el 3 %, 4m el 0.3 %, 4.1m el 1.8 %, el 4.3 m el 0.6 %, el 4.4m el 0.3 % y el 4.5m el 0.6% de los 331 tramos en Curva.
2. El ancho de berma es variable teniendo 0.40 metros que representan el 6.9 %, 0.50m el 29.3 %, 0.6m el 44.1 %, 0.7m el 3.9 %, 0.8m el 7.3 %, 0.9m el 3.3%, 1 metro el 0.3 %, 1.1m el 0.9 %, 1.2m el 3.6% y 1.3 m el 0.3 % de la carretera de estudio.
3. La pendiente longitudinal, tiene como menor pendiente de 0.39% y una pendiente mayor de -10.88%
4. En la densidad de accesos, en los del kilómetro 848+683 al 893+337 presenta con 37 accesos en curva.
5. Índice de riesgo, el 10.9 % de la carretera pertenece al RHR de 4, el 16.6 % pertenece al RHR N°5, el 17.5 % pertenece al RHR N°6 y el 55.0% al N.º 7.
6. La iluminación, solo el 13.3% de los segmentos analizados cuentan con iluminación en la carretera y el 86.7% esta con ausencia de esta.
7. Banda sonora, presentan en ciertos segmentos, pero las condiciones son malas por ende no se les considera.
8. Velocidad automatizada, no existe equipos de captación de exceso de velocidad en la carretera de estudio.
9. Tipo de pavimento en bermas, analizando en los 331 tramos son de pavimento y están en buen estado.

10. La transitabilidad en la carretera es buena.

b) Dispositivos de señalización de tránsito y/u otros

Figura 94

Inventario vial de la carretera Curahuasi - Limatambo



FORMATO: INVENTARIO VIAL

Factores geométricos y de tránsito en la accidentabilidad vial: Análisis de la carretera nacional PE-3S, tramo: km 893+337 (Limatambo) al km 848+683 (Curahuasi), mediante inspección de seguridad vial y el Highway Safety Manual 2010.



Datos de los Dispositivos de Control de Tránsito

CARRETERA	Carretera Nacional PE-3S Tramo Curahuasi-Limatambo	SEPTIEMBRE
RESPONSA	Bach. Terry Roberto Castillo Candia	
DEL KILOMETRO	AL KILOMETRO	848+683
CARRIL DE BAJADA		CARRIL DE BAJADA
PROGRESIVA	OBSERVACIONES	PROGRESIV
893+333	Objeto en la calzada: Señal Vertical Reguladora de restricción "VELOCIDAD MAXIMA PERMITIDA 50 KM/H" en buen estado	892+903
893+117	Objeto en la calzada: Señal Vertical preventiva "EMPALME EN ÁNGULO RECTO CON VÍA LATERAL A LA IZQUIERDA" en buen estado	892+853
892+874	Objeto en la calzada: Reductor de velocidad	982+541
892+625	Objeto en la calzada:Señal Vertical preventiva por características geométricas horizontales de la vía "CURVA A LA IZQUIERDA" en buen estado	892+437
892+516	Objeto en la calzada: Señal vertical reglamentaria de "PARE" en buen estado	892+374
892+401	Objeto en la calzada: Señal vertical informativa de "PARADERO" en buen estado	892+266
892+225	Objeto en la calzada: metros Objeto en la calzada: Señal Vertical preventiva por características geométricas de la vía	891+216
891+569	Objeto en la calzada: Señal Vertical preventiva por características geométricas horizontales de la vía "BADEN" en buen estado	890+832

Objeto en la calzada: Señal Vertical preventiva por características geométricas horizontales de la vía "CURVA A LA IZQUIERDA" en buen estado.

Objeto en la calzada: Señal Vertical preventiva por características geométricas horizontales de la vía "ZONA DE DERRUMBRE"; en buen estado

Objeto en la calzada: Señal Vertical preventiva por características geométricas horizontales de la vía "CURVA A LA DERECHA" en buen estado.

Objeto en la calzada: Señal vertical de regulacion "PARE" en buen estado

Objeto en la calzada: Señal Vertical preventiva por reductor de velocidad en buen estado.

Objeto en la calzada: Señal Vertical Informativa en buen estado.

Objeto en la calzada: Señal Vertical preventiva por características geométricas horizontales de la vía "BADEN" en buen estado.

Objeto en la calzada: Señal Vertical Informativa, en buen estado.

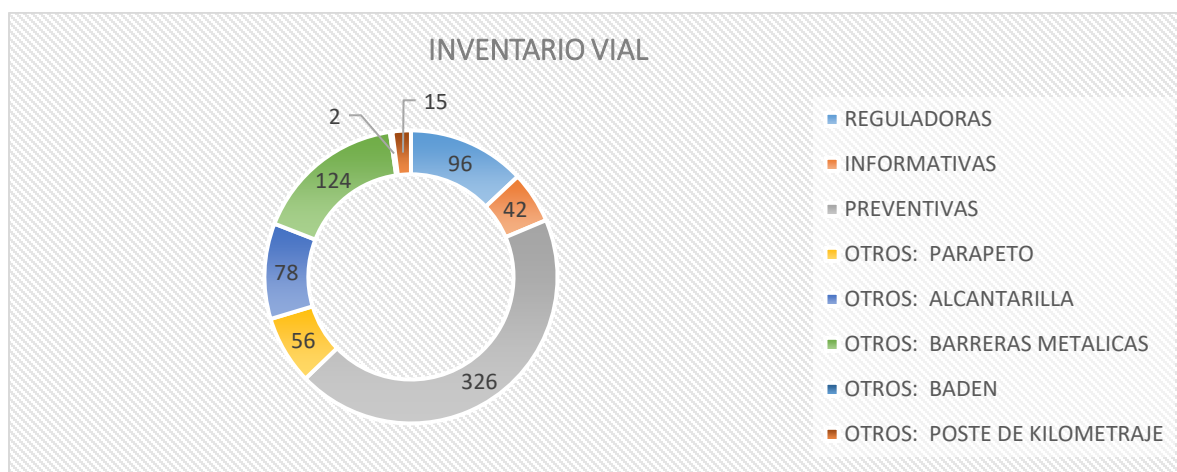
Nota. El inventario vial se hizo mediante la cámara filmadora y con apoyo del Ortomosaico para sacar las progresivas. Este inventario servirá para la evaluación con la metodología HSM. El resto del inventario vial se presenta en el Anexo 8.

En cuanto a las señalizaciones de tránsito y/u otros se muestra en la siguiente tabla los valores que se obtuvo.

Tabla 19*Inventario vial*

Inventario vial tramo Curahuasi-Limatambo			
	Tipo	Cantidad	Total
Señalización vertical	Reguladoras	96	464
	Informativas	42	
	Preventivas	326	
	Parapeto	56	
	Alcantarilla	78	
Otros	Barreras metálicas(guardavía)	124	275
	Baden	2	
	Poste de kilometraje	15	
Total		739	

Nota. Se omitieron las señales horizontales por encontrarse en un mal estado.

Figura 95*Inventario vial del tramo de estudio*

Nota. Se obtuvo un total de 464 señalizaciones verticales, de los cuales 96 son reguladoras, 42 informativas y 326 preventivas. Por otro lado, se obtuvo que hay 56 parapetos, 78 alcantarillas, 124 guardavías, 15 postes de kilometraje y 2 badenes dando un total del inventario vial de 739.

c) Inspección de seguridad vial (ISV)-Check list

Figura 96

Cuadro de Check List

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
LISTA DE CHEQUEO, INSPECCIÓN DE SEGURIDAD VIAL		REVISADO	COMENTARIOS
SEÑALES VERTICALES	¿Existe concordancia entre las señales verticales y las señales horizontales?	3	Existen señales horizontales en mal estado
	¿Entregan mensajes claros y sencillos a los usuarios? Ej. Íconos en vez de textos.	4	Algunos dispositivos de control de tránsito son cubiertos por la vegetación.
	¿Hay necesidad de colocar señalización vertical para ciclistas, motociclistas u otros?	3	Si ya que toda la ruta pasan considerables motos y ciclistas
	¿Se encuentran y son visibles todas las señales preventivas requeridas?	3	Algunos dispositivos de control de tránsito son cubiertos por la vegetación.
SEÑALES HORIZONTALES	¿Proporcionan las marcas viales el más alto grado de seguridad a todos los grupos de usuarios de la vía?	2	Falta de marcas viales en la Progresiva Km 851+700 al 82+600
	¿Son visibles de día las demarcaciones longitudinales? (Central, borde y pistas)	4	Son visibles las demarcaciones
	¿Están adecuadamente indicadas las zonas de "No Adelantar"	2	falta colocar la señalizaciones en varios tramos
	¿Son visibles de noche las Tachas y/o Tachones? (Casi toda vía requiere de tachas)	4	si son visibles
	¿Existe concordancia entre la señalización vertical y horizontal, en cuanto a las zonas de "No Adelantar"?	3	falta señalizaciones verticales y horizontales en tramos en curva
	¿Existen posibilidades de adelantar a vehículos pesados donde hay altos volúmenes de tránsito?	5	Si, existen tramos pero se vuelven peligrosos
ILUMINACION	¿Está la carretera adecuadamente iluminada?	2	Solo en ciertos tramos de la carretera
	¿Es la distancia de visibilidad nocturna adecuada para la velocidad de tránsito que está usando la ruta?	1	Es necesario que el vehículo prenda sus luces
PAVIMENTO	¿Está el pavimento relativamente libre de defectos, surcos, ondulaciones y/o similares, que podrían generar situaciones de riesgo?	3	Existe presencia de derrumbes y zona de fallas
	¿El pavimento está libre de zonas de estancamiento o capas de agua?	5	Esta libre de estacionamientos
	¿Es adecuado el peralte y bombeo de la calzada?	4	Si es de acuerdo
	¿Es uniforme el peralte y bombeo?	3	El peralte varía de acuerdo al Radio de curvatura
	¿Podrían generar riesgos los reductores de velocidad por ser demasiados agresivos en su conformación?	3	No, siempre y cuando lo acompañe una señal vertical
BERMAS	¿Es el ancho de la berma suficiente para detener un vehículo con averías?	1	No es suficiente la berma
	¿Se mantiene el ancho de berma en puentes y sus accesos?	1	No se mantiene los anchos de berma
	¿Las bermas se encuentran pavimentadas?	5	Si, en su totalidad
	¿Hay suficiente pendiente en las bermas para garantizar su drenaje?	4	Si existe suficiente pendiente para drenar
	¿Existen desniveles entre el pavimento y la berma?	3	Presenta desnivel en algunas secciones de la vía
PUENTES	¿La alineación de acercamiento a puentes es compatible con la velocidad de operación de la vía?	4	No es compatible, ya que el tramo homogéneo de la carretera debe ser como mínimo de 3 km,
	¿Existen restricciones de galíbo, producto de la estructura del puente? (Puente con sobre estructura).	1	No existe
	¿Existen desperfectos importantes en la superficie de la losa del puente?	5	Esta en mantenimiento el puente "Quebrada Honda"
BARRERAS	¿Están todos los postes de energía eléctrica, árboles, etc., a una distancia segura del tránsito vehicular?	3	Si, con excepción de algunos tramos
	¿Las barreras de contención están instaladas donde son necesarias?	3	Faltan barreras de protección
	¿Es suficiente la longitud de las barreras?	4	si es suficiente

LISTA DE CHEQUEO, INSPECCIÓN DE SEGURIDAD VIAL		REVISADO	COMENTARIOS
VISIBILIDAD Y VELOCIDAD	¿La distancia de visibilidad es adecuada para la velocidad de tránsito que está usando la ruta?	2	Si, pero no en su mayoría de tramos
	¿Existen taludes de corte que limitan la distancia de visibilidad?	3	existen y se podrían mejorar con banquetas de visibilidad
	¿Existen combinaciones de curvatura horizontal y vertical que generen limitaciones de visibilidad?	2	si existe pero no es la suficiente
	¿Es el alineamiento vertical y horizontal coherente con la velocidad de operación de la vía?	2	No para la vía estudiada
	¿Está indicado a lo largo de la vía, la velocidad máxima permitida?	2	
	¿El límite de velocidad es compatible con la función, la geometría de la vía, el uso de suelo y la distancia de visibilidad?	2	Es inadecuado para las por diseño por demandada
	El diseño geométrico de la vía, ¿es adecuado de acuerdo a la función de la carretera y la velocidad de diseño?	2	para una velocidad de 50km/hr cumple regularmente pero si incrementa ya
	¿Está indicado a lo largo de la vía, la velocidad máxima permitida?	2	En algunos tramos esta indicado
ALINEAMIENTO Y SECCION TRANSVERSAL	¿Existen terrenos con acceso directo a la ruta?	2	En algunos sectores de la carretera
	¿Queda claro la reducción y el aumento de velocidad máxima permitida?	1	No, no indica en la carretera
	¿Los anchos de las pistas y de las calzadas son adecuadas para el volumen y composición del tránsito?	2	los anchos no son uniformes a los largo de la vía
	¿Es adecuado el peralte existente en las curvas?	4	si, en la mayoría cumple
	¿Algún contra peralte es manejado en forma segura? (Para automóviles, camiones, etc.)	1	no existe
	¿La pendiente transversal (calzada y berma) permite adecuado drenaje de la superficie?	4	Si permite el drenaje
	¿Existen carriles auxiliares para vehículos lentos tales como, camiones, buses de contar con pendientes importantes?	1	no existe ninguno
	¿Están adecuadamente señalizadas las pendientes importantes?	4	si estan bien señalizadas
	¿Existen suficientes oportunidades de adelantamiento?	3	En algunos tramos pero es peligroso por la cercanía de curva
	Las alineaciones curvas, ¿presentan los radios adecuados a la velocidad de diseño prevista?	2	en su mayoría no la presenta
	¿Se garantizan las transiciones de velocidad entre alineación recta y curva?	2	en la mayoría de tramos no se contempla
	¿Son adecuados el radio de giro según la velocidad de aproximación?	1	en su mayoría no la presenta
	¿Existen taludes de corte que limitan la distancia de visibilidad?	3	En algunos sectores de la carretera
ACCESOS	¿La demarcación del pavimento y señales que regulan la intersección son satisfactorias?	1	no presenta demarcaciones
USUARIOS	¿Existe un espacio longitudinal a lo largo de la vía para el desplazamiento seguro de peatones y ciclistas?	1	no existe ninguno
	¿Están adecuadamente señalizados los cruces para los usuarios vulnerables?	1	no estan señalizados
	¿Pueden los conductores ver a los peatones en el refugio claramente?	2	si, pero a una velocidad baja
	¿Las paradas de buses en áreas rurales son señalizadas con anticipación?	1	no estan señalizados

Nota. Se considero una sola hoja para la inspección. Por otro lado, las señales verticales y horizontales se encuentran en buen estado y correctamente delimitadas. No se contempla iluminación vial en la totalidad de la carretera. El pavimento presenta buenas condiciones; sin embargo, las bermas tienen anchos insuficientes. El único puente en mal estado corresponde al puente Quebrada Honda, mientras que las barreras de seguridad metálicas se encuentran en buen estado. La visibilidad y la velocidad de diseño no son coherentes con la función de la vía; los anchos de calzada son mínimos, existen limitadas oportunidades de adelantamiento y varios radios de curva no cumplen con la DG-2018. Asimismo, los accesos carecen de demarcación y los usuarios vulnerables no disponen de espacios adecuados. La inspección de seguridad vial se hizo en general para el tramo de estudio.

5.1.5 Highway Safety Manual

5.1.5.1 Primer análisis de la metodología HSM. Para este proceso haremos uso de la Figura 79 y Figura 80 que nos servirá como base de datos de entrada para el primer análisis de la carretera en condiciones actuales, para la aplicación de la metodología del HSM.

I. Segmentos en tangente

Se utilizó el tramo 1 del 848+683.00 al 848+720.88 como ejemplo para los cálculos descritos en la parte teórica.

- **Función de desempeño de seguridad (F_{DS}).**

Para el segmento seleccionado, se aplica el FDS utilizando la ecuación 02, indicando la longitud del segmento tangente 37.88 m o 0.023 millas y en el año 2020 el IMDA fue de 1856 veh/día.

$$N_{FDS} = \text{IMDA} \times L \times 365 \times 10^{-6} \times e^{(-0.312)}$$

$$N_{FDS} = 1856 \times 0.023 \times 365 \times 10^{-6} \times e^{(-0.312)}$$

$$N_{FDS} = 0.0116$$

- **Factores de modificación de accidentes (FMAs)**

Los factores de modificación de accidentes se emplean para ajustar la estimación de la función de desempeño de seguridad (FDS) de acuerdo con las características geométricas y los dispositivos de control de tránsito presentes en la vía. Cada FMA presenta un valor de 1.00 bajo las condiciones base establecidas por el método predictivo; cuando, al efectuar el cálculo, dichos valores son menores a 1.00, ello representa una reducción en la frecuencia de accidentes respecto a las condiciones base de la carretera. En cambio, si los valores obtenidos superan el 1.00, se interpreta como un incremento en la frecuencia de accidentes estimada. Para la vía en estudio (Limatambo–Curahuasi), se considera un total de doce FMAs.

1. Ancho de carril (FMA_1)

Para el presente FMA se tiene un IMDA igual a 1856 y un ancho de carril de 3.30 m o 10.83 ft el cual se aproxima a 10 ft y 11 ft el cual mediante la tabla 5 se aplicará las fórmulas y así obtener el resultado de 1.0862. además, para él Para tendrá un valor de 0.574 (Valor recomendado por el HSM). Los valores obtenidos se utilizan en la ecuación 04.

$$FMA_1 = (FMA_{ra} - 1) \times P_{ra} + 1$$

$$FMA_1 = (1.0852 - 1) \times 0.574 + 1$$

$$FMA_1 = 1.0489$$

2. Ancho y tipo de berma (FMA_2)

Para el segmento seleccionado, el ancho promedio de la berma es de 0.45 m (equivalente a 1.48 ft), valor que se aproxima a 2 ft para la aplicación de la fórmula correspondiente. Este dato permite realizar el proceso de interpolación utilizando las expresiones de la Tabla 6, obteniéndose un valor de 1.326. La berma en este tramo es de tipo pavimentado y el IMDA registrado es de 1856; ambos parámetros fueron empleados para calcular el FMA_{wra} y en la Tabla 7 para determinar el FMA_{tra} , los cuales se sustituyeron posteriormente en la Ecuación 05. Para este FMA se adoptó un valor de $P_{ra}=0.574$, conforme a la recomendación del HSM.

$$FMA_2 = (FMA_{wra} \times FMA_{tra} - 1.0) \times P_{ra} + 1.0$$

$$FMA_2 = (1.326 \times 1 - 1.0) \times 0.574 + 1.0$$

$$FMA_2 = 1.1874$$

3. Pendiente longitudinal (FMA_5)

Para el segmento seleccionado, la pendiente longitudinal es de +0.39%. El FMA correspondiente se determina utilizando la Tabla 10, considerando el tipo de terreno. Dado que se trata de un segmento bidireccional, el signo de la pendiente no se toma en cuenta. En este caso, la

pendiente clasifica al tramo como terreno llano ($\leq 3\%$), por lo que el valor del FMA asignado es 1.00.

4. Densidad de accesos (FMA_6)

En el segmento analizado no se registran accesos, por lo que se omite la aplicación de la Ecuación 07 y se asigna directamente un valor de 1.00 al FMA_6 . Este valor corresponde a la condición base establecida por el HSM, la cual se aplica cuando la densidad de accesos es menor a 5 por milla.

5. Banda sonora central (FMA_7)

En el segmento evaluado no se observa la presencia de banda sonora central, En consecuencia, se asigna un FMA de 1.00. Este valor corresponde a la condición base establecida en el HSM, la cual se aplica cuando el tramo no cuenta con delineadores centrales.

6. Carril de adelantamiento (FMA_8)

En el segmento analizado no se dispone de carriles de adelantamiento; en consecuencia, se asigna un FMA de 1.00, correspondiente a la condición base definida por el HSM

7. Carril para giro a la izquierda (FMA_9)

a carretera analizada no cuenta con carril de giro a la izquierda en ningún punto de su trayectoria; por ello, para este segmento se asigna un valor de FMA igual a 1.00

8. Índice de riesgo (FMA_{10})

A partir de la verificación in situ se determinó un índice de riesgo igual a 5. Empleando la Ecuación 10, dicho valor permitió calcular el FMA correspondiente.

$$FMA_{10} = \frac{e^{(*0.6869+0.0668 \times 5)}}{e^{(-0.4865)}}$$

$$FMA_{10} = \frac{e^{(*0.6869+0.0668 \times 5)}}{e^{(-0.4865)}}$$

$$FMA_{10} = 1.1429$$

9. Iluminación (FMA_{11})

El segmento evaluado cuenta con iluminación en toda su longitud; por lo tanto, se utiliza la Ecuación 11 para determinar el FMA correspondiente. Para este cálculo se emplean los valores predeterminados de $P_{inr}=0.382$ $P_{pnr}=0.618$ y $P_{nr}=0.370$. Estos coeficientes provienen de las recomendaciones del HSM.

Para el segmento “L1” no contiene iluminación se coloca 1.00.

10. Velocidad automatizada (FMA_{12})

En el segmento de carretera de ejemplo no tiene disponible de un sistema de velocidad automatizada; por lo tanto, se aplica un FMA de 1.00.

II. Segmentos en Curva

Se utilizó el tramo 1 del 848+683.00 al 848+720.88 como ejemplo para los cálculos descritos en la parte teórica.

- **Función de desempeño de seguridad (F_{DS}).**

Para el segmento seleccionado, se aplica el FDS utilizando la ecuación 02, indicando la longitud del segmento curva 30.89 m o 0.019 millas y en el año 2020 el IMDA fue de 1856 veh/año.

$$N_{FDS} = IMDA \times L \times 365 \times 10^{-6} \times e^{(-0.312)}$$

$$N_{FDS} = 1856 \times 0.01915 \times 365 \times 10^{-6} \times e^{(-0.312)}$$

$$N_{FDS} = 0.0095$$

- **Factores de modificación de accidentes (FMAs)**

1. Ancho de carril (FMA_1)

Para el presente FMA se tiene un IMDA igual a 1856 y un ancho de carril de 3.45 m o 11.32 ft el cual se aproxima a 10 ft y 11 ft el cual mediante la tabla 5 se aplicará las fórmulas y así obtener el resultado de 1.0316. además, para el P_{ra} tendrá un valor de 0.574 (Valor recomendado por el HSM). Los valores obtenidos se utilizan en la ecuación 04.

$$FMA_1 = (FMA_{ra} - 1) \times P_{ra} + 1$$

$$FMA_1 = (1.0316 - 1) \times 0.574 + 1$$

$$FMA_1 = 1.0181$$

2. Ancho y tipo de berma (FMA_2)

Para el segmento seleccionado, el ancho promedio de la berma es de 0.5 m (equivalente a 1.64 ft), valor que se aproxima a 2 ft para la aplicación de la fórmula correspondiente. Este dato permite realizar el proceso de interpolación utilizando las expresiones de la Tabla 6, obteniéndose un valor de 1.3116. La berma en este tramo es de tipo pavimentado y el IMDA registrado es de 1856; para calcular el FMA_{wra} se usa la Tabla 6 para determinar el FMA_{tra} , la tabla 7, los cuales se sustituyeron posteriormente en la Ecuación 05. Para este FMA se adoptó un valor de $P_{ra}=0.574$, conforme a la recomendación del HSM.

$$FMA_2 = (FMA_{wra} \times FMA_{tra} - 1.0) \times P_{ra} + 1.0$$

$$FMA_2 = (1.3116 \times 1 - 1.0) \times 0.574 + 1.0$$

$$FMA_2 = 1.1789$$

3. Curvas horizontales (FMA_3)

Para el segmento curva escogido, se presenta el radio de curvatura de 30.89 m o 0.0192 millas y un radio de 29.71 m o 97.47 ft, no presenta una transición espiral. El CMF3r se estima usando la ecuación 06.

$$FMA_3 = \frac{(1.55 \times L_C) + \left(\frac{80.2}{R}\right) - (0.012 \times S)}{(1.55 \times L_C)}$$

$$FMA_3 = \frac{(1.55 \times 0.0192) + \left(\frac{80.2}{97.47}\right) - (0.012 \times 0)}{(1.55 \times 0.0192)}$$

$$FMA_{3r} = 28.717$$

4. Peralte (FMA_4)

El segmento de ejemplo muestra la curva con un peralte 5.39%. El AMF4r se calcula mediante la tabla 9.

$$FMA_4 = 1.06 + 3x(SV - 0.02)$$

$$FM_4 = 1.06 + 3(5.39\% - 0.02)$$

$$FM_4 = 1.162$$

5. Pendiente longitudinal (FMA_5)

Para el segmento seleccionado, la pendiente longitudinal es de +0.39%. El FMA correspondiente se determina utilizando la Tabla 10, considerando el tipo de terreno. Dado que se trata de un segmento bidireccional, el signo de la pendiente no se toma en cuenta. En este caso, la pendiente clasifica al tramo como terreno llano ($\leq 3\%$), por lo que el valor del FMA asignado es 1.00.

6. Densidad de accesos (FMA_6)

En el segmento analizado no se registran accesos, por lo que se omite la aplicación de la Ecuación 07 y se asigna directamente un valor de 1.00 al FMA_6 . Este valor corresponde a la condición base establecida por el HSM, la cual se aplica cuando la densidad de accesos es menor a 5 por milla.

7. Banda sonora central (FMA_7)

En el segmento evaluado no se observa la presencia de banda sonora central, En consecuencia, se asigna un FMA de 1.00. Este valor corresponde a la condición base establecida en el HSM, la cual se aplica cuando el tramo no cuenta con delineadores centrales.

8. Carril de adelantamiento (FMA_8)

En el segmento analizado no se dispone de carriles de adelantamiento; en consecuencia, se asigna un FMA de 1.00, correspondiente a la condición base definida por el HSM

9. Carril para giro a la izquierda (FMA_9)

La carretera analizada no cuenta con carril de giro a la izquierda en ningún punto de su trayectoria; por ello, para este segmento se asigna un valor de FMA igual a 1.00

10. Índice de riesgo (FMA_{10})

A partir de la verificación in situ se determinó un índice de riesgo igual a 5. Empleando la Ecuación 10, dicho valor permitió calcular el FMA correspondiente.

$$FMA_{10} = \frac{e^{(*0.6869+0.0668 \times 5)}}{e^{(-0.4865)}}$$

$$FMA_{10} = \frac{e^{(*0.6869+0.0668 \times 5)}}{e^{(-0.4865)}}$$

$$FMA_{10} = 1.1429$$

11. Iluminación (FMA_{11})

El segmento evaluado cuenta con iluminación en toda su longitud; por lo tanto, se utiliza la Ecuación 11 para determinar el FMA correspondiente. Para este cálculo se emplean los valores predeterminados de $P_{inr}=0.382$ $P_{pnr}=0.618$ y $P_{nr}=0.370$. Estos coeficientes provienen de las recomendaciones del HSM.

Para el segmento “CH-1” si tiene contiene iluminación y nos da 0.9216.

12. Velocidad automatizada (FMA_{12})

En el segmento de carretera de ejemplo no tiene disponible de un sistema de velocidad automatizada; por lo tanto, se aplica un FMA de 1.00.

Una vez concluido con pasaremos a usar los siguientes ítems según la metodología HSM

a) Combinación de accidentes

La combinación de accidentes es un coeficiente estadístico que nos permitirá integrar de manera ponderada los accidentes. Para este paso se hace un producto de los 12 FMAs obtenidos

b) Frecuencia promedio de accidentes predichos

Para ello se hará un producto entre la Función de Desempeño de seguridad (FDS), y los Factor de modificación de accidentes (FMAs) y el factor de calibración (c), que para nuestro caso al ser su primer análisis y su primera evaluación con esta metodología es considerada como 1

A partir de este procedimiento, se desarrolló el análisis correspondiente, el cual será aplicado de manera sistemática a los 32 tramos identificados dentro del área de estudio, que comprenden segmentos tanto en tangente como en curva. Este enfoque permite evaluar de forma

individual el comportamiento de la accidentabilidad en cada segmento de la vía, considerando las particularidades geométricas y operacionales propias de cada tramo.

Finalmente, los resultados obtenidos a partir del método predictivo del HSM serán integrados en el siguiente paso (c), mediante la aplicación del método Empírico de Bayes, el cual combina de manera ponderada la información de accidentes observados con los valores predichos por el modelo. Este procedimiento contribuye a reducir la variabilidad asociada a los registros históricos y a obtener estimaciones más confiables y representativas del número esperado de accidentes, fortaleciendo así la evaluación integral de la seguridad vial y la identificación de tramos con mayor nivel de riesgo dentro del tramo de estudio.

c) Accidentes esperados, aplicando el método Empírico Bayes

permite ajustar el número de accidentes esperados en los 32 tramos analizados. En una primera etapa, se calcula el producto entre los accidentes predichos y el parámetro de sobredispersión (k), así como su raíz, la cual interviene en la determinación del peso bayesiano.

Posteriormente, estos resultados se integran mediante las ecuaciones 13 y ecuaciones 4 del HSM, obteniéndose el número de accidentes esperados ($N_{\text{esperados}}$). Este procedimiento combina de forma ponderada la información observada y la predicha, generando estimaciones más confiables de la accidentabilidad.

Finalmente, con los valores ajustados se determina el factor de calibración, el cual permite adaptar el modelo del HSM a las condiciones locales. Dicho factor será utilizado en un segundo análisis para evaluar el efecto de la propuesta de mejora vial y comparar los resultados antes y después de la intervención.

Figura 97

Accidentes Esperados por Segmento en tangente, años 2020 – 2024

TRAMOS	SEGMENTOS EN TANGENTE	PROGRESIVAS		FRECUENCIA DE ACCIDENTES PREDICHOS					FRECUENCIA DE ACCIDENTES ESPERADOS				
		INICIO	FIN	2020	2021	2022	2023	2024	2020	2021	2022	2023	2024
				1.185	1.180	1.004	1.268	1.446	Npred*C				
TRAMO 1	L1	848+683.00	848+720.88	0.01658	0.01676	0.01696	0.01714	0.01734	0.01965	0.01986	0.02009	0.02031	0.02055
	L2	848+753.36	848+763.54	0.00446	0.00450	0.00456	0.00461	0.00466	0.00528	0.00534	0.00540	0.00546	0.00552
	L3	848+792.99	848+832.04	0.01575	0.01592	0.01611	0.01628	0.01647	0.01867	0.01887	0.01909	0.01930	0.01952
	L4	848+896.10	848+957.65	0.02731	0.02761	0.02793	0.02823	0.02856	0.03236	0.03272	0.03310	0.03346	0.03384
	L5	849+033.32	849+039.98	0.00296	0.00299	0.00303	0.00306	0.00309	0.00351	0.00354	0.00359	0.00362	0.00367
	L6	849+084.85	849+103.00	0.00873	0.00883	0.00893	0.00903	0.00913	0.01035	0.01047	0.01059	0.01070	0.01083
	L7	849+132.94	849+204.58	0.03449	0.03487	0.03527	0.03566	0.03606	0.04087	0.04132	0.04180	0.04226	0.04274
	L8	849+207.85	849+248.44	0.01954	0.01976	0.01999	0.02020	0.02043	0.02316	0.02341	0.02369	0.02394	0.02422
	L9	849+271.44	849+315.31	0.02112	0.02135	0.02160	0.02184	0.02209	0.02503	0.02531	0.02560	0.02588	0.02618
	L10	849+382.99	849+423.03	0.01928	0.01949	0.01972	0.01993	0.02016	0.02284	0.02310	0.02336	0.02362	0.02389
	L11	849+460.98	849+525.99	0.03130	0.03164	0.03201	0.03236	0.03273	0.03709	0.03750	0.03794	0.03835	0.03879
	L12	849+576.53	849+654.79	0.03768	0.03809	0.03854	0.03896	0.03940	0.04465	0.04515	0.04567	0.04617	0.04670
	L13	849+719.79	849+861.34	0.06815	0.06890	0.06970	0.07046	0.07126	0.08076	0.08165	0.08260	0.08350	0.08445
	L14	849+898.17	849+932.13	0.01635	0.01653	0.01672	0.01690	0.01710	0.01937	0.01959	0.01982	0.02003	0.02026
TRAMO 2	L15	849+999.69	850+077.80	0.03937	0.03980	0.04026	0.04070	0.04116	0.04666	0.04717	0.04772	0.04823	0.04878
	L16	850+107.83	850+592.88	0.22532	0.22779	0.23042	0.23291	0.23556	0.26702	0.26996	0.27308	0.27603	0.27917
	L17	850+631.37	850+713.81	0.04442	0.04491	0.04543	0.04592	0.04644	0.05264	0.05322	0.05383	0.05442	0.05504
	L18	850+765.19	850+802.32	0.02001	0.02023	0.02046	0.02068	0.02092	0.02371	0.02397	0.02425	0.02451	0.02479
	L19	850+832.41	850+851.64	0.01036	0.01047	0.01060	0.01071	0.01083	0.01228	0.01241	0.01256	0.01269	0.01284
	L20	850+885.51	851+006.46	0.06517	0.06589	0.06665	0.06737	0.06814	0.07724	0.07809	0.07899	0.07984	0.08075
	L21	851+051.95	851+077.07	0.01354	0.01369	0.01384	0.01399	0.01415	0.01604	0.01622	0.01641	0.01658	0.01677
	L22	851+133.72	851+205.31	0.03858	0.03900	0.03945	0.03988	0.04033	0.04572	0.04622	0.04675	0.04726	0.04780
	L23	851+242.75	851+376.70	0.07462	0.07551	0.07646	0.07735	0.07831	0.08843	0.08949	0.09061	0.09167	0.09280
	L24	851+446.92	851+500.44	0.02982	0.03017	0.03055	0.03091	0.03129	0.03534	0.03576	0.03621	0.03663	0.03708
TRAMO 3	L25	851+617.86	851+650.83	0.01837	0.01858	0.01882	0.01904	0.01927	0.02177	0.02202	0.02230	0.02256	0.02284
	L26	851+688.27	851+706.07	0.01060	0.01073	0.01086	0.01099	0.01112	0.01256	0.01271	0.01287	0.01302	0.01318
	L27	851+828.42	851+862.21	0.01737	0.01755	0.01774	0.01792	0.01812	0.02058	0.02080	0.02103	0.02124	0.02147
	L28	851+927.85	851+938.58	0.00551	0.00557	0.00563	0.00569	0.00575	0.00653	0.00660	0.00667	0.00674	0.00681
	L29	851+952.85	851+992.03	0.02379	0.02406	0.02436	0.02464	0.02493	0.02819	0.02852	0.02887	0.02920	0.02955
	L30	852+018.95	852+051.15	0.01886	0.01907	0.01930	0.01951	0.01974	0.02235	0.02260	0.02287	0.02312	0.02339
	L31	852+144.25	852+159.30	0.00914	0.00924	0.00936	0.00946	0.00958	0.01083	0.01095	0.01109	0.01121	0.01135
	L32	852+177.08	852+196.05	0.01130	0.01143	0.01158	0.01171	0.01186	0.01339	0.01355	0.01372	0.01388	0.01405
	L33	852+228.76	852+268.82	0.02248	0.02274	0.02302	0.02329	0.02357	0.02665	0.02696	0.02728	0.02760	0.02793
	L34	852+309.85	852+335.57	0.01481	0.01498	0.01516	0.01533	0.01552	0.01755	0.01775	0.01797	0.01817	0.01839
	L35	852+370.88	852+390.00	0.01100	0.01113	0.01127	0.01139	0.01153	0.01304	0.01319	0.01335	0.01350	0.01367
	L36	852+448.11	852+483.66	0.02046	0.02070	0.02095	0.02119	0.02145	0.02425	0.02453	0.02483	0.02511	0.02544
	L37	852+539.72	852+576.72	0.02307	0.02335	0.02364	0.02391	0.02420	0.02734	0.02767	0.02801	0.02834	0.02868
	L38	852+617.92	852+727.91	0.06859	0.06940	0.07026	0.07108	0.07195	0.08128	0.08224	0.08326	0.08423	0.08526
TRAMO 4	L39	852+758.97	852+904.77	0.08505	0.08605	0.08712	0.08813	0.08921	0.10079	0.10198	0.10325	0.10445	0.10573
	L40	852+948.12	852+970.48	0.01304	0.01319	0.01336	0.01351	0.01368	0.01545	0.01564	0.01583	0.01602	0.01621
	L41	852+997.63	853+054.06	0.03079	0.03115	0.03154	0.03191	0.03230	0.03649	0.03692	0.03738	0.03781	0.03828
	L42	853+090.25	853+199.62	0.06379	0.06455	0.06535	0.06611	0.06692	0.07560	0.07650	0.07745	0.07835	0.07930
	L43	853+314.41	853+347.05	0.02035	0.02059	0.02085	0.02109	0.02135	0.02412	0.02441	0.02471	0.02500	0.02530
	L44	853+382.85	853+422.34	0.02304	0.02331	0.02360	0.02387	0.02417	0.02730	0.02763	0.02797	0.02829	0.02864
	L45	853+449.81	853+694.01	0.14244	0.14412	0.14591	0.14761	0.14942	0.16881	0.17080	0.17292	0.17493	0.17707
	L46	853+771.41	853+783.72	0.00634	0.00641	0.00648	0.00655	0.00662	0.00751	0.00759	0.00768	0.00776	0.00785
	L47	853+805.91	853+900.12	0.05184	0.05241	0.05302	0.05360	0.05421	0.06144	0.06211	0.06284	0.06352	0.06424
	L48	853+902.99	853+972.35	0.03816	0.03858	0.03903	0.03946	0.03991	0.04523	0.04573	0.04626	0.04676	0.04730
TRAMO 5	L49	854+025.31	854+040.18	0.00818	0.00827	0.00837	0.00846	0.00856	0.00970	0.00981	0.00992	0.01003	0.01014
	L50	854+070.39	854+143.23	0.04008	0.04052	0.04099	0.04144	0.04191	0.04750	0.04803	0.04858	0.04911	0.04967
	L51	854+232.24	854+251.51	0.01060	0.01072	0.01084	0.01096	0.01109	0.01256	0.01270	0.01285	0.01299	0.01314
	L52	854+260.95	854+288.98	0.01542	0.01559	0.01577	0.01595	0.01613	0.01828	0.01848	0.01869	0.01890	0.01911
	L53	854+321.56	854+356.73	0.01935	0.01957	0.01979	0.02001	0.02024	0.02293	0.02319	0.02346	0.02371	0.02398
	L54	854+418.64	854+467.32	0.02678	0.02708	0.02740	0.02769	0.02801	0.03174	0.03209	0.03247	0.03282	0.03319
	L55	854+530.42	854+607.71	0.04252	0.04299	0.04349	0.04397	0.04447	0.05040	0.05095	0.05154	0.05211	0.05270
	L56	854+681.76	854+769.55	0.04831	0.04884	0.04941	0.04994	0.05052	0.05725	0.05788	0.05855	0.05919	0.05987
	L57	854+809.14	854+906.57	0.05361	0.05420	0.05483	0.05542	0.05606	0.06353	0.06423	0.06498	0.06568	0.06644
	L58	854+912.79	855+046.65	0.07365	0.07447	0.07533	0.07615	0.07702	0.08729	0.08825	0.08928	0.09025	0.09128
	L59	855+082.32	855+103.76	0.01180	0.01193	0.01206	0.01220	0.01234	0.01398	0.01413	0.01430	0.01445	0.01462
	L60	855+135.53	855+174.32	0.02134	0.02158	0.02183	0.02206	0.02232	0.02529	0.02557	0.02587	0.02615	0.02645
	L61	855+217.12	855+297.39	0.04417	0.04465	0.04517	0.04566	0.04619	0.05234	0.05292	0.05353	0.05412	0.05474

Nota. Compilado de accidentes predichos para el cálculo de accidentes esperados, de acuerdo con el HSM; el resto de los datos de accidentes esperados en tangente se muestra en el Anexo 9

Figura 98*Accidentes Esperados por Segmento en Curva, años 2020 – 2024*

SEGMENTOS EN CURVA	PROGRESIVAS		FRECUENCIA DE ACCIDENTES PREDICHOS					FRECUENCIA DE ACCIDENTES ESPERADOS				
	INICIO	FIN	2020	2021	2022	2023	2024	2020	2021	2022	2023	2024
			0.670	0.665	0.547	0.731	0.867	Npred*C				
CH-1	848+720.88	848+753.36	0.40055	0.43927	0.44419	0.44886	0.45382	0.26820	0.29192	0.24282	0.32790	0.39345
CH-2	848+763.54	848+792.99	0.16076	0.17630	0.17828	0.18015	0.18214	0.06439	0.07744	0.07919	0.08086	0.08266
CH-3	848+832.04	848+896.10	0.15409	0.16899	0.17088	0.17268	0.17458	0.02477	0.02979	0.03046	0.03111	0.03180
CH-4	848+957.65	849+033.32	0.10879	0.11930	0.12064	0.12191	0.12325	0.01676	0.02016	0.02062	0.02105	0.02152
CH-5	849+039.98	849+084.85	0.26457	0.29014	0.29339	0.29648	0.29975	0.02878	0.03461	0.03539	0.03614	0.03694
CH-6	849+103.00	849+132.94	0.38767	0.39175	0.39608	0.40017	0.40452	0.10257	0.11366	0.11621	0.11864	0.12126
CH-7	849+204.58	849+207.85	0.06977	0.07050	0.07128	0.07202	0.07280	0.02705	0.02762	0.02823	0.02882	0.02945
CH-8	849+248.44	849+271.44	0.08049	0.08133	0.08223	0.08308	0.08398	0.00562	0.00573	0.00586	0.00598	0.00611
CH-9	849+315.31	849+382.99	0.62351	0.63007	0.63702	0.64361	0.65060	0.05018	0.05125	0.05238	0.05347	0.05464
CH-10	849+423.03	849+460.98	0.08989	0.09085	0.09187	0.09284	0.09386	0.05605	0.05724	0.05852	0.05975	0.06107
CH-11	849+525.99	849+576.53	0.15751	0.15919	0.16098	0.16267	0.16447	0.01416	0.01446	0.01479	0.01510	0.01544
CH-12	849+654.79	849+719.79	0.10540	0.10653	0.10772	0.10885	0.11006	0.01660	0.01696	0.01734	0.01771	0.01810
CH-13	849+861.34	849+898.17	0.31406	0.31742	0.32098	0.32435	0.32793	0.03310	0.03381	0.03458	0.03531	0.03609
CH-14	849+932.13	849+999.69	0.66379	0.67077	0.67818	0.68519	0.69263	0.20847	0.21291	0.21768	0.22224	0.22714
CH-15	850+077.80	850+107.83	0.12487	0.12617	0.12756	0.12887	0.13026	0.08289	0.08463	0.08651	0.08830	0.09022
CH-16	850+592.88	850+631.37	0.18199	0.18389	0.18590	0.18781	0.18983	0.02273	0.02320	0.02371	0.02420	0.02473
CH-17	850+713.81	850+765.19	0.27515	0.27802	0.28107	0.28395	0.28702	0.05007	0.05113	0.05225	0.05333	0.05449
CH-18	850+802.32	850+832.41	0.30446	0.30764	0.31101	0.31420	0.31759	0.08377	0.08553	0.08742	0.08922	0.09115
CH-19	850+851.64	850+885.51	0.39015	0.39443	0.39847	0.40277	0.40717	0.11756	0.12003	0.12267	0.12520	0.12792
CH-20	851+006.46	851+051.95	0.07298	0.07374	0.07455	0.07532	0.07613	0.02818	0.02877	0.02941	0.03001	0.03066
CH-21	851+077.07	851+133.72	0.17476	0.17658	0.17852	0.18035	0.18229	0.01275	0.01302	0.01331	0.01358	0.01388
CH-22	851+205.31	851+242.75	0.39842	0.40257	0.40699	0.41116	0.41559	0.06963	0.07109	0.07265	0.07415	0.07576
CH-23	851+376.70	851+446.92	0.12444	0.12578	0.12720	0.12855	0.12998	0.04958	0.05064	0.05177	0.05285	0.05402
CH-24	851+500.44	851+617.86	0.21123	0.21350	0.21592	0.21820	0.22063	0.02628	0.02685	0.02746	0.02805	0.02868
CH-25	851+650.83	851+688.27	0.44737	0.45219	0.45730	0.46215	0.46729	0.09450	0.09654	0.09874	0.10084	0.10310
CH-26	851+706.07	851+828.42	0.38707	0.39123	0.39566	0.39985	0.40430	0.17316	0.17691	0.18094	0.18479	0.18892
CH-27	851+862.21	851+927.85	0.40613	0.41045	0.41504	0.41938	0.42399	0.15720	0.16058	0.16421	0.16769	0.17142
CH-28	851+938.58	851+952.85	0.16504	0.16680	0.16866	0.17043	0.17230	0.06703	0.06846	0.07000	0.07147	0.07305
CH-29	851+992.03	852+018.85	0.13612	0.13758	0.13914	0.14061	0.14218	0.02246	0.02295	0.02347	0.02396	0.02450
CH-30	852+051.15	852+144.25	0.14468	0.14624	0.14789	0.14946	0.15112	0.01969	0.02012	0.02058	0.02102	0.02149
CH-31	852+159.30	852+177.08	0.25112	0.25401	0.25710	0.26002	0.26312	0.03633	0.03715	0.03802	0.03886	0.03976
CH-32	852+196.05	852+229.76	0.47634	0.48184	0.48768	0.49322	0.49912	0.11962	0.12239	0.12538	0.12825	0.13133
CH-33	852+268.82	852+309.85	0.31342	0.31679	0.32037	0.32377	0.32737	0.14929	0.15264	0.15624	0.15969	0.16340
CH-34	852+335.57	852+370.88	0.16519	0.16697	0.16885	0.17064	0.17254	0.05177	0.05289	0.05410	0.05525	0.05648
CH-35	852+390.00	852+448.11	0.14227	0.14380	0.14543	0.14697	0.14860	0.02350	0.02401	0.02456	0.02508	0.02564
CH-36	852+483.66	852+539.72	0.82744	0.83635	0.84581	0.85477	0.86428	0.11772	0.12027	0.12300	0.12562	0.12844
CH-37	852+576.72	852+617.92	0.49788	0.50363	0.50974	0.51553	0.52169	0.41197	0.42121	0.43114	0.44066	0.45089
CH-38	852+727.91	852+758.97	0.55031	0.55667	0.56342	0.56982	0.57663	0.27399	0.28035	0.28720	0.29376	0.30082
CH-39	852+904.77	852+948.12	0.23278	0.23547	0.23833	0.24103	0.24391	0.12810	0.13108	0.13428	0.13735	0.14065
CH-40	852+970.48	852+997.63	0.24642	0.24927	0.25229	0.25516	0.25821	0.05736	0.05869	0.06013	0.06150	0.06298
CH-41	853+054.06	853+090.25	0.35685	0.36096	0.36534	0.36950	0.37391	0.08793	0.08998	0.09217	0.09428	0.09655
CH-42	853+199.62	853+314.41	0.26735	0.27043	0.27371	0.27682	0.28013	0.09540	0.09762	0.10000	0.10229	0.10474
CH-43	853+347.05	853+382.85	0.17580	0.17783	0.17998	0.18203	0.18420	0.04700	0.04809	0.04926	0.05039	0.05160
CH-44	853+422.34	853+449.81	0.42344	0.42833	0.43353	0.43845	0.44369	0.07444	0.07617	0.07803	0.07981	0.08173
CH-45	853+694.01	853+771.41	0.77058	0.77905	0.78804	0.79657	0.80562	0.32630	0.33369	0.34164	0.34926	0.35745
CH-46	853+783.72	853+805.91	0.39426	0.39859	0.40320	0.40756	0.41219	0.30381	0.31052	0.31774	0.32465	0.33207

Nota. Compilado de accidentes predichos para el cálculo de accidentes esperados, de acuerdo con el HSM; el resto de los datos de accidentes esperados en Curva se muestra en el Anexo 9.

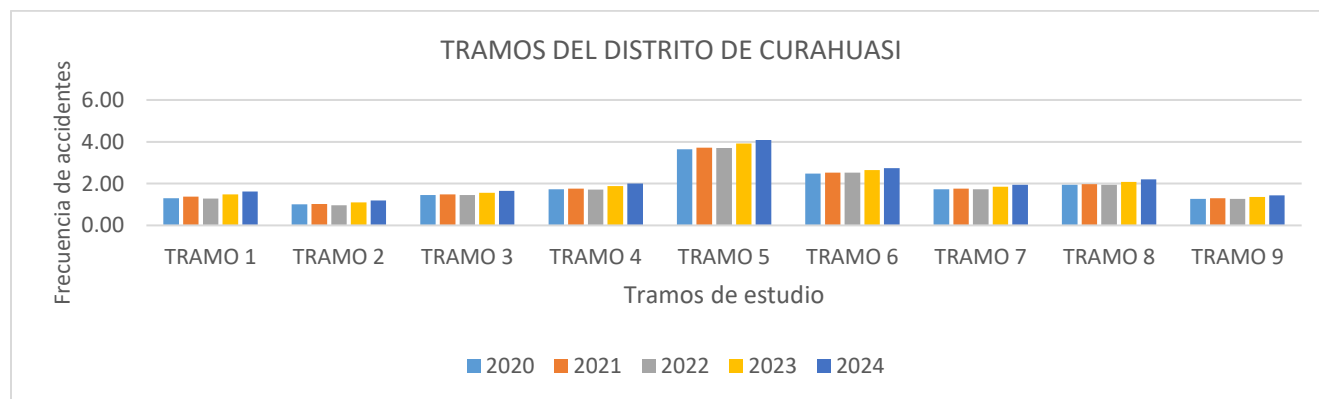
A continuación, en la figura 99, figura 100 y figura 101, se muestran las frecuencias de accidentes por tramo, los cuales permiten identificar y determinar los segmentos con mayor incidencia a los siniestros viales, se colocará en un marco rojo para ubicarlos mejor.

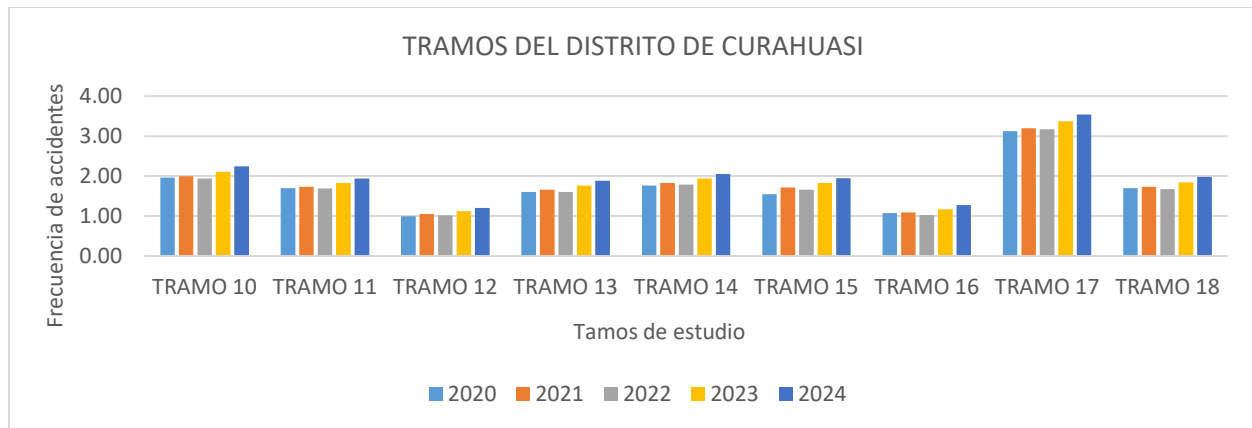
El análisis de la configuración geométrica de la vía, basado en la segmentación por tangentes y curvas, ha permitido identificar y delimitar una serie de tramos donde se está presentando el incremento concentración de accidentes. Específicamente, se ha detectado que los tramos que presentan estos incrementos son en el distrito de Curahuasi; el Tramo 1 (CH-1 y CH-14), el Tramo 2 (L16), el Tramo 4 (CH37 y CH38), el Tramo 5 (que incluye CH45, CH46, CH53, CH59 y CH60), el Tramo 6 (CH61, CH62 y CH65), el Tramo 7 (CH82), el Tramo 8 (CH83 y CH85), el Tramo 10 (CH11), el Tramo 14 (CH163 y CH164), el Tramo 17 (CH207 y CH223). Para el distrito de Mollepata; el Tramo 23 (L274) y el Tramo 27 (L308). Por consiguiente, la presente investigación se centrará en la determinación y evaluación de los factores de riesgo con mayor influencia en la causalidad de estos accidentes. El análisis de estos datos de siniestralidad es fundamental para el establecimiento de mejoras específicas y medidas de mitigación en la infraestructura de los segmentos de carretera mencionados, con el fin de reducir la tasa de accidentes esperados y elevar la seguridad vial.

A continuación, veremos los accidentes acumulados por tramo por tramos.

Figura 99

Accidentes Predicho del distrito de Curahuasi

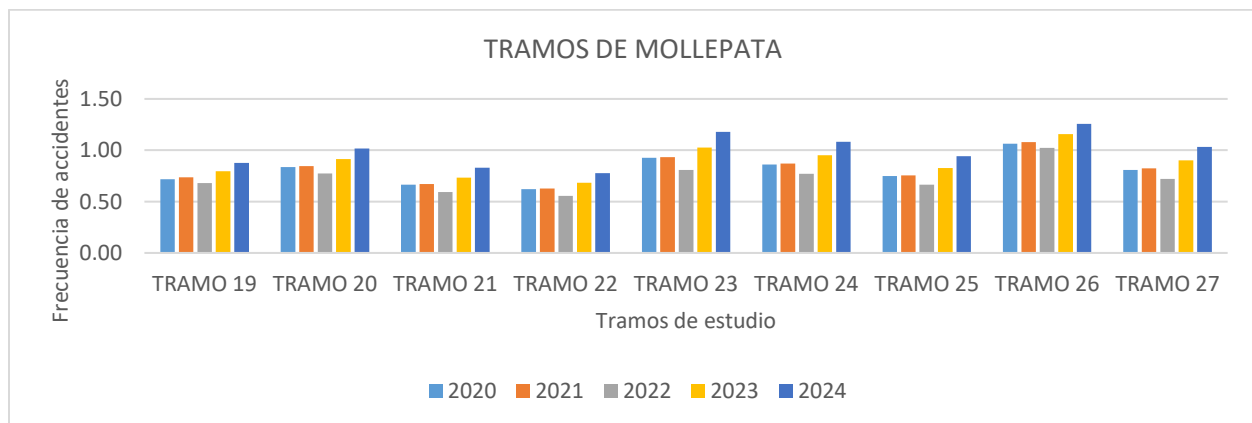




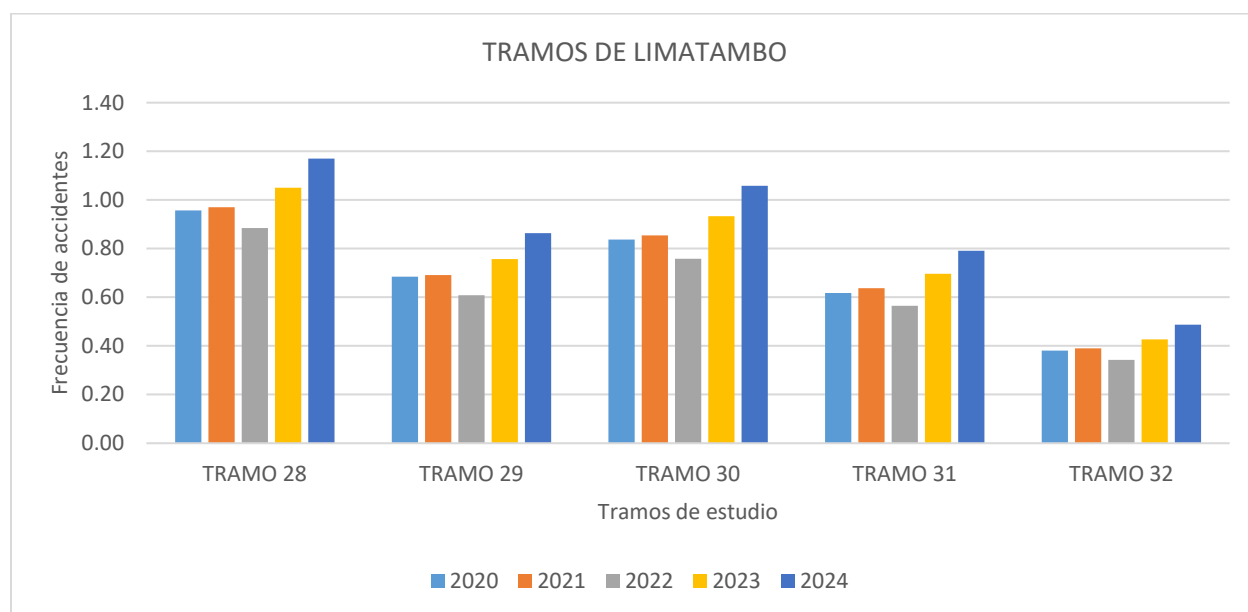
Nota. Los 18 tramos del distrito de Curahuasi tienen como mínimo un accidente por tramo, lo que indica que se deberá tener precaución en la circulación vehicular. Para el tramo de análisis del 2024 se obtiene un total de 35 accidentes del distrito de Curahuasi.

Figura 100

Accidentes Predicho del distrito de Mollepata



Nota. Los tramos 19 al tramo 27, del distrito del Mollepata esta propenso a tener 1 accidente por tramo tienen como mínimo un accidente por tramo. Para el tramo de análisis del 2024 se obtiene un total de 8 accidentes del distrito de Mollepata.

Figura 101*Accidentes Predicho del distrito de Limatambo*

Nota. Los tramos 28 al tramo 32, del distrito del Limatambo esta propenso a tener 1 accidente por tramo tienen como mínimo un accidente por tramo. Para el tramo de análisis del 2024 se obtiene un total de 4 accidentes del distrito de Mollepata.

5.1.5.1.1 Factor de Calibración (C)

Para optimizar la precisión del modelo en el análisis de la carretera, se procederá a calcular el factor de calibración promedio “C” a partir de los valores anuales obtenidos. Este valor calibrado será fundamental para su aplicación en el segundo análisis.

Tabla 20

Resumen de Resultados para segmentos en tangente para el Periodo de Evaluación 2020 – 2024

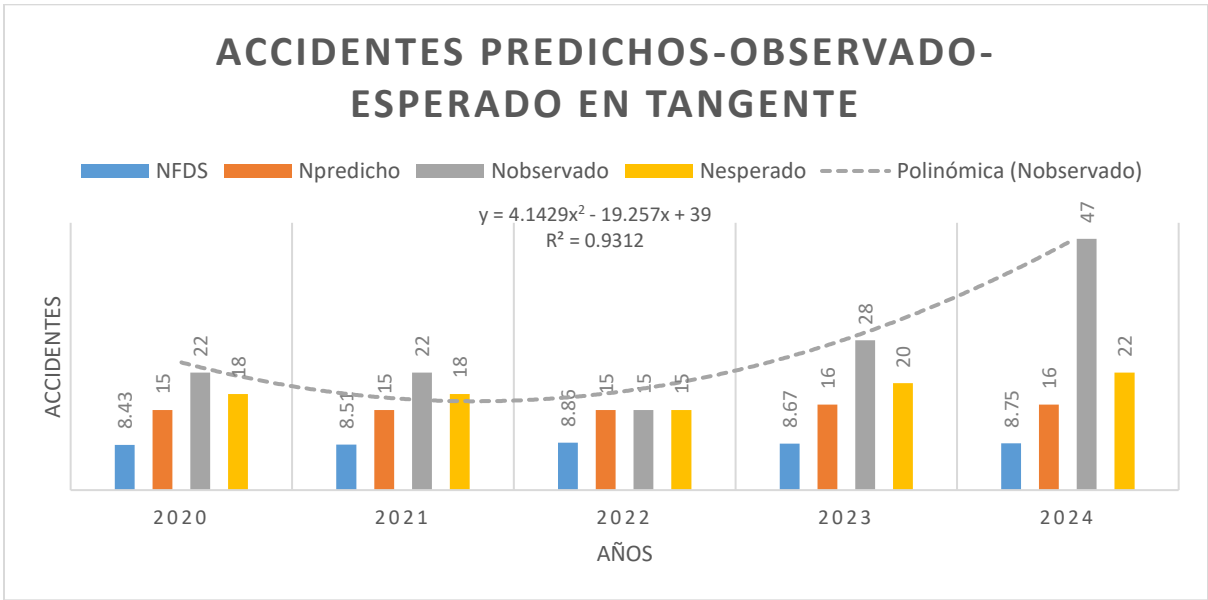
Segmento en Tangente					
Año	NFDS	Npredicho	Nobservado	Nesperado	c
2020	8.43	15	22	18	1.222
2021	8.51	15	22	18	1.222
2022	8.86	15	15	15	1.000
2023	8.67	16	28	20	1.400
2024	8.75	16	47	22	2.136

Nota. Para hallar el factor de calibración se hace un promedio de los años evaluados.

Por consiguiente, se tiene un factor de calibración de 1.396

Figura 102

Accidentes Predichos-Observados-Esperados en tramos en tangente



Nota. Primer análisis de calibración aplicando método Empírico Bayes (EB) en tangente donde nos da un valor para estimar los accidentes producidos en el tramo de análisis.

Tabla 21

Resumen de Resultados para segmentos en curva para el Periodo de Evaluación 2020 – 2024

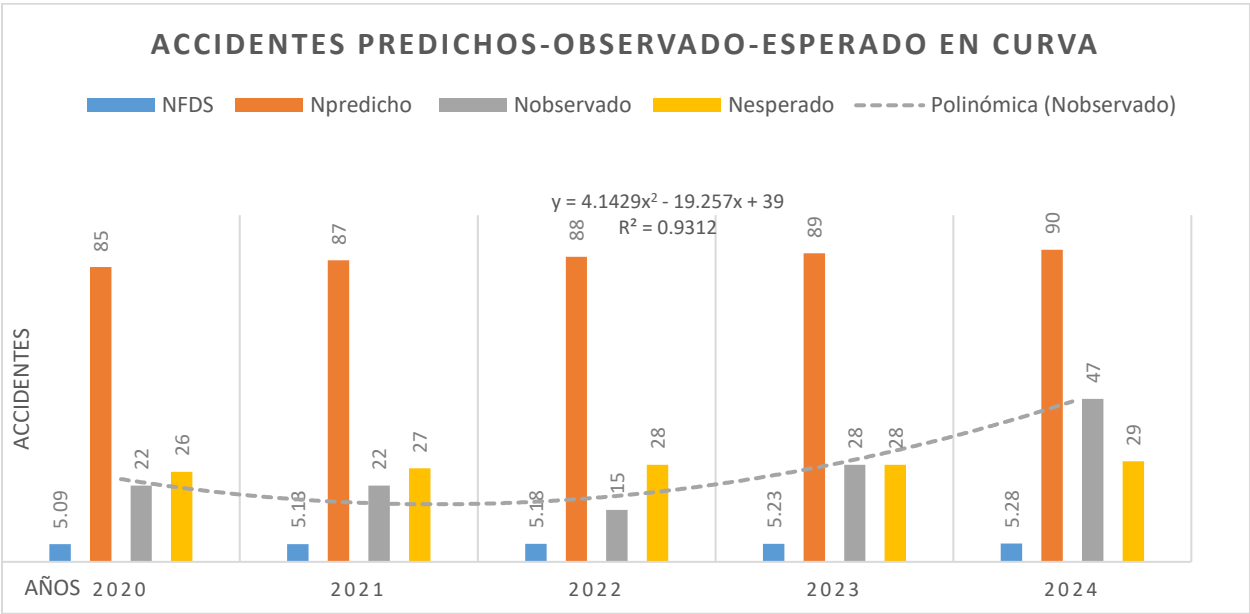
Segmento en curva					
Año	NFDS	Npredicho	Nobservado	Nesperado	c
2020	5.09	85	22	26	0.846
2021	5.13	87	22	27	0.815
2022	5.18	88	15	28	0.536
2023	5.23	89	28	28	1.000
2024	5.28	90	47	29	1.621

Nota. Para hallar el factor de calibración se hace un promedio de los años evaluados.

Por consiguiente, se tiene un factor de calibración de 1.396

Figura 103

Accidentes Predichos-Observados-Esperados en tramos en Curva



Nota. Se observa que el análisis de accidentes predichos esta por muy encima de los datos reales lo que nos indica que estos datos se sobreestima los accidentes reales o que la vía no está explotando aún su nivel real de riesgo.

5.1.5.2 Segundo análisis de la metodología HSM. Para hacer un segundo análisis se harán las propuestas de mejora para así reducir los índices de accidentes donde hay un incremento de siniestros viales.

5.1.5.2.1 Propuestas de Mejora en la Vía. En respuesta a los hallazgos del primer análisis, que identifican los segmentos de la carretera con mayor concentración de siniestros, se han propuesto un conjunto de intervenciones y modificaciones geométricas u operativas específicas en la infraestructura vial.

Dichas propuestas serán objeto de un segundo análisis de seguridad, donde su efectividad se cuantificará mediante la aplicación de los Factores de Modificación de Accidentes (FMA). Este procedimiento permitirá estimar la reducción de accidentes esperados tras la implementación de las mejoras, justificando técnica y económicamente las contramedidas en los segmentos críticos.

I. Para tangente

- Se uniformizará el ancho de carril en todos los segmentos, a un ancho de carril uniforme de 3.30 metro que es el ancho a todos los segmentos que no cumplan el nuevo ancho.
- De igual manera se procede a uniformizar el ancho de berma a un valor de 1.20 metros a los segmentos que no lleguen al ancho mínimo propuesto en la vía.
- Se propone la implementación de una banda sonora central a lo largo de la vía.

II. Para curva

- Se uniformizará el ancho de carril en todos los segmentos, a un ancho de carril uniforme de 3.30 metro y se aplicará a todo aquellos que no cumplan con el ancho mínimo.

- De igual manera se procede a uniformizar el ancho de berma a un valor de 1.20 metros a lo largo de la vía.
- Se propone la implementación de una banda sonora central a lo largo de la vía.
- Se reemplazarán curvas horizontales que no cumplan con los radios de giros mínimos establecidos en el manual de diseño geométrico (70m).

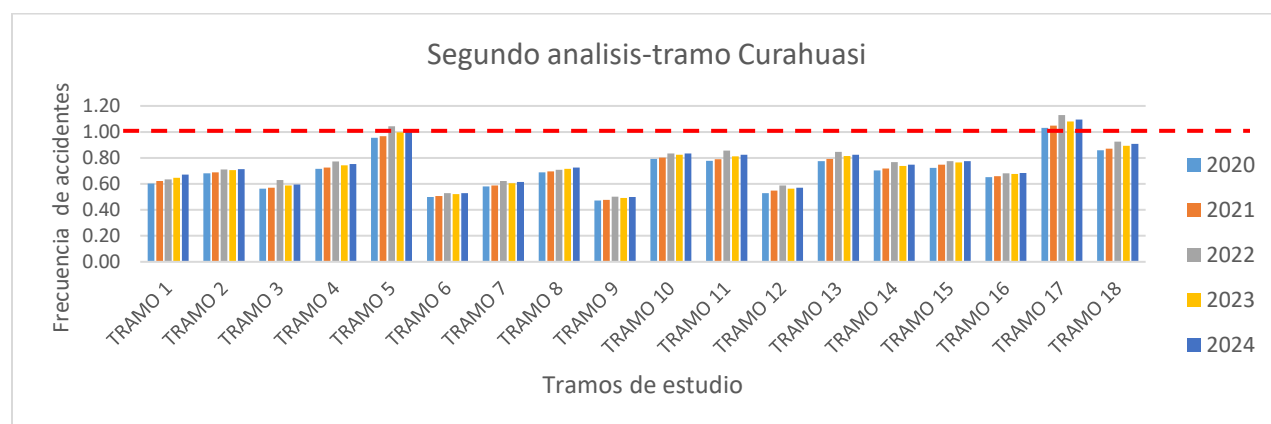
5.1.5.2.2 Accidentes Esperados del Segundo Análisis. Para ello se usará las mismas fórmulas que se usó para el primer análisis, pero con las nuevas propuestas de mejora.

El compilado de accidentes predichos corresponde al cálculo de los accidentes esperados conforme al Highway Safety Manual (HSM) y forma parte del segundo análisis de seguridad vial, realizado tras la incorporación de las propuestas de mejora planteadas para el tramo de estudio. Los datos completos de accidentes esperados en curvas y tangente. A continuación, en el siguiente grafico se muestra la reducción de los accidentes en los tramos con alta incidencia.

. A continuación, se presentan los resultados del segundo análisis por tramos en los distritos de Curahuasi, Mollepata y Limatambo, donde, tras la aplicación de las medidas y propuestas planteadas, se evidencia una disminución en la ocurrencia de accidentes de tránsito.

Figura 104

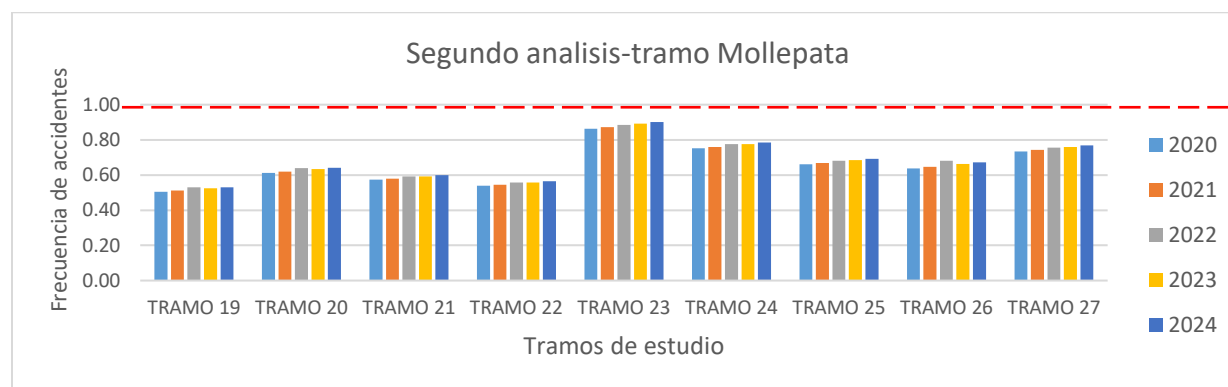
Segundo análisis para los tramos de Curahuasi



Nota. Se observa que los accidentes esperados, estimados mediante la metodología del HSM, disminuyen de forma notable con la aplicación de las propuestas de mejora en el tramo de Curahuasi, obteniendo 16 tramos con menos de un accidente y 2 tramos con un accidente.

Figura 105

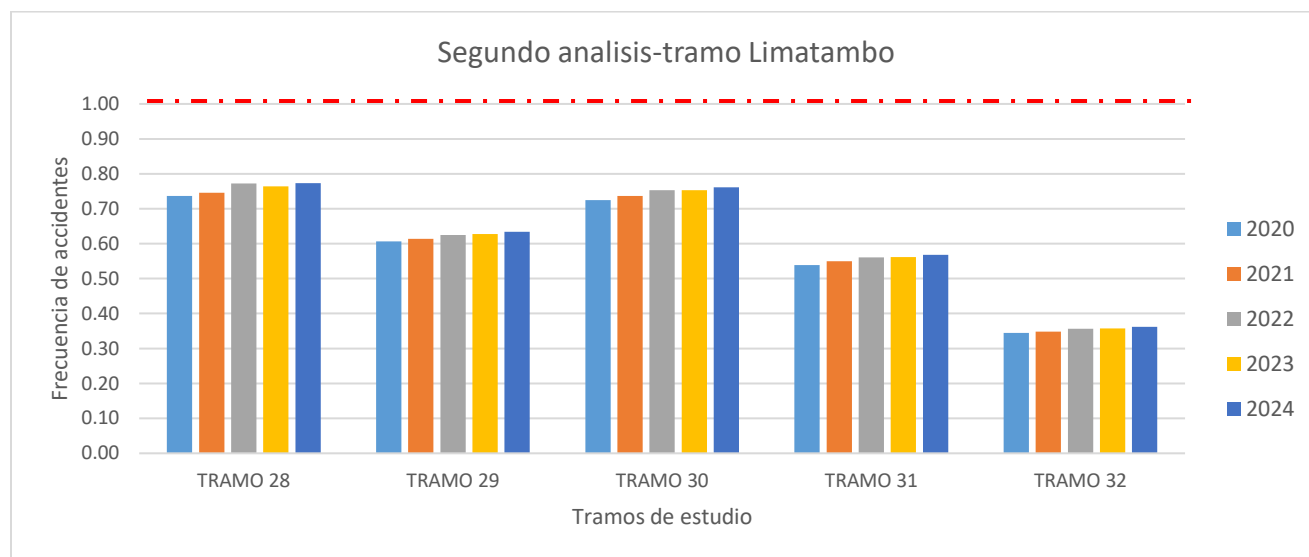
Segundo análisis para los tramos de Mollepata



Nota. Se observa que los accidentes esperados con la metodología HSM, disminuyeron forma notable con las propuestas de mejora en el tramo de Mollepata obteniendo resultados de menos de un accidente por tramo.

Figura 106

Segundo análisis para los tramos de Limatambo



Nota. Se observa que los accidentes esperados con la metodología HSM, disminuyeron de forma notable con las propuestas de mejora en el tramo de Limatambo obteniendo resultados de menos de un accidente por tramo.

El análisis de la carretera mediante el método predictivo del Highway Safety Manual (HSM) permitió estimar el número de accidentes predichos ($N_{predicho}$) a partir de los siniestros registrados entre 2020 y 2024. Luego, con el método Empírico de Bayes (EB), que combina de forma ponderada los accidentes observados y predichos, se obtuvo el número de accidentes esperados ($N_{esperado}$) para cada segmento. Con esta información se calcularon los factores de calibración específicos de la vía, obteniéndose $C = 1.396$ para tramos en tangente y $C = 0.963$ para tramos en curva, valores que permiten ajustar el modelo a las condiciones reales y sirven como base para el segundo análisis.

Tras integrar las propuestas de mejora, como ajustes geométricos, mejoras en señalización, ampliación de sobreelevaciones y fortalecimiento de elementos operativos, se ejecutó el segundo análisis, evidenciando una disminución en los siniestros esperados. En los tramos en tangente se redujo 1 accidente en 2024 (-4.55%%), mientras que en los tramos en curva la disminución fue más notable donde disminuyó de 29 a 5 accidentes (-82.76 %).

En conjunto, los resultados confirman que las medidas propuestas generan un efecto positivo en la seguridad vial, especialmente en los segmentos con mayor riesgo geométrico, validando la utilidad del enfoque predictor del HSM complementado con el método EB para la toma de decisiones en infraestructura vial.

Tabla 22

Accidentes observados de la vía de estudio en el periodo del 2020-2024

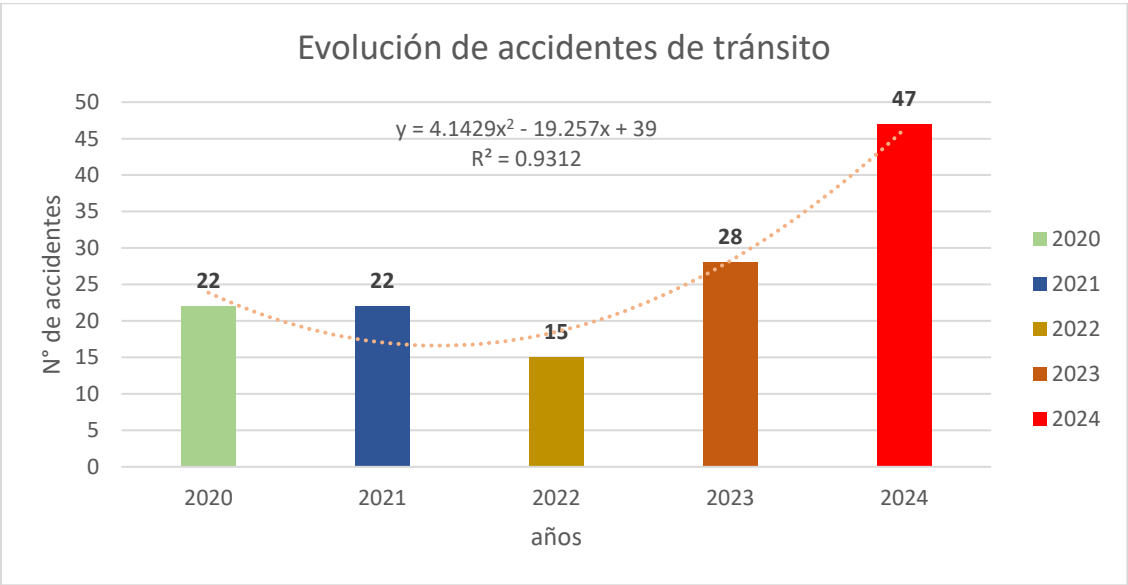
Accidentes por año de los tres distritos por fatal y no fatal					
Año	2020	2021	2022	2023	2024
Accidentes	22	22	15	28	47
Total	134				

Nota. Los distritos son de Curahuasi, Mollepatay Limatambo

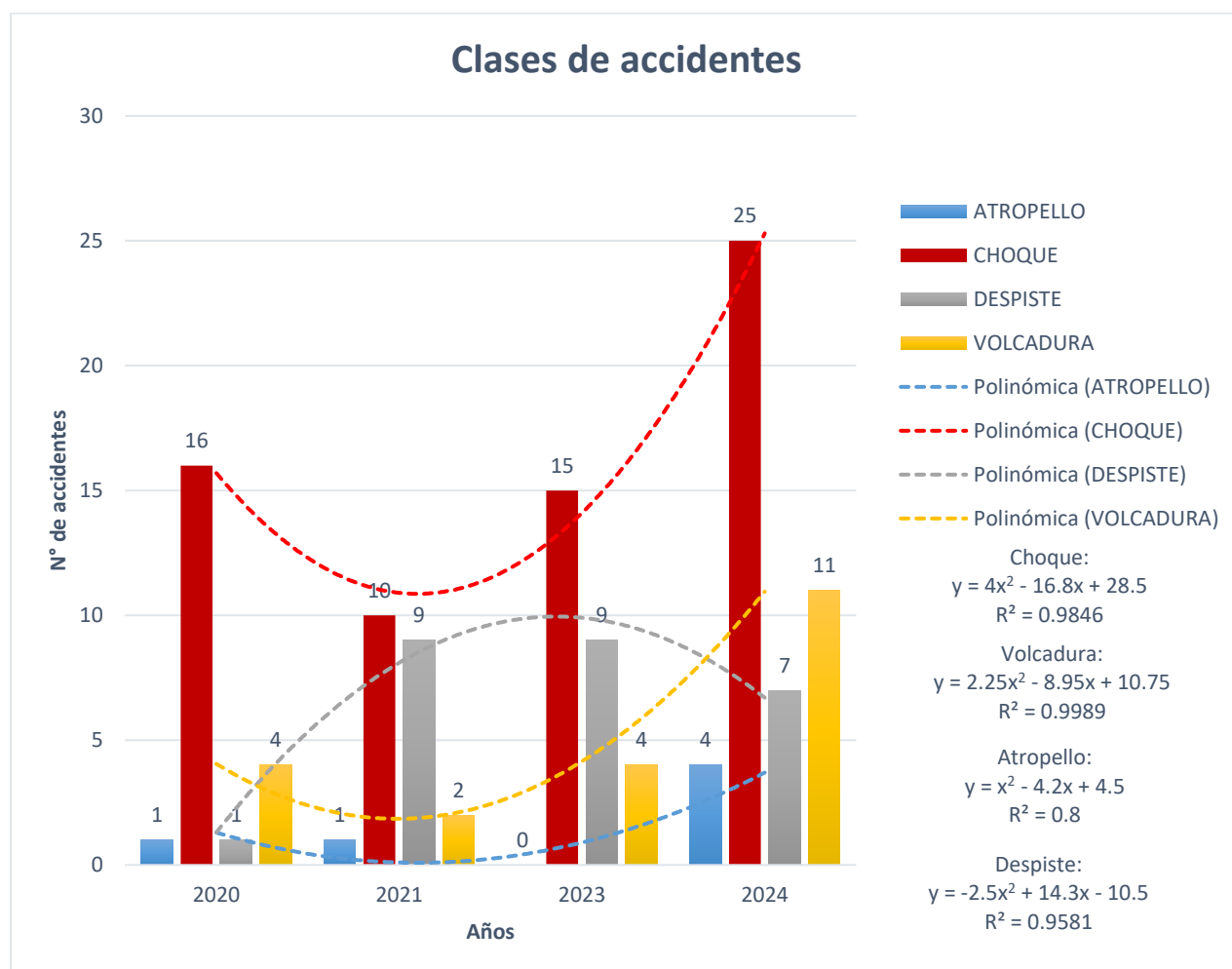
En la figura siguiente se observa cómo fue la evolución de la cantidad de accidentes para los años que se están analizando de la carretera en estudio.

Figura 108

Evolución de Accidentes de tránsito, años 2020-2024



Nota. Para el periodo de análisis comprendido de 5 años 2020-2024, se observa que presenta una tendencia semi concreta la cual evidencia que hay un crecimiento en cuanto a los accidentes viales de los ultimo 5 años.

Figura 109*Clase -tipo de Accidentes, años 2020-2024*

Nota. El análisis de la siniestralidad de la carretera en el periodo 2020-2024 muestra que los choques y despistes son los tipos de accidente predominantes, concentrando la mayor parte de los siniestros.

Según la figura tenemos que:

- Choque: Es el accidente principal, alcanzando su máximo valor en 2024 (25 casos).
- Despiste: Es el segundo evento más frecuente, manteniéndose estable (entre 4 y 9 casos anuales).

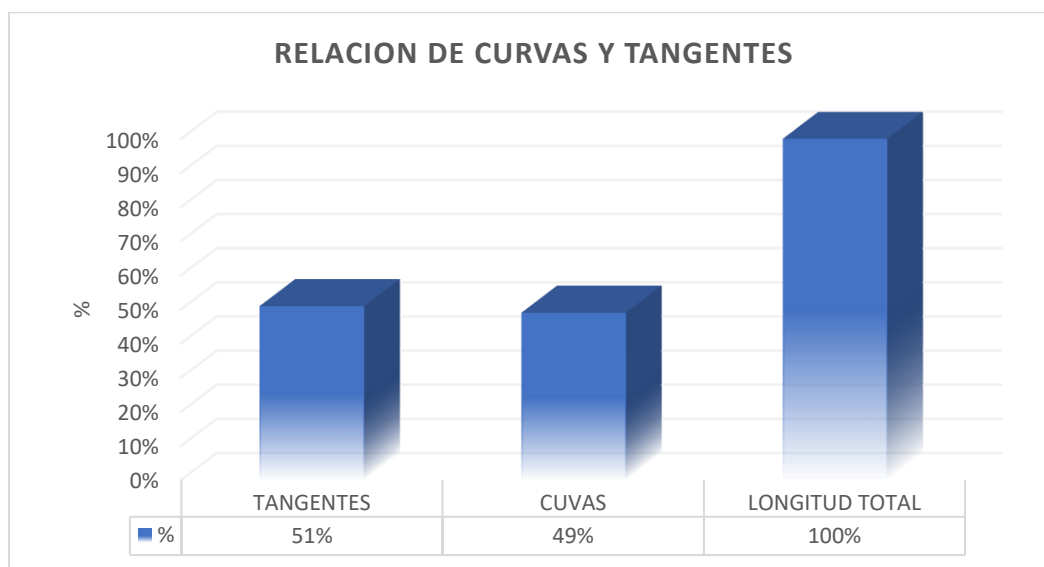
- Volcadura: Presenta variabilidad, pero también registró su máximo en 2024 (11 casos).
- Atropello: Mantiene una baja incidencia (1 a 4 casos anuales).

5.2.1 Factores Geométricos

El alineamiento horizontal de la carretera evidencia que aproximadamente el 49 % de su longitud total está compuesto por curvas, mientras que el porcentaje restante corresponde a tramos en tangente. Esta distribución se aprecia con mayor claridad en la figura siguiente, donde se muestra la proporción y disposición de ambos tipos de elementos del trazado en planta.

Figura 110

Relación entre las curvas y tangentes de la vía



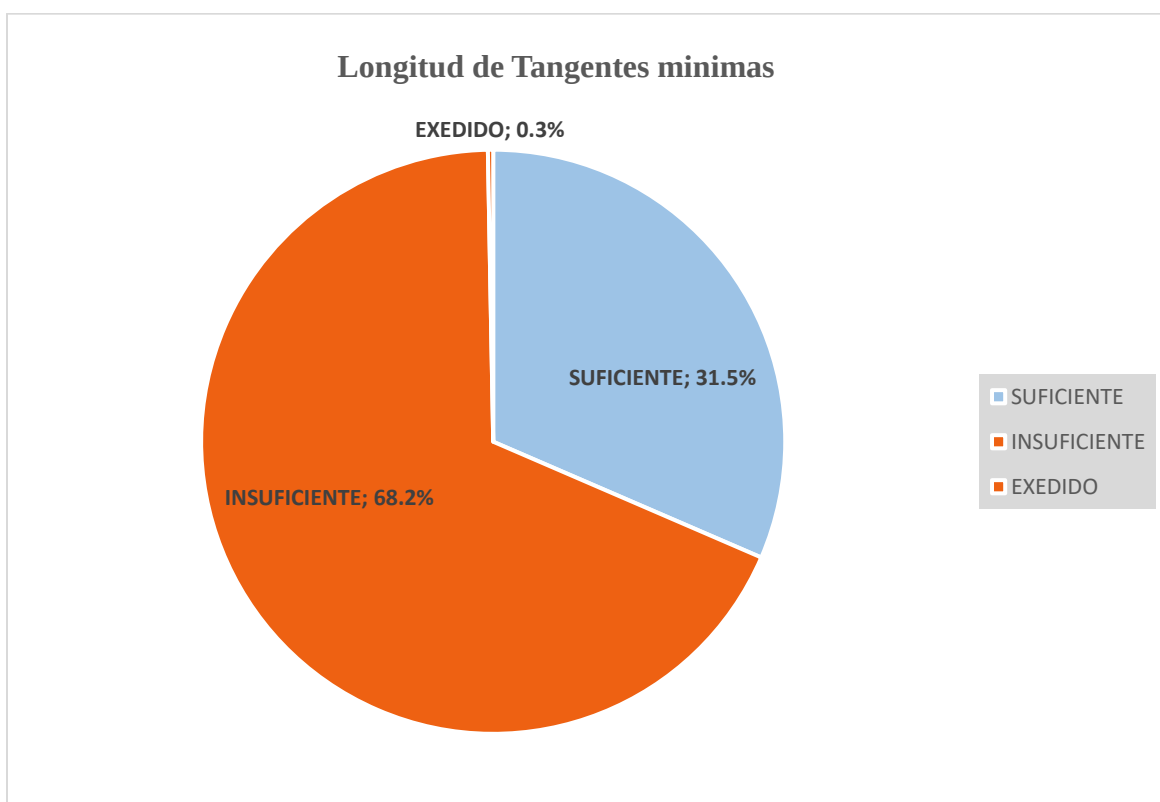
Nota. Relación porcentual de la distancia de tangentes con la distancia de las curvas a lo largo de la carretera.

5.2.1.1 Tramos en Tangente

De acuerdo con la información recopilada, los tramos en tangencia presentan la denominación de “insuficiente”, lo cual indica que, de acuerdo con la normativa vigente de la normativa peruana DG-2018, no cumplen con los parámetros establecidos para una velocidad de diseño de 50 km/h. Esto aplica tanto para las tangentes simples (“S”), tangentes compuestas (“O”) como para los tramos que alcanzan la longitud máxima permitida. En la Figura 111 se muestra esta condición con mayor detalle.

Figura 111

Longitud de tangentes mínimas

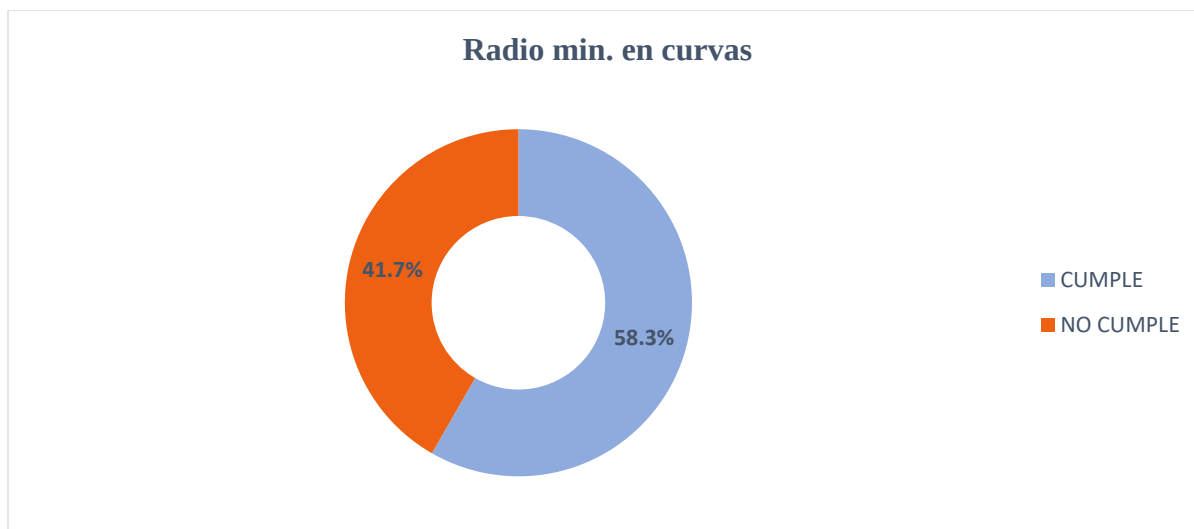


Nota. Datos obtenidos de la Figura 80. Características geométricas de la vía en tangente y comparadas con la Normativa peruana del MTC, DG-2018.

5.2.1.2 Tramos en Curva

Figura 112

Radio mínimo en Curvas



Nota. Datos obtenidos de la Figura 81. Características geométricas de la vía en Curva y comparadas con la Normativa peruana del MTC, DG-2018.

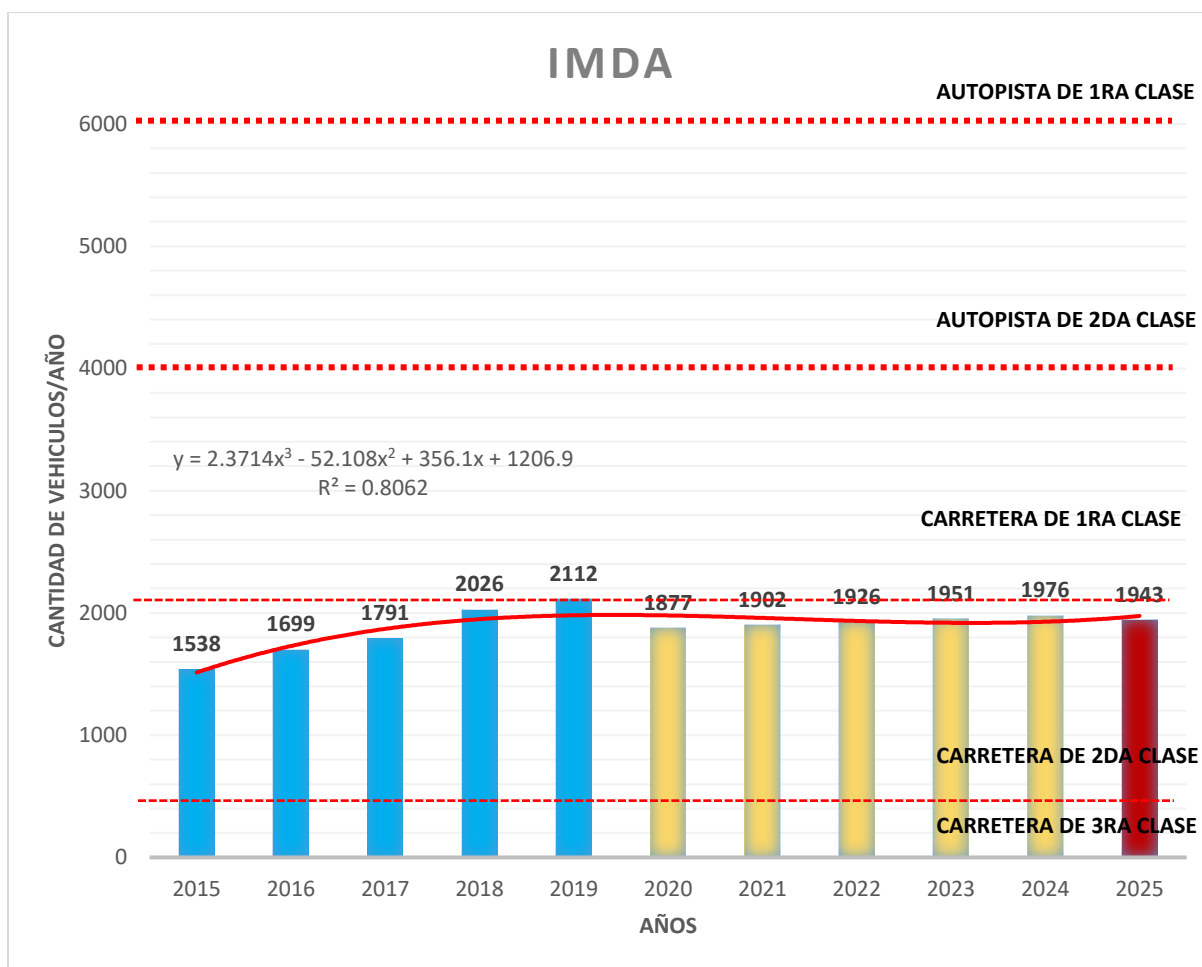
En la Figura 112 se observa que el 58.3 % de las curvas presentes en el tramo evaluado cumplen adecuadamente con el radio mínimo exigido por la normativa para la velocidad de diseño establecida. Sin embargo, aproximadamente el 41.7 % de las curvas no alcanzan dicho valor mínimo, lo que evidencia una condición geométrica deficiente. Esta situación es relevante, ya que las curvas con radios menores a los requeridos pueden generar incrementos en la demanda de fricción lateral, reducciones en la visibilidad y, en consecuencia, un mayor riesgo de maniobras inseguras por parte de los conductores.

La información presentada permite reconocer la distribución de estas deficiencias a lo largo del tramo y resalta la necesidad de priorizar mejoras geométricas en las zonas donde el incumplimiento es más crítico.

5.2.2 Aforo Vehicular

Figura 113

IMDA 2015-2025

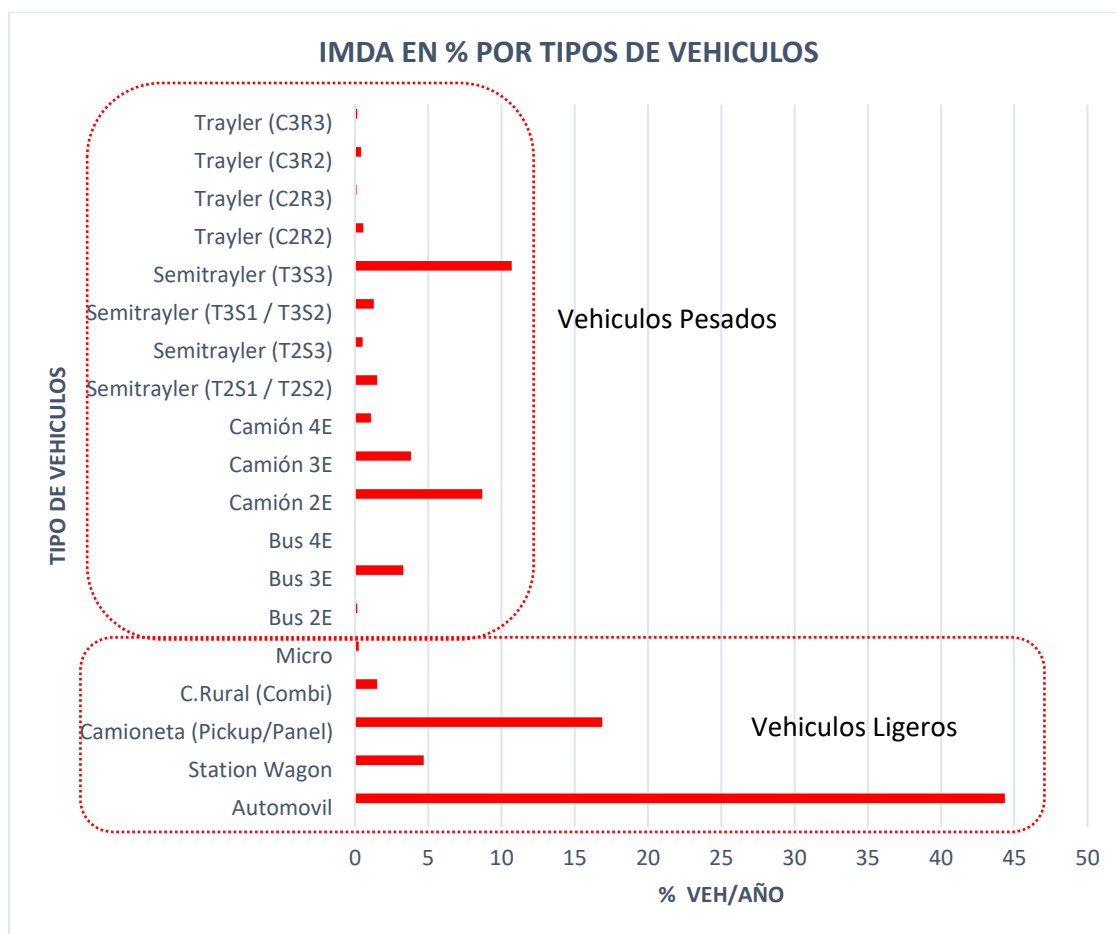


En la Figura 113 se aprecia que, para el año 2025, año en el que se realizó el conteo vehicular in situ, se registró un flujo promedio de 1943 vehículos por día, valor que, según la clasificación por demanda establecida en la normativa, corresponde a una carretera de segunda clase. Asimismo, se observa una variación importante en el crecimiento del parque automotor durante el periodo analizado. En particular, el año 2020 presenta un notable descenso, asociado a

las restricciones de movilidad implementadas durante las cuarentenas por la pandemia. Durante este periodo, la circulación vehicular estuvo limitada principalmente a unidades esenciales, tales como vehículos de abastecimiento, servicios de salud y transporte de seguridad, lo que explica la disminución temporal del tránsito registrado.

Figura 114

IMDA en % por tipos de vehículos



Nota. Los vehículos típicos que circulan más en el tramo de estudio son los vehículos livianos, automóviles con 44.4% y de los vehículos pesados el Semi-trailer (T3S3) con 10.7% del total de 1943 veh/día.

5.2.3 Highway Safety Manual

Con la aplicación del HSM a las características de la vía se ha calculado los accidentes Predichos (N predicho), Accidentes Esperados (N esperado) y factor de calibración (C).

5.2.3.1 Resultados del Primer Análisis

Tabla23

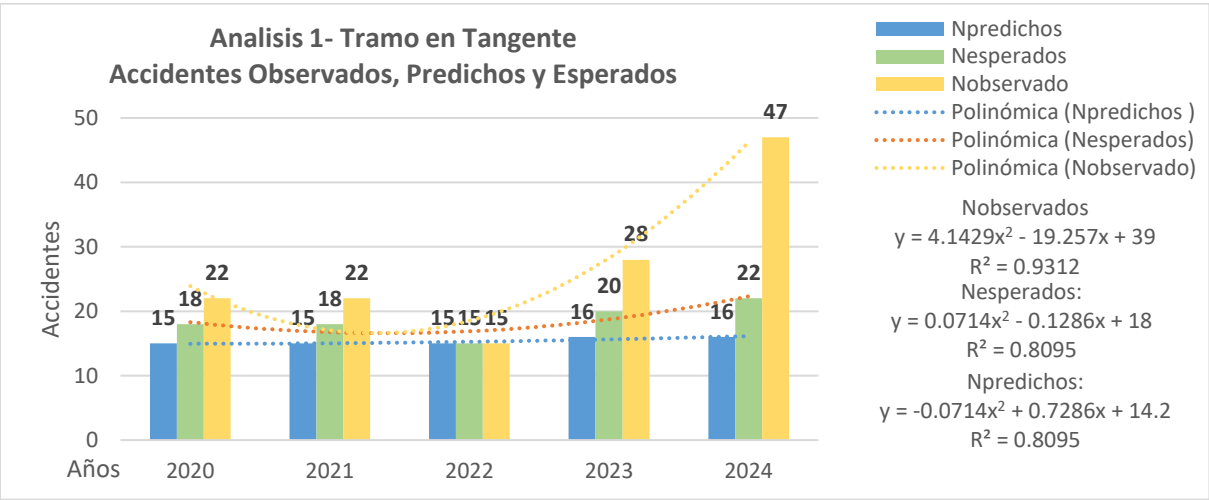
Análisis N1 en Tangente

Análisis 1-Tramo en Tangente					
Npredichos	15	15	15	16	16
Nesperados	18	18	15	20	22
Nobservados	22	22	15	28	47
Años	2020	2021	2022	2023	2024

Nota. Los accidentes esperados son los datos de los resultados con “Bayes”.

Figura 115

Análisis 1- Tramo en Tangente



Nota. Los Npredichos en comparación con los Nobservados se subestima severamente el tramo y existen otros factores locales de riesgo, como el comportamiento del conductor, accesos

informales, etc.). en cuanto a los Nesperado y Nobservado, queda por debajo de la realidad observada por la diferencia, lo que confirma que es crítico el tramo de estudio.

Tabla24

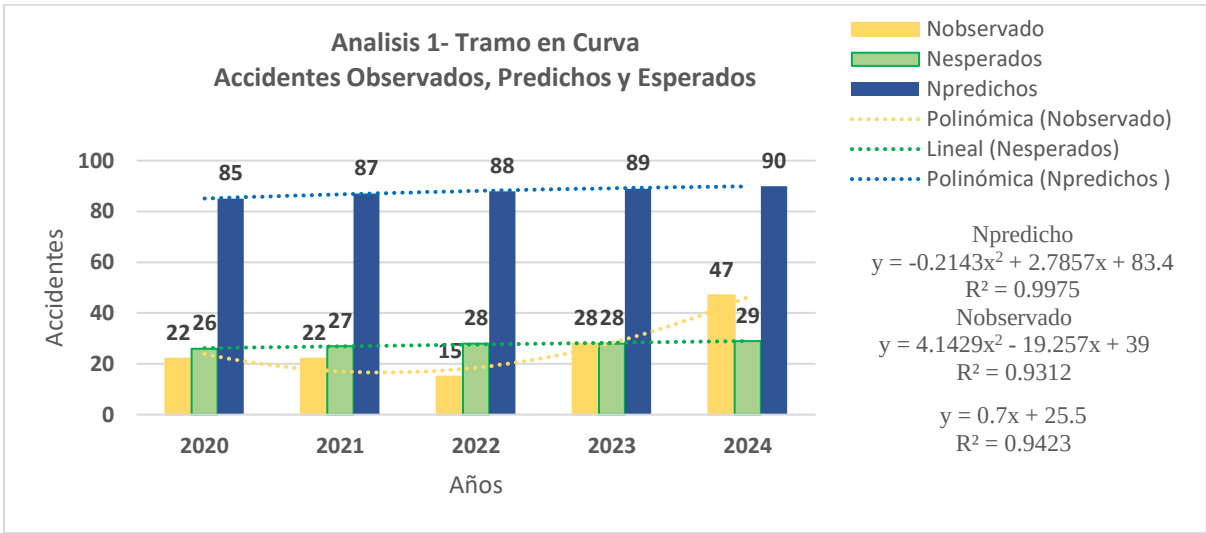
Análisis N1 en Curva

Análisis 1-Tramo en Curva					
Npredichos	85	87	88	89	90
Nesperados	26	27	28	28	29
Nobservados	22	22	15	28	47
Años	2020	2021	2022	2023	2024

Nota. Los accidentes esperados son los datos de los resultados con “Bayes”.

Figura 116

Análisis 1 - Tramo en Curva



Nota. Los N_predichos en comparación con los Nobservados se subestima severamente el tramo y existen otros factores locales de riesgo, como el comportamiento del conductor, accesos informales, etc. En cuanto a los Nesperado y Nobservado, queda por debajo de la realidad observada por la diferencia, lo que confirma que es crítico el tramo de estudio.

5.2.3.2 Resultados del Segundo Análisis

Tabla

25

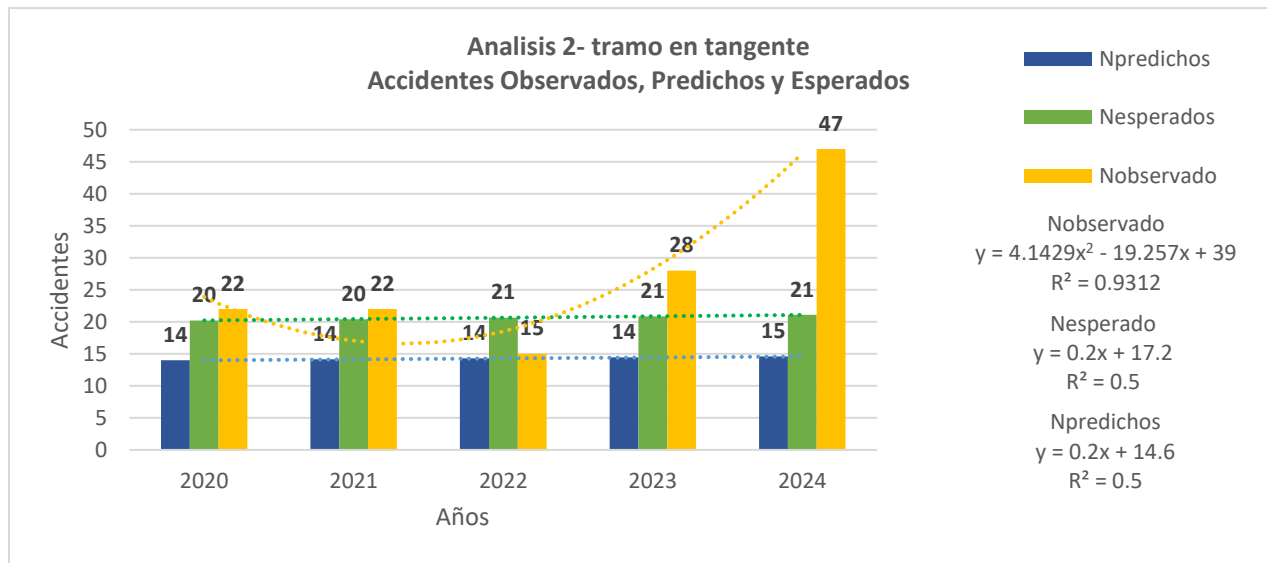
Análisis N2 en Tangente

Análisis 2-Tramo en Tangente					
Npredichos	14	14	14	14	15
Nesperados	20	20	21	21	21
Nobservados	22	22	15	28	47
Años	2020	2021	2022	2023	2024

Nota. Los accidentes esperados son los datos representan la aplicación del método de calibración en tangente, así como también con los Factores de modificación de accidentes propuestos. Se verifica que hay una disminución de un accidente con respecto al primer análisis.

Figura 117

Análisis 2- Tramo en Tangente



Nota. En el segundo análisis se observa que, con la aplicación de las propuestas de mejora en la vía, el tramo en tangente presenta una disminución de un accidente, lo cual indica la presencia de factores externos a la infraestructura vial que continúan generando siniestros viales.

Tabla

26

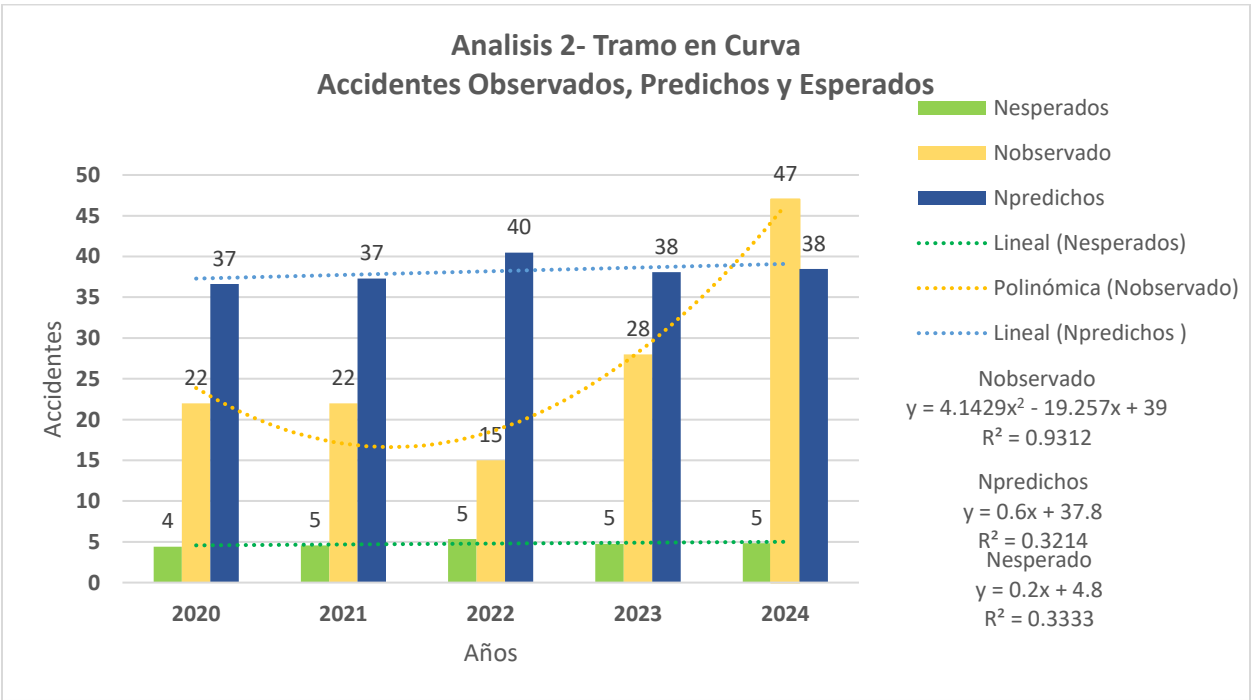
Análisis N2 en Curva

Análisis 2-Tramo en Curva					
Npredichos	37	37	40	38	38
Nesperados	4	5	5	5	5
Nobservados	22	22	15	28	47
Años	2020	2021	2022	2023	2024

Nota. Los accidentes esperados son los datos representan la aplicación del método de calibración en curva, así como también con los Factores de modificación de accidentes propuestos. Se verifica que hay una disminución de un accidente con respecto al primer análisis.

Figura 118

Análisis 2 - Tramo en Curva



Nota. En el segundo análisis se observa que, con la aplicación de las propuestas de mejora en la vía, el tramo en tangente presenta una disminución de 24 accidentes. En comparación entre los accidentes observados (Nobservados) y los accidentes predichos (Npredichos), los resultados

muestran un mayor ajuste debido a la aplicación del factor de calibración. Asimismo, al comparar el primer y el segundo análisis mediante la metodología del HSM, se obtuvo una reducción del 82.76 % en los siniestros viales.

En el segundo análisis de la propuesta se planteó la uniformización del ancho de calzada a 3.30 m por carril y el incremento del sobreancho a 1.20 m en los sectores que lo requieren, con el objetivo de mejorar las condiciones de circulación y seguridad vial. Asimismo, se propuso optimizar el sistema de bandas sonoras centrales y reforzar la iluminación en los puntos críticos identificados durante la inspección de seguridad vial, a fin de incrementar la visibilidad, mejorar la percepción del conductor y reducir el riesgo de accidentes.

Tabla

27

Reducción de accidentes con las propuestas de mejora

Reducción de Accidentes con las Propuestas de Mejora			
Segmentos	Tangente	Curva	Análisis
Nesperados	22	29	1er Análisis
Nesperados	21	5	2do Análisis
Reducción de Accidentes	1	24	Total
En %	4.55%	82.76%	

Nota. Según la Metodología del HSM y ISV en el primer análisis se obtuvo 22 accidentes esperados en tangente y 29 en curva. Luego aplicando los FMAs de mejora de propuestas a la vía se obtuvo un resultado 21 accidentes en tangente y 5 accidentes en curva. Por lo tanto, nos indica que en el segmento en tangente solo se redujo en 4.55% y en 82.76%. Con estos valores podemos interpretar que se debería poner más énfasis en los segmentos en curva ya que al proponer las mismas mejoras en ambos segmentos los que tienen mayor resultado son en curva por ende se debe priorizar ese segmento para la reducción de accidentes de tránsito

5.3 Discusión de Resultados

1. Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian una relación significativa entre los factores geométricos y de tránsito y la seguridad vial, lo cual permitió no solo identificar deficiencias en la infraestructura, sino también cuantificar su impacto en la ocurrencia de accidentes. En primer lugar, los factores de calibración obtenidos (1.396 para segmentos en tangente y 0.963 para segmentos en curva) reflejan diferencias importantes respecto a los valores base propuestos por el HSM. El valor de 1.396 en tangentes indica que el modelo original subestima la frecuencia real de accidentes en aproximadamente 39.6 %, lo que evidencia una mayor ocurrencia de siniestros en este tipo de segmento. Esta situación puede estar asociada a condiciones locales no consideradas en el HSM, como el comportamiento de los conductores, deficiencias en la señalización o características operativas propias del contexto peruano. Por otro lado, el factor de 0.963 en curvas indica una ligera sobreestimación del modelo (≈ 3.7 %), sugiriendo un desempeño real levemente más seguro que el estimado.
2. Asimismo, la aplicación del Método Empírico de Bayes permitió ajustar las predicciones de accidentalidad considerando datos históricos del tramo (2020–2024), incrementando la confiabilidad de los resultados. Este enfoque resulta fundamental en contextos donde las condiciones locales difieren de aquellas en las que fue desarrollado el HSM, reafirmando la necesidad de calibración para su correcta aplicación. En comparación con estudios previos, los resultados guardan coherencia con lo señalado por Mamani y Ponce (2021) y García-Ramírez (2018),

quienes destacan que la calibración local del HSM permite obtener estimaciones más representativas y útiles para la gestión de la seguridad vial.

3. No obstante, al comparar los resultados con Atauchí y Quispe (2019), se evidencia una diferencia significativa en los factores de calibración, ya que dichos autores reportan un valor de 0.390, mientras que en la presente investigación se obtuvieron 0.963 en curvas y 1.369 en tangentes. Estas diferencias pueden atribuirse a factores como: (i) variaciones en las características geométricas del tramo (radios, pendientes, sección transversal); (ii) diferencias en el volumen y composición del tránsito (IMDA); (iii) la calidad y nivel de detalle de los registros de accidentes; y (iv) el contexto operativo de la vía, incluyendo estado de la infraestructura y dispositivos de control. Asimismo, la aplicación del método empírico de Bayes y los criterios de segmentación empleados influyen en los resultados, evidenciando la necesidad de calibración específica para cada contexto.
4. En relación con los factores geométricos, los resultados confirman que las características de diseño vial influyen directamente en la seguridad. Elementos como radios de curvatura, longitudes de tangente y consistencia geométrica como se muestran en las figuras 113 y figura 114, presentan deficiencias de que en tangente presentan 68.2% y en curva 41.7%, los cuales incrementan el riesgo de accidentes, lo cual es consistente con la literatura técnica que asocia la inconsistencia geométrica con un mayor error humano.
5. Por otro lado, el análisis de los factores de tránsito muestra que el incremento del flujo vehicular (IMDA) eleva la exposición al riesgo, generando una mayor frecuencia de accidentes. Sin embargo, este efecto interactúa con las condiciones

geométricas y los dispositivos de control de tránsito, confirmando el carácter multifactorial de la accidentabilidad.

6. En cuanto a los dispositivos de control de tránsito, la Inspección de Seguridad Vial (ISV) permitió identificar deficiencias en señalización y demarcación, cuya ausencia o inadecuada implementación reduce la capacidad de anticipación del conductor y aumenta la probabilidad de siniestros.
7. En el análisis de escenarios con intervención, mediante la aplicación de los Factores de Modificación de Accidentes (FMAs), se evidenció una reducción significativa en la frecuencia de accidentes, destacando una disminución de 24 accidentes en segmentos en curva y la reducción de 1 accidente en tangentes. Estos resultados demuestran la efectividad de las medidas propuestas, particularmente aquellas orientadas a mejorar la geometría y reforzar los dispositivos de control de tránsito, siendo las curvas los sectores con mayor potencial de mejora. En comparación con otros estudios basados en el HSM, los resultados coinciden en la importancia de la calibración local y en la efectividad de los FMAs como herramientas para la toma de decisiones. Por ende la solución a corto plazo y sin demasiado gasto económico vendría hacer la implementación de las bandas sonoras.
8. En síntesis, los resultados confirman la hipótesis de que los factores geométricos y de tránsito influyen de forma notable en la accidentabilidad del tramo en estudio, evidenciando que la implementación de mejoras basadas en metodologías técnicas puede generar reducciones sustanciales en la frecuencia de accidentes.

VI. Conclusiones

Conclusión general

C.G. Se determinó que los factores geométricos y de tránsito inciden de forma notable en la accidentabilidad vial del tramo km 893+337 (Limatambo) – km 848+683 (Curahuasi) de la carretera nacional PE-3S, confirmando la hipótesis general. La aplicación conjunta de la Inspección de Seguridad Vial (ISV) y el Método Predictivo del Highway Safety Manual (HSM, 2010) permitió identificar deficiencias en la infraestructura y cuantificar su efecto en la ocurrencia de accidentes observados en el primer análisis en la Figura 99, Figura 100 y Figura 101, donde resalta que en el sector de Curahuasi son más propensos a tener accidentes y en un segundo análisis con las propuestas de mejora uniformizar el ancho de calzada 3.30m, la berma en 1.20m, implementación de banda sonora central, iluminación y reemplazar radios mínimos establecidos el manual de diseño geométrico, se redujo la cantidad de accidentes en tangente en 82.76% en curva y en tangente de 4.55%.

Conclusiones específicas

C.E.1 En relación con los factores geométricos, se evidenció de forma notable que las características de diseño de la vía, como la consistencia geométrica no cumplen los radios y tangentes mínimas establecidos por la DG-2018. Dando como resultado que 41.7% no cumplen y en tangente 68.2% no cumplen las cuales influyen directamente en la frecuencia de accidentes, confirmando la hipótesis específica N.º 1.

- C.E.2** Respecto a los factores de tránsito, se comprobó que el IMDA y los dispositivos de control de tránsito inciden notablemente en la accidentabilidad del tramo, como se observó en el análisis de resultados, el cual los resultados del IMDA nos indica que al pasar los años va incrementando los vehículos ligeros y pesados al igual los accidentes validando la hipótesis específica N.º 2. Un mayor volumen de tránsito incrementa la exposición al riesgo, mientras que las deficiencias en señalización y demarcación afectan el comportamiento del conductor, aumentando la probabilidad de siniestros.
- C.E.3** En cuanto a las propuestas de mejora en los factores geométricos y de tránsito, la aplicación de los Factores de Modificación de Accidentes (FMAs) evidenció una reducción significativa en la frecuencia de accidentes, especialmente en segmentos en curva, donde se alcanzó una disminución del 82.76 %, confirmando la hipótesis específica N.º 3.
- C.E.4** En conjunto, la investigación demuestra que la aplicación del HSM calibrado a condiciones locales, complementado con la Inspección de Seguridad Vial, constituye una herramienta eficaz para la identificación de puntos críticos y la formulación de medidas orientadas a la reducción de accidentes de tránsito en carreteras de características similares.

VII. Recomendaciones

1. Una evaluación preliminar del tramo en análisis. Este proceso debe contemplar la definición precisa de los límites del estudio, así como la identificación de puntos de control que faciliten la georreferenciación durante el trabajo de campo. De igual manera, resulta indispensable verificar la disponibilidad, accesibilidad y calidad de la información necesaria, además de seleccionar el tipo de levantamiento topográfico más adecuado desde el punto de vista técnico y económico, garantizando así la confiabilidad de los datos empleados en el análisis.
2. En el ámbito metodológico, la incorporación del Método Empírico de Bayes permite mejorar la precisión de las estimaciones de accidentabilidad, al integrar la información observada con los resultados de los modelos predictivos, reduciendo la variabilidad inherente a los datos. Asimismo, la inclusión de estudios complementarios, como los análisis de origen–destino y frecuencia de viajes, contribuye a comprender de manera más integral los patrones de movilidad, facilitando la identificación de factores asociados a la ocurrencia de accidentes de tránsito.
3. Desde el punto de vista de intervención, se evidencia que la implementación de medidas de bajo costo, como la señalización horizontal, constituye una alternativa eficiente para mejorar la seguridad vial, especialmente en tramos donde una ampliación de la infraestructura no resulta viable. Estas acciones permiten mejorar la orientación y percepción del conductor, contribuyendo a la reducción de la accidentabilidad. Por otro lado, resulta fundamental fortalecer los sistemas de gestión y registro de accidentes de tránsito, promoviendo la estandarización de la

información, la capacitación del personal involucrado y la implementación de herramientas tecnológicas que permitan una recopilación y análisis de datos más precisos y oportunos. Esto no solo favorece una toma de decisiones más informada, sino que también contribuye a una respuesta más eficiente ante los siniestros viales, reduciendo su impacto social y económico.

4. En cuanto al enfoque metodológico, la aplicación conjunta de herramientas como el HSM y la Inspección de Seguridad Vial permite identificar de manera más precisa los tramos críticos y los factores de riesgo asociados, facilitando la formulación de medidas correctivas orientadas tanto al diseño geométrico como a los dispositivos de control de tránsito. No obstante, es importante reconocer que el HSM presenta ciertas limitaciones en la evaluación de elementos específicos de la infraestructura, como taludes, sistemas de drenaje o barreras de seguridad, por lo que se recomienda complementar su aplicación con metodologías adicionales que permitan una evaluación más integral.
5. Finalmente, la aplicación articulada de las diferentes partes del Highway Safety Manual, proporciona un enfoque integral para la evaluación y mejora de la seguridad vial. Este enfoque permite optimizar la priorización de intervenciones, mejorar la asignación de recursos y contribuir de manera sostenida a la reducción de los accidentes de tránsito. En este sentido, su implementación progresiva en el contexto nacional representa una oportunidad clave para fortalecer la gestión de la seguridad vial y mejorar las condiciones de la red vial.

VIII. Referencias

- Atauchi Ravelo, F. M., & Quispe Sanchez, D. A. (2019). *Análisis de la influencia de las características geométricas, dispositivos de control e intensidad del tránsito en la accidentabilidad de la carretera nacional PE-3S tramo Ancahuasi – Limatambo según la metodología de inspección de seguridad vial del MTC 2017 y el Manual de Seguridad Vial HSM 2010*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Andina Del Cusco]. Repositorio Institucional UAC. <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/3361>
- Castelló, D. L. (2018). *Desarrollo de una metodología para el diseño y mejora de carreteras convencionales a partir del análisis de la seguridad vial mediante modelos de consistencia* [Tesis doctoral, Universitat Politecnica de Valencia].
<https://doi.org/10.4995/thesis/10251/100271>
- Choque Paucar, M. A., & Quispe Arredondo, S. J. (2023). *Determinación del indicador de mayor incidencia al hallar la seguridad vial aplicando las metodologías HSM, MSV y consistencia del diseño geométrico en la carretera departamental CU-113 Huambutio - Huayllabamba*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Andina Del Cusco]. Repositorio UAC. <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/6154>
- Correa Culquicondor, B. S., & Sarango Cruz, P. A. (2024). *Aplicación de la metodología de inspección de seguridad vial según el MTC y el método predictivo del HSM, en la Av. Sánchez Cerro tramo cruce con Av. Marcavelica hasta el cruce con Jr. Cusco - Piura*. [Tesis de Grado, Universidad de Piura]. Repositorio UDEP. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/6649>
- Dutan-Arpi, A. F. (2023). *Metodología para la evaluación de seguridad vial en autovías concesionadas, en la provincia de El Oro*. [Tesis de maestría, Universidad Técnica de

Machala]. Repositorio Institucional UTMACH.

<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/21627>

García-Ramírez, Y., Rojas, P., Duque, E., & Rojas-Asuero, H. (2018). Calibración del Modelo Predictivo de Accidentes de Tránsito del HSM en Carreteras del Cantón Loja (Ecuador). *INNOVA Research Journal*, 3(7), 114–123.

<https://doi.org/10.33890/innova.v3.n7.2018.605>

Kronprasert, N., Boontan, K., & Kanha, P. (2021). Crash prediction models for horizontal curve segments on two-Lane rural roads in Thailand. *Sustainability*, 13(16), 9011.

<https://doi.org/10.3390/su13169011>

Mamani Coaquira, A., & Ponce Mendoza, F. R. (2021). *Predicción de accidentes de tránsito aplicando el manual HSM 2010 en la carretera Puno - Ilave*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/15035>

Mendes, O. B. B., Larocca, A. P. C., Rodrigues Silva, K., & Pirdavani, A. (2023). Assessing the performance of Highway Safety Manual (HSM) predictive models for Brazilian multilane highways. *Sustainability*, 15(13), 10474. <https://doi.org/10.3390/su151310474>

Monroy Perez, Y. (2021, noviembre 20). *Inspeccion de Seguridad Vial en Tramos de Concentracion de Siniestros del Km 43 al 94 del Tramo Tarma – San Ramon*. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio Institucional UPLA.

<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/3007>.

Polo, K. A. R. (2018). *Estimación de accidentes en vías de uso exclusivo de BRT, según el Manual de Seguridad Vial de Estados Unidos: Estudio de caso: Ciudad de Bogotá*. [Tesis de maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. Repositorio Institucional

Escuela Colombiana de Ingeniería.

<https://repositorio.escuelaing.edu.co/entities/publication/8826d43b-f266-407e-8ac0-64048b0821b3>

Quispe Huallpa, P., & Alvarez Rodriguez, D. (2024). *Evaluación y optimización del diseño geométrico de la carretera PE – 28B Santa Ana – Maranura, aplicando metodologías en seguridad vial ISV, HSM*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Andina Del Cusco].

Repositorio Institucional UAC. <https://hdl.handle.net/20.500.12557/6800>.

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 – Pano – Chaglla en el departamento de Huánuco*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio Institucional UNHEVAL.

<https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/8965>

Sinche Mendieta, K. M., & Cercado Quispe, K. A. (2023). *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas*. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/669877>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes