

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“PROPUESTA DE APLICACIÓN DEL MÓDULO
CPM DEL SOFTWARE IHSDM PARA MEJORAR
EL ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD VIAL EN LA
ETAPA DE DISEÑO DE LA CARRETERA
CUTERVO - CHIPLE KM 32 AL KM 37
EN EL AÑO 2023”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Silvia Magaly Borja Gabriel

Joel Moreno Carbonero

Asesor:

Mg. Jvan Jovanovic Aguirre

<https://orcid.org/0000-0003-1609-1704>

Lima - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	JOSE LUIS NEYRA TORRES	21454204
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	RUBEN KEVIN MANTURANO CHIPANA	46905022
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	NEICER CAMPOS VASQUEZ	42584435
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	portal.mtc.gob.pe Fuente de Internet	1%
6	documents.mx Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

Gracias a nuestro hijo por entender que, durante el desarrollo de esta tesis, fue necesario sacrificar situaciones y momentos a su lado para así poder completar exitosamente el trabajo académico.

Agradezco cada una de tus sonrisas y tus muestras de cariño hacia nosotros. Todos nuestros esfuerzos han valido la pena porque has estado a nuestro lado apoyándonos, iluminándonos con tu amor. Estamos muy orgullosos de ser tus padres.

Atte. Los autores.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos profundamente a todas las personas que contribuyeron de alguna manera en la realización de esta tesis. En primer lugar, agradecemos a nuestro hijo y familia quienes nos brindaron su incondicional apoyo y comprensión durante todo el proceso.

Por último, queremos expresar nuestro agradecimiento a todos los participantes en el estudio, por su tiempo y disposición para compartir su valiosa información y conocimientos.

Atte. Los autores

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO	5
Tabla de contenido.....	6
Índice de tablas	8
Índice de figuras	12
Índice de ecuaciones.....	15
Índice de acrónimos.....	16
RESUMEN	17
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	18
1.1. Realidad problemática.....	18
1.2. Formulación del problema	101
Objetivos	102
1.3. Hipótesis.....	102
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	104
2.1. Enfoque de la investigación	104
2.2. Tipo de investigación	104
2.3. Nivel de investigación.....	104
2.4. Diseño de la investigación.....	105
2.5. Población de estudio.....	106

2.6. Muestra.....	106
2.7. Materiales y equipos.....	107
2.8. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	108
CAPÍTULO III: RESULTADOS	118
3.1. Objetivo específico 1.....	118
3.2. Objetivo específico 2.....	149
3.3. Objetivo específico 3.....	162
3.4. Objetivo general	196
3.5. Inferencia Estadística	201
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	206
4.1. Discusión.....	206
4.2. Conclusiones	213
4.3. Recomendaciones.....	214
Referencias	218

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Diferencia acumulada de siniestralidad de tránsito, 2021 - 2022</i>	20
Tabla 2	<i>Accidentes por tipo de consecuencia, 2014 - 2021</i>	22
Tabla 3	<i>Cuadro de velocidad de diseño</i>	37
Tabla 4	<i>Distancia de visibilidad de parada con pendiente (metros)</i>	40
Tabla 5	<i>Longitud mínima en tangente</i>	41
Tabla 6	<i>Radio mínimos y peraltes máximos</i>	42
Tabla 7	<i>Pendientes máximas</i>	45
Tabla 8	<i>Anchos mínimos de calzada en tangente</i>	50
Tabla 9	<i>Ancho de bermas</i>	51
Tabla 10	<i>Cuadro de bombeo de la carretera por tramos</i>	51
Tabla 11	<i>FMA's en condiciones base</i>	68
Tabla 12	<i>FMA's en condiciones base</i>	69
Tabla 13	<i>Valores para determinar el FMA 1</i>	70
Tabla 14	<i>Valores para determinar el FMAwra</i>	72
Tabla 15	<i>Valores para determinar el FMAtra</i>	72
Tabla 16	<i>Valores para determinar el FMAtra</i>	75
Tabla 17	<i>Valores para determinar el FMA 11</i>	79
Tabla 18	<i>Puntaje de CMF – Clasificación de estrellas</i>	90
Tabla 19	<i>Valores para determinar los intervalos de confianza</i>	91
Tabla 20	<i>Materiales y equipos empleados</i>	107
Tabla 21	<i>Coordenadas UTM del tramo</i>	111
Tabla 22	<i>Coordenadas geográficas del tramo</i>	112
Tabla 23	<i>Elementos de curvas horizontales aprobado</i>	125
Tabla 24	<i>Elementos de curvas verticales</i>	129
Tabla 25	<i>Parámetros del Diseño vial aprobado</i>	130

Tabla 26 <i>Radio de curvatura insuficiente</i>	132
Tabla 27 <i>Diferencia de radios de curvas</i>	134
Tabla 28 <i>Longitud de tangente entre curvas en "S"</i>	136
Tabla 29 <i>Longitud de tangente entre curvas en "O"</i>	139
Tabla 30 <i>Longitud máxima</i>	140
Tabla 31 <i>Sobreanchos</i>	141
Tabla 32 <i>Distancia de visibilidad de parada carril izq.</i>	141
Tabla 33 <i>Distancia de visibilidad de parada carril der.</i>	143
Tabla 34 <i>Parámetro de curvatura "K"</i>	144
Tabla 35 <i>Longitud de curvas cóncavas y convexas</i>	145
Tabla 36 <i>Pendiente máxima</i>	147
Tabla 37 <i>Proyecciones del tráfico</i>	150
Tabla 38 <i>Accidentes previstos entre el año 2024 – 2026 (IHSDM).</i>	159
Tabla 39 <i>Accidentes previstos entre el año 2024 – 2026 (IHSDM).</i>	160
Tabla 40 <i>Distribución prevista del tipo de accidente (IHSDM) – Pre Test</i>	160
Tabla 41 <i>Relación de zonas de alta probabilidad de accidentes</i>	161
Tabla 42 <i>Cuadro de resumen de datos de accidentes de tránsito, 2021 - 2023 (ONSV)</i> .	163
Tabla 43 <i>Relación de radio mínimo de curva horizontal – NO CUMPLE</i>	168
Tabla 44 <i>Diferencia de radios de curvas – NO CUMPLE</i>	168
Tabla 45 <i>Longitud de tangente entre curvas en "S"– NO CUMPLE</i>	169
Tabla 46 <i>Longitud de tangente entre curvas en "O"– NO CUMPLE</i>	169
Tabla 47 <i>Distancia de visibilidad de parada carril izq.– NO CUMPLE</i>	170
Tabla 48 <i>Distancia de visibilidad de parada carril der. – NO CUMPLE</i>	170
Tabla 49 <i>Parámetro de curvatura "K"– NO CUMPLE</i>	171
Tabla 50 <i>Longitud de curvas cóncavas y convexas – NO CUMPLE</i>	171
Tabla 51 <i>Resumen de incumplimientos normativos por zonas.</i>	172

Tabla 52	<i>Clasificación de materiales Km 32+000 al Km 37+000</i>	173
Tabla 53	<i>Sectores Inestables del Km 32+000 al Km 37+000</i>	173
Tabla 54	<i>Estructuras ejecutadas del Km 32+000 al Km 37+000</i>	174
Tabla 55	<i>Relación de contramedidas - CMF seleccionados</i>	175
Tabla 56	<i>Análisis de CMF's – Grupo 1</i>	176
Tabla 57	<i>Valor de CMF combinado – Grupo 1</i>	176
Tabla 58	<i>Análisis de CMF's – Grupo 2</i>	177
Tabla 59	<i>Valor de CMF combinado – Grupo 2</i>	177
Tabla 60	<i>Análisis de CMF's – Grupo 3</i>	178
Tabla 61	<i>Valor de CMF combinado – Grupo 3</i>	178
Tabla 62	<i>Análisis de CMF's – Grupo 4</i>	179
Tabla 63	<i>Valor de CMF combinado – Grupo 4</i>	179
Tabla 64	<i>Resumen de los métodos para calcular el CMF combinado (1)</i>	180
Tabla 65	<i>Valor de CMF combinado (1) – Grupos 1 y 2</i>	181
Tabla 66	<i>Valor de CMF combinado (2) – Grupos 1 y 2</i>	181
Tabla 67	<i>Valor de CMF combinado (1)– Grupos 3 y 4</i>	182
Tabla 68	<i>Valor de CMF combinado (2)– Grupos 2 y 4</i>	182
Tabla 69	<i>Resumen de los métodos para calcular el CMF combinado (2)</i>	183
Tabla 70	<i>Resumen total de los métodos para calcular el CMF</i>	184
Tabla 71	<i>Distribución prevista del tipo de accidente (IHSDM) – Post-Test</i>	184
Tabla 72	<i>Resumen de propuestas de mejora por zonas</i>	185
Tabla 73	<i>Resumen Pre-Test y Post-Test</i>	196
Tabla 74	<i>Comparación de análisis de seguridad vial</i>	198
Tabla 75	<i>Metrado y presupuesto (EDI Km 32 al Km 37)</i>	200
Tabla 76	<i>Metrado y presupuesto (Propuesto Km 32 al Km 37)</i>	200
Tabla 77	<i>Pre-Test y Post-Test de la muestra variable dependiente</i>	202

Tabla 78 <i>Resumen de procesamiento de casos</i>	202
Tabla 79 <i>Pruebas de normalidad</i>	203
Tabla 80 <i>Estadísticas de muestras emparejadas</i>	204
Tabla 81 <i>Correlaciones de muestras emparejadas</i>	204
Tabla 82 <i>Prueba de muestras emparejadas</i>	204
Tabla 83 <i>Tamaños de efecto de muestras emparejadas</i>	205
Tabla 84 <i>Descriptivos</i>	205

Índice de figuras

Figura 1	<i>Total de fallecidos en siniestros de tránsito - 2022</i>	21
Figura 2	<i>Número de accidentes de tránsito en carreteras (enero – julio, 2017 - 2021)</i>	30
Figura 3	<i>Clase de siniestros de tránsito</i>	33
Figura 4	<i>Longitud de curva vertical convexa con distancias de visibilidad de parada.</i>	47
Figura 5	<i>Sección transversal típica a media ladera vía de dos carriles en curva, 2018</i>	49
Figura 6	<i>Retroreflectancia de las Marcas en el Pavimento</i>	56
Figura 7	<i>Carretera Huayllay – Dv. Cochamarca, en Pasco</i>	57
Figura 8	<i>Pasos de la metodología HSM</i>	65
Figura 9	<i>Predicción sin datos de historial de accidentes específicos del lugar</i>	86
Figura 10	<i>Diagrama de flujo de la metodología de predicción de seguridad cuando los datos del historial de accidentes específicos del lugar están disponibles y se utilizan.</i>	87
Figura 11	<i>Diagrama de flujo de la metodología de predicción de seguridad cuando los datos del historial de accidentes específicos del proyecto están disponibles y se utilizan para todo el proyecto.</i>	88
Figura 12	<i>Los factores de modificación de accidentes (CMF)</i>	89
Figura 13	<i>Método multiplicativo para estimar efectos combinados de múltiples CMF</i>	94
Figura 14	<i>Método aditivo para estimar los efectos combinados de múltiples CMF</i>	94
Figura 15	<i>Método efecto dominante para estimar efectos combinados de múltiples CMF</i>	95
Figura 16	<i>Método residuos comunes dominantes para estimar los efectos combinados de múltiples CMF</i>	95
Figura 17	<i>Mapa de Perú – Provincia de Cajamarca</i>	112
Figura 18	<i>Ubicación de la vía – Cutervo - Chiple</i>	113
Figura 19	<i>Ubicación de la vía de estudio – Km 32 – Km 37</i>	113
Figura 20	<i>Flujo de diseño de ingeniería</i>	114
Figura 21	<i>Vista de ubicación del Subtramo 01</i>	118
Figura 22	<i>Vista satelital del tramo en estudio Km 32 al Km 37</i>	119
Figura 23	<i>Visita a campo – Cutervo 2023</i>	120
Figura 24	<i>Km 32+000 al Km 33+000</i>	121
Figura 25	<i>Km 32+000 al Km 33+000</i>	121

Figura 26 <i>Km 33+000 al Km 34+000</i>	122
Figura 27 <i>Km 34+000 al Km 35+000</i>	122
Figura 28 <i>Km 35+000 al Km 36+000</i>	122
Figura 29 <i>Km 36+000 al Km 37+000</i>	123
Figura 30 <i>Diseño vial en Civil 3D 2021</i>	125
Figura 31 <i>Sección típica aprobada</i>	128
Figura 32 <i>Diseño vial en Civil 3D 2021</i>	132
Figura 33 <i>Porcentaje de cumplimiento normativo - Radios de curvatura</i>	133
Figura 34 <i>Porcentaje de cumplimiento normativo - Diferencia de radios de curvas</i>	136
Figura 35 <i>Cumplimiento normativo - Longitud de tangente entre curvas en "S"</i>	138
Figura 36 <i>Cumplimiento normativo - Longitud de tangente entre curvas en "O"</i>	140
Figura 37 <i>Cumplimiento normativo - Distancia de visibilidad de parada carril izq.</i>	142
Figura 38 <i>Cumplimiento normativo - Distancia de visibilidad de parada carril der.</i>	144
Figura 39 <i>Cumplimiento normativo - Parámetro de curvatura "K"</i>	145
Figura 40 <i>Cumplimiento normativo - Longitud de curvas cóncavas.</i>	146
Figura 41 <i>Cumplimiento normativo - Longitud de curvas convexas.</i>	147
Figura 42 <i>Cumplimiento normativo - Pendiente máxima</i>	148
Figura 43 <i>Porcentaje de parámetros según el cumplimiento normativo.</i>	149
Figura 44 <i>View Highway – Plan - IHSDM</i>	152
Figura 45 <i>View Highway – Profile - IHSDM</i>	152
Figura 46 <i>Evaluación mediante el software IHSDM</i>	153
Figura 47 <i>Evaluación mediante el software IHSDM</i>	153
Figura 48 <i>Evaluación mediante el software IHSDM</i>	154
Figura 49 <i>Evaluación mediante el software IHSDM</i>	154
Figura 50 <i>Evaluación mediante el software IHSDM</i>	155
Figura 51 <i>Evaluación mediante el software IHSDM</i>	155
Figura 52 <i>Evaluación mediante el software IHSDM</i>	156
Figura 53 <i>Report Overview – Software IHSDM</i>	157
Figura 54 <i>Gráficos de la predicción de accidentes – IHSDM</i>	158

Figura 55 <i>Accidentes previstos entre el año 2024 – 2026 (IHSDM)</i>	159
Figura 56 <i>Zonas de alta probabilidad de accidentes - IHSDM</i>	161
Figura 57 <i>Clase de siniestro de Tránsito</i>	166
Figura 58 <i>Clase de siniestro por tipo de vía</i>	166
Figura 59 <i>Tramo km 32+000 – km 37+000</i>	185
Figura 60 <i>Zona de alta probabilidad de accidentes 01 (Km 32+450 – KM 32+870)</i>	187
Figura 61 <i>Zona de alta probabilidad de accidentes 02 (Km 34+530 – KM 35+000)</i>	189
Figura 62 <i>Zona de alta probabilidad de accidentes 03 (Km 35+150 – KM 35+480)</i>	191
Figura 63 <i>Zona de alta probabilidad de accidentes 04 (Km 35+720 – KM 36+200)</i>	193
Figura 64 <i>Zona de alta probabilidad de accidentes 05 (Km 36+610 – KM 36+880)</i>	195
Figura 65 <i>Comparación Pre-Test y Post-Test</i>	197

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Distancia de visibilidad de parada	39
Ecuación 2. Radio mínimo	41
Ecuación 3. Sobreancho	43
Ecuación 4. Parámetro de curvatura	45
Ecuación 5. Longitud de curva vertical ($DP < L$).	46
Ecuación 6. Longitud de curva vertical ($DP > L$).	46
Ecuación 7. Longitud de curva vertical ($D < L$).	48
Ecuación 8. Longitud de curva vertical ($D < L$).	48
Ecuación 9. Estimación de frecuencia de accidentes.	66
Ecuación 10. Función de predicción de accidentes para segmentos de carretera.....	67
Ecuación 11. Fórmula empírica de Bayes	67
Ecuación 12. FMA 1 – Ancho de carril	70
Ecuación 13. FMA 2 – Ancho y tipo de berma	71
Ecuación 14. FMA 3 – Curvas horizontales	73
Ecuación 15. FMA 4 – Peraltes	74
Ecuación 16. FMA 6 – Densidad de accesos.....	75
Ecuación 17. FMA 9 – Giro a la izquierda.....	76
Ecuación 18. FMA 9 – Giro a la izquierda.....	77
Ecuación 19. FMA 10 - Índice de peligrosidad.....	78
Ecuación 20. FMA 11 – Iluminación	78
Ecuación 21. Error de estándar	92

Índice de acrónimos

AASHTO:	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASV :	Auditoria de seguridad vial
Cr :	Factor de calibración
DG :	Manual de diseño geométrico de carreteras 2018
FMA :	Factores de modificación de accidentes (CMF)
FPC :	Función de predicción de accidentes (SPF)
HSM :	Highway Safety Manual
IMDA :	Índice Medio Diario Anual
INEI :	Instituto Nacional de Estadística e Informática
IP :	Índice de Peligrosidad
ISV :	Inspección de seguridad vial.
MSV :	Manual de Seguridad Vial
MTC :	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
OMS :	Organización Mundial de la Salud
PNP :	Policía Nacional del Perú.
ONSV :	Observatorio Nacional de Seguridad Vial
FHWA :	Federal Highway Administration
CPM :	Crash Prediction Module
IHSDM :	Interactive Highway Safety Design Model
CGR :	Contraloría General de la República.
EDI :	Expediente Definitivo de Ingeniería
SUTRAN :	Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas, Carga y Mercancía

RESUMEN

En el Perú, la seguridad vial de las carreteras, en cierta manera depende de la experiencia, criterio y conocimiento de los especialistas encargados del diseño, construcción y supervisión de la infraestructura vial, siendo necesario complementar con un software que ayude a analizar los datos y simular diferentes escenarios para la detección de zonas de peligro de accidentes, la investigación tiene como objetivo mejorar el análisis de la seguridad vial aplicando el módulo CPM del software IHSDM en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37. La investigación es de enfoque: cuantitativa; tipo: aplicada, nivel: explicativo; diseño: pre-experimental y corte: longitudinal. Se realizó la predicción de la frecuencia de accidentes Pre-Test con lo cual se identificó (05) zonas de alta probabilidad de accidentes, se ha determinado la frecuencia promedio de (08) acc/año, en la evaluación Post-Test al implementar las propuestas de mejora utilizando las contramedidas y seleccionando un método adecuado para estimar el efecto combinado de los CMF, se obtiene (05) acc/año, logrando reducir un 42.7% los accidentes de tránsito, se destaca que no fue posible calcular el Factor de Calibración (Cr) debido a la falta de reportes de accidentes en el tramo de estudio.

En conclusión, el módulo CPM del IHSDM demostró ser una herramienta valiosa para mejorar el análisis de la seguridad vial en el diseño de carreteras, esto ayuda a reducir los errores y a la toma de decisiones en etapas de expediente.

PALABRAS CLAVES: IHSDM, seguridad vial, diseño, métodos predictivos, CMF.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En la gran mayoría de países del mundo, los gobiernos están encargados de administrar los recursos públicos y de gestionar la ejecución de obras que beneficien a las comunidades y poblaciones.

En el Perú según la Contraloría General de la República (CGR) y lo indicado en el artículo 10 del Reglamento de la Ley de Contrataciones del Estado, toda obra requiere de un Expediente Técnico el cual elaborado, revisado y aprobado por profesionales y especialistas en el tema, para luego dar paso a la ejecución de las obras en cumplimiento con los documentos técnicos como los Términos de Referencia (TDR), Bases y Manuales.

Actualmente en el Perú existen 1,609 obras públicas que se encuentran paralizadas o en proceso de arbitraje según INFOBRAS, generando cuantiosas pérdidas económicas al estado y un saldo por ejecutar de S/. 10 mil 374 millones, aproximadamente el 2 % de estas paralizaciones son producto de una deficiencia durante la etapa de diseño y revisión de los documentos que componen un expediente técnico (informes, diseños, planos, presupuestos) (Ositran, 2023).

Las obras de infraestructura como son las carreteras conllevan a una responsabilidad mayor por parte de todos los profesionales involucrados, (desde los diseñadores, proyectistas, hasta los revisores y supervisores), ya que tienen un impacto directo en las comunidades y sus habitantes, ya sea positivo al generar desarrollo y conexión o negativo al suscitarse accidentes de tránsito que provocan lamentablemente pérdidas humanas o

traumatismos graves, algunos puntos de ocurrencia de estos accidentes pudieron haber sido detectados durante la etapa de ingeniería, propuesto mejoras al diseño y reducir la alta probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito.

1.1.1. Situación del problema

Actualmente los diseños de carreteras y los análisis de seguridad vial vienen siendo elaborados, revisados, aprobados y supervisados por profesionales y especialistas quienes realizan el proceso de identificación de los sectores de la carretera que requieren mayor intervención, al ser más vulnerables o presentar características que “para ellos” puede provocar una mayor ocurrencia de accidentes de tránsito.

La detección de estos sectores desde el punto de vista del diseñador y del revisor se basa en la utilización de metodologías tradicionales para el diagnóstico de riesgos en las carreteras, los cuales pueden ser insuficientes y limitadas en su capacidad para analizar la complejidad de los factores que afectan la seguridad en las vías. Estas metodologías, que a menudo se basan en juicios y experiencias personales y subjetivas de profesionales y/o expertos, pueden resultar en diagnósticos poco precisos e incompletos, lo que puede llevar a una falta de comprensión de los riesgos y peligros asociados a la carretera en cuestión.

La organización mundial de la salud (OMS) afirma que los choques de vías provocan casi 1.3 millón de defunciones previsibles y cincuenta millones de heridos al año, especialmente en países de ingresos medio y bajos. El mejoramiento de las capacidades de los expertos en seguridad vial que trabajan en el sector público, comercio, entes no gubernamentales y estudios de investigación es decisivo, puesto que el conocimiento

limitado de gestión para las vías y las prácticas más seguras de los usuarios puede ser una barrera para regiones en muchos países (OMS, 2021).

De acuerdo al Plan Nacional de Seguridad Vial (PNSV), existen diversas causas que inciden en la tragedia humana; como, por ejemplo, una infraestructura vial obsoleta, sin garantizar los estándares modernos para la seguridad; además de la aplicación de instrumentos técnicos para la gestión de la misma, insuficientes para alcanzar los estándares requeridos por la seguridad vial, sin contar con una evaluación de riesgos adecuada (Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC, 2023).

En el Perú según cifras del Observatorio Nacional de Seguridad Vial (ONSV) en el año 2022 se registraron 83 mil 881 siniestros de tránsito, 3 mil 312 fallecidos y 53 mil 544 heridos, cifras que han venido incrementándose hace varios años y que según proyecciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) para el año 2030 seguirá en aumento (Gobierno del Perú, 2022).

Tabla 1

Diferencia acumulada de siniestralidad de tránsito, 2021 - 2022

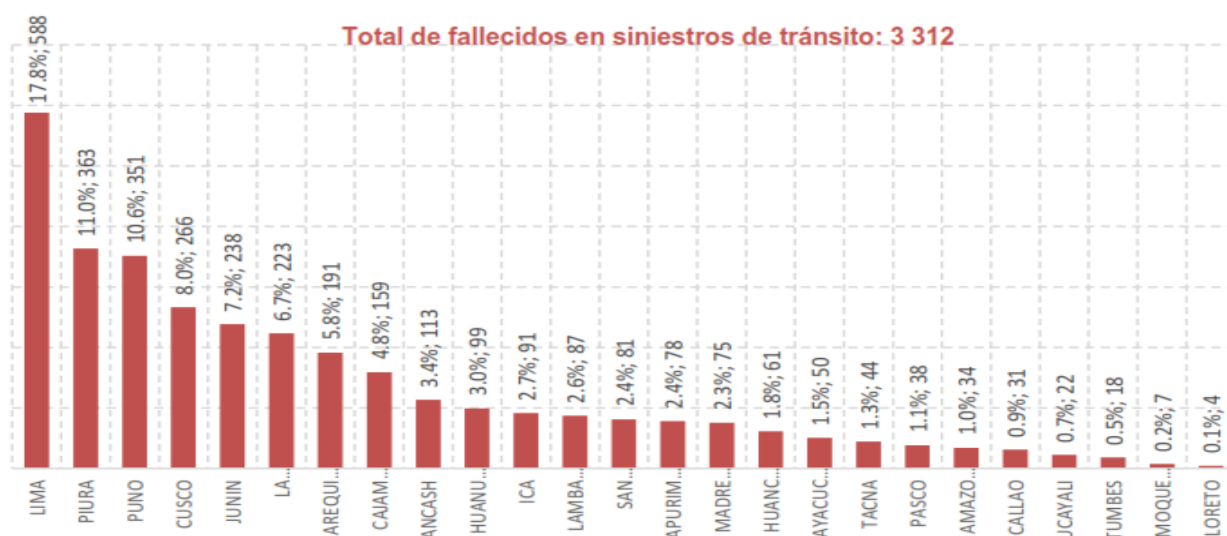
Periodo	Siniestros de tránsito	Personas fallecidas	Personas heridas
2021	74 624	3 032	49 519
2022	83 881	3 312	53 544
Variación de valores absolutos	+ 9 257	+ 280	+ 4 025
Porcentaje de variación (%)	+ 12.40%	+ 9.20%	+ 8.10%

Nota. Obtenido de Observatorio Nacional de Seguridad Vial – MTC.

Actualmente la ciudad de Cajamarca se encuentra dentro de las 10 regiones con mayor número de fallecidos en siniestros viales con un 4.8% (Gobierno del Perú, 2022).

Figura 1

Total de fallecidos en siniestros de tránsito - 2022



Nota. Obtenido de Observatorio Nacional de Seguridad Vial – MTC.

La carretera longitudinal de la sierra tramo 2 es una vía con 18 subtramos, el subtramo 2 ubicado en la Región de Cajamarca corresponde a la carretera Cutervo – Chiple, en la cual se vino ejecutando la Rehabilitación y Mejoramiento (RyM) de acuerdo con el Expediente Definitivo de Ingeniería (EDI), actualmente las obras se encuentran paralizadas y existen tramos pendientes de concluir, los cuales han sido denominados “Saldo de Obra” y se completará la ejecución según el EDI.

Se ha podido establecer que, durante el año 2021 se ha registrado el número más alto de accidentes y el mayor número de heridos desde el inicio de la construcción (OSITRAN, 2021).

Tabla 2

Accidentes por tipo de consecuencia, 2014 - 2021

<u>Año</u>	<u>Tipo de Accidente</u>			<u>Consecuencia del Accidente</u>		
	<u>Daños materiales</u>	<u>Heridos</u>	<u>Fallecidos</u>	<u>Daños materiales</u>	<u>Heridos</u>	<u>Fallecidos</u>
2014	1	2	0	3	4	0
2015	19	38	8	85	76	19
2016	24	64	5	236	122	6
2017	25	85	7	225	177	8
2018	47	86	20	666	239	25
2019	64	105	16	456	236	33
2020	278	100	21	609	242	28
2021	442	175	29	826	399	40

Nota. Informe de desempeño – OSITRAN 2021.

En el Perú, la seguridad vial de las carreteras, en cierta manera depende de la experiencia, criterio y conocimiento de los especialistas en seguridad vial, siendo necesario complementar a todo esto un software que ayude a analizar los datos y simular diferentes escenarios para la detección de zonas de peligro de accidentes, esto ayuda a reducir los errores en el diseño y a la toma de decisiones.

Existen herramientas como el software IHSDM que pueden desempeñar un papel crucial en la mejora de la evaluación y análisis de la seguridad vial. El IHSDM utiliza algoritmos, modelos de predicción de accidentes y herramientas avanzadas. El análisis de estos datos se utiliza para identificar los riesgos y peligros en la carretera de manera más precisa y rigurosa que las metodologías tradicionales. Esto puede proporcionar a las autoridades y a los encargados de la seguridad vial una herramienta valiosa para identificar y abordar los problemas de seguridad vial de manera más efectiva y eficiente (Velásquez y Guaranga, 2022).

1.1.2. Antecedentes

1.1.2.1. Antecedentes Internacionales

La Generalitat Valenciana (2018) de España, difundió la Guía para la redacción del Anexo de Seguridad Vial, elaborada por la empresa TYPESA de España, con el objetivo de mejorar la seguridad vial en el país. Para alcanzar este objetivo, la guía estuvo estructurada según una metodología fundamentada en la planificación, proyecto, construcción, puesta en servicio y explotación de la carretera proyectada. Los resultados arrojados, demostraron que el cumplimiento de la normativa técnica de aplicación es indispensable, pero no suficiente para garantizar altos niveles de seguridad vial. Como conclusión, se destaca la necesidad de prestar atención al diseño desde la planificación hasta la explotación de la carretera proyectada.

El informe plan mundial realizado por la OMS (2021), las comisiones regionales y sus asociados en las Naciones Unidas para la Seguridad Vial, elaborado con objetivo de respaldar el Decenio de Acción 2021-2030, recomienda una metodología concreta para la disminución de accidentes de tráfico vehicular. Esta incorpora la realización de auditorías de seguridad vial mediante el diseño detallado de todos los tramos de las nuevas carreteras en estudio previo de viabilidad y de identificación del riesgo de colisión, así como también la realización de evaluaciones e inspecciones de seguridad proactivas en la red vial. El resultado de aplicar estas prácticas es cumplir con la meta de que para el 2030, todas las carreteras nuevas cumplan normas técnicas para todos los usuarios. Por tales motivos, las conclusiones indican que se debe seguir insistiendo en aplicar las medidas propuestas en el plan mundial para mejorar la seguridad vial.

Perez et al. (2021), Colombia, consignaron la evaluación de las condiciones geométricas de vía, con la finalidad de poder comprender la trazabilidad que se ha tenido en cuanto al diseño, además de la longitud de la recta y de las longitudes de las tangentes anteriores y posteriores, al igual que el radio de las curvas anterior y posterior al analizado, mediante el uso del software IHSDM. Los resultados demostraron que estos parámetros tienen una fuerte influencia tanto en la velocidad media como en la limitación. Por lo tanto, se puede concluir que estas variables geométricas son fundamentales para asegurar la seguridad vial.

Arévalo (2020), Ecuador, consignó el estudio del análisis de la importancia que se ha tenido en cuanto al modelo de consistencia en referencia con la velocidad de las curvas cerradas. La metodología fue no experimental, en donde se ha manifestado el análisis bibliográfico por medio de la ficha de análisis documental. Los resultados han manifestado que la carretera rural a pesar de haber sido consignada bajo normativa nacional ha contado con limitantes en cuanto a la velocidad de diseño y la necesidad de minimizar cualquier tipo de riesgo. Se ha concluido que, la normativa de Ecuador ha contado con limitantes.

FHWA (2022), La división de Alabama de FHWA implemento el software IHSDM para evaluar el desempeño de seguridad de West South Boulevard, una arteria suburbana de alto volumen y alta velocidad, usó el módulo de predicción de choques CPM para predecir choques anuales y comparar la condición existente con el rediseño propuesto que incluía mejoras en la seguridad de los peatones, muestra una forma en que el análisis de seguridad basado en datos y la predicción de choques a través de IHSDM pueden permitir a las agencias realizar inversiones informadas en la seguridad de los usuarios de las carreteras.

1.1.2.2. Antecedentes Nacionales

Sologuren (2018), realizó una investigación con el objetivo general de revisar los expedientes técnicos de obras. Los resultados destacaron que los expedientes técnicos, en su mayoría, no se hallan debidamente estructurados por el costo reducido que el Estado otorga, y quienes la contratan no se aseguran de que cumplan con toda la documentación necesaria. De manera general, esto lleva a la construcción de proyectos definitivos que no toman en cuenta la real situación del terreno donde se planea realizar las obras, por lo que las conclusiones apuntan a que, el Estado asume los principales riesgos, impidiendo la entrega de obras de calidad.

CGR (2023), buscó conocer la cantidad de obras paralizadas que existían en el país y el monto invertido, el cual presentaba un resultado de 1,609 obras paralizadas y una inversión de 8 mil 645 millones de soles en el sector Transportes y Comunicaciones (27%). Para recopilar los datos, se utilizó como metodología el análisis exhaustivo de proyectos y sus estados de avance, el cual permitió llegar a resultados precisos de cantidad e inversión al mes de mayo del 2023.

Taquire (2019), realizó una encuesta a ingenieros civiles residentes de obra, se analizaron tres puntos importantes: los errores, las causas y las consecuencias de un expediente técnico deficiente. Los resultados según las afirmaciones de los encuestados fueron que el 76% de los errores más comunes de un expediente técnico se encuentran en los planos y los diseños, el 84% indicaron que la causa fue debido a una deficiencia en la evaluación y el 68% afirma que el retraso en el avance de la obra es la mayor consecuencia.

Valverde (2021), Perú, buscó analizar y mostrar el incremento de fallecidos y lesionados en siniestros de tránsito desde 1991 hasta 2019, contrastando con las proyecciones para 2030. Para esto, el autor utilizó una metodología que implicó, entre otras cosas, un taller realizado con la CMSV para valorar las funciones de gestión de la seguridad vial. Los resultados de este mostraron que entre las condiciones y oportunidades de mejora para la seguridad vial está el reconocer la importancia de fomentar las actividades de investigación, la generación de conocimiento, la documentación de buenas prácticas, y la implementación de proyectos demostrativos y de iniciativa. Por lo tanto, concluimos que estos hallazgos proporcionan un valioso insumo para promover una mayor seguridad vial dentro del país.

ONSV (Boletín Anual 2022), informa que en el Perú algunas causas de siniestro de tránsito son; el exceso de velocidad con 26.8% (22,505 accidentes), vía en mal estado 1.7% (1,417 accidentes), señalización defectuosa 0.2% (181 accidentes). Es importante mencionar que, para el 25.6 % de accidentes no se identifica la causa y/o no se tiene certeza de determinar la causa del siniestro. También indica que uno de los factores que intervienen en siniestros viales es Infraestructura y entorno vial con un 2.7% (2,243 accidentes). Además, menciona a Cajamarca como la octava región con mayor número de fallecidos (159).

Atauchi y Quispe (2019), Cusco. Se incurrió en una metodología observacional, en donde los resultados han manifestado información acerca de las características geométricas de las vías en estudio, considerando el índice de accidentabilidad como elemento primordial de análisis. Se ha concluido que, dentro de estas características y su control, se ha podido beneficiar la reducción de accidentes de tránsito.

Daza (2021), en su investigación menciona que, en accidentes de tránsito en vías concesionadas, sería el concesionario, quien se encuentra en una mejor posición de ejecutar algún tipo de acción o de informar al concedente, esto no se viene dando debido a los costos involucrados y más aún si ello no está estipulado en los contratos de concesión.

Pérez (2019), buscó reducir los accidentes en dicha vía rural. Para ello, se empleó la metodología de la predicción de accidentes. Los resultados muestran que fue posible aplicar la metodología norteamericana destacando un promedio de calibración de 1.06. Finalmente, la aplicación de esta metodología resultó en una reducción de hasta un 40% de los accidentes en la vía. Por tanto, se pueden concluir los beneficios de implementar la metodología norteamericana en el Perú.

Guillermo (2018), Perú, planteó el estudio de diferentes factores que han incidido en la comprensión de perspectivas para mejorar el nivel de seguridad dentro de las vías, la investigación propone la aplicación de medidas de bajo costo, los cuales son herramientas técnicas simples y eficaces que pueden aplicarse para reducir el riesgo de ocurrencia de accidentes de tránsito.

Guevara y Norabuena (2019), plantearon el análisis de la metodología de la seguridad vial con la finalidad de poder predecir los accidentes de tránsito dentro de las vías, en donde se haya podido establecer la conformación de métodos predictivos que puedan mejorar las condiciones de seguridad.

1.1.2.3. Antecedentes Locales

Ositran (2023), determinó que en la Región de Cajamarca hay 88 obras paralizadas, equivalentes al 5.2% a nivel nacional. Para determinar este resultado, se recurrió a la metodología estadística, para conocer la información necesaria que arroja una cantidad precisa sobre el número de obras paralizadas nuevas, su costo de inversión y su ubicación. Al evaluar los resultados se llegó a la conclusión de que había un alto número de obras paralizadas en el país, fundamentando la necesidad de avanzar con el desarrollo de proyectos nuevos a fin de mejorar la situación de los distritos.

ONSV (Boletín Anual 2022), realizó un informe sobre víctimas fatales en siniestros de tránsito e identificación de puntos de alta siniestralidad, obteniendo resultados que indican que Cajamarca representa el 3.4 por ciento de la siniestralidad total del Perú. La metodología fue no experimental, recolectando datos por medio de la guía de análisis documental. Además, de acuerdo con la zona de ocurrencia y zonificación, el 72 por ciento (77) de las personas fallecidas eran de zona rural y según el tipo de vía casi el 80.4 por ciento (86) habían muerto en carreteras. Por otro lado el 56.1 por ciento (60) de los fallecidos en siniestros ocurrieron a la red vial nacional. Por tanto, podemos concluir que en la región de Cajamarca se vive una situación de alto riesgo en la seguridad vial, atribuible principalmente a los altos índices de personas fallecidas en carreteras y en la red vial nacional.

Villacorta (2018), realizó una investigación acerca de los accidentes de tránsito y su relación con las características geométricas en una avenida del sur. Para ello, se realizó un estudio de caso, una detallada recopilación y análisis de la información y un levantamiento topográfico. Los resultados fueron evidentes: los accidentes, un total de 32 en un periodo de

7 años, se encuentran relacionados con el diseño de la carretera diseño geométrico de la Av. Héroes del Cenepa en un 75% de los casos. Además, 14 de los 24 accidentes ocurridos en el periodo estudiado se debían a su alta pendiente. Por último, se encontró un promedio de 5 accidentes por año. Por lo tanto, se concluye que el diseño geométrico de la Av. Héroes del Cenepa incide de manera significativa en la causalidad de los accidentes de tránsito.

Estrada y Soto (2021), plantearon el análisis de una vía en cuanto al manual HSM 2010. Luego de la inspección, se determinó que el 45% del tramo presentó elementos de inseguridad, los cuales se pudieron atribuir principalmente a las características geométricas y la señalización. Con la implementación de propuestas de mejora, los resultados mostraron una reducción en los accidentes de 78%, además de lograr un porcentaje de influencia altamente significativo de las características geométricas (20%), señalización y dispositivos de control (18%) y características de tránsito (7%). Por lo tanto, se pudo concluir que las acciones manuales propuestas contribuyeron de forma significativa a mejorar la seguridad vial de la Av. Atahualpa.

EDI (2013), fue aprobado con RD N°984-2013-MTC/20 y rectificado con RD N°1219-2013-MTC/20, se realizó la revisión de los siguientes documentos: Estudio de Trazo y Diseño vial (folios 0001-0075); Estudio de Tráfico (folios 0001-0146); Estudio de Geología y Geotecnia (folios 0001-0349); Estudio de Señalización y Seguridad vial (folios 0001-0042); Metrados (folios 0001-1037); Planos Tomo I (folios 0001-0165); Planos Tomo II (folios 0166-0633).

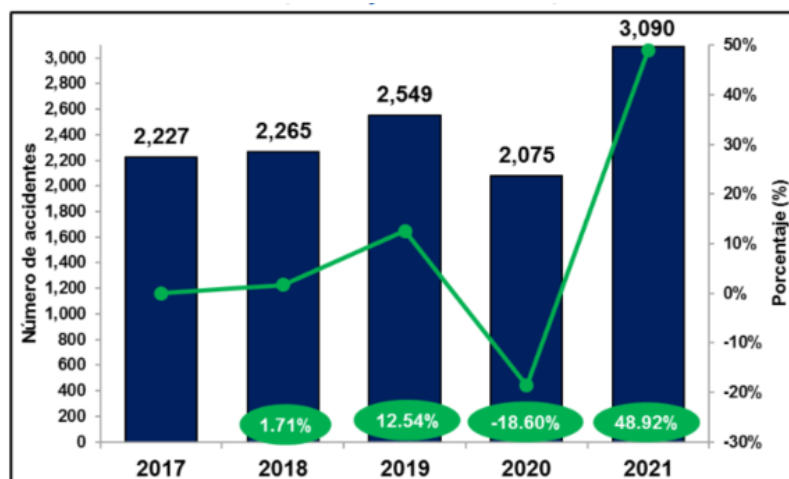
1.1.3. Marco teórico

1.1.3.1. Seguridad vial

La protección de la vida y la salud de los usuarios de la vía es lo que se conoce como "Seguridad Vial" (Aguirre, 2021). Esta área de estudio hace énfasis en prevenir los accidentes de tránsito y minimizar sus posibles consecuencias (OMS, 2021). El Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú (MTC, 2023) y SUTRAN, han reportado en su informe que, durante el periodo de enero a julio de 2021, se contabilizaron 3.090 choques ocurridos en carreteras (nacionales y departamentales), lo que representa un aumento del 48.92% comparado con el mismo lapso del año 2020. Por tales motivos, disminuir accidentes es un tema prioritario en el país de Perú que exige abordar medidas indispensables en aras de prevenir la seguridad vial y salvaguardar la vida de los usuarios de la vía.

Figura 2

Número de accidentes de tránsito en carreteras (enero – julio, 2017 - 2021)



Nota. Obtenido de SUTRAN

1.1.3.2. Factores que influyen en la seguridad vial de las carreteras

Diversos factores influyen en la seguridad vial de las carreteras, como el diseño geométrico de la vía, la señalización, la iluminación, el tráfico, el comportamiento del conductor y la interacción con otros usuarios de la vía. Comprender estos factores es esencial para el diseño de carreteras seguras y libres de accidentes de tránsito (Pérez y Yauyo, 2020).

1.1.3.3. Infraestructura vial

Es fundamental que la infraestructura vial se emplee para abarcar todas las necesidades del tránsito terrestre. Esto proporciona a la población la libertad para ejercer sus derechos, así como para que se desarrollen varios tipos de actividades económicas. Sin embargo, el transporte desorganizado e, incluso, el uso de opciones informales, generan aglomeraciones y accidentes que afectan estos mismos derechos (Chavarry y Príncipe, 2021).

1.1.3.4. Carreteras

Se afirma que los sistemas de carreteras cuentan con tres elementos esenciales: el camino, la regulación del tráfico y los usuarios con y sin vehículo. Estos elementos deben trabajar de manera conjunta para que el sistema funcione con eficacia y seguridad. Las unidades que transitan las vías carreteras varían en sus dimensiones, peso y rendimiento (Chungas, 2019).

1.1.3.5. Accidentes de tránsito

Un accidente se representa como aquella acción que afecta a otro elemento o ser, respecto a su condición inicial. En este tipo de incidentes, se produce una colisión, choque o impacto entre vehículos, o bien, un vehículo puede salirse de la vía o volcar (Vassallo, 2020).

1.1.3.6. Clasificación de accidentes de tránsito

- Según el tipo de vehículo involucrado
- Según el número de vehículos involucrados
- Según la gravedad de las lesiones o daños
- Según la causa principal del accidente

1.1.3.7. Gravedad del accidente

Según la escala FABCO, proporciona 5 niveles de gravedad de las lesiones:

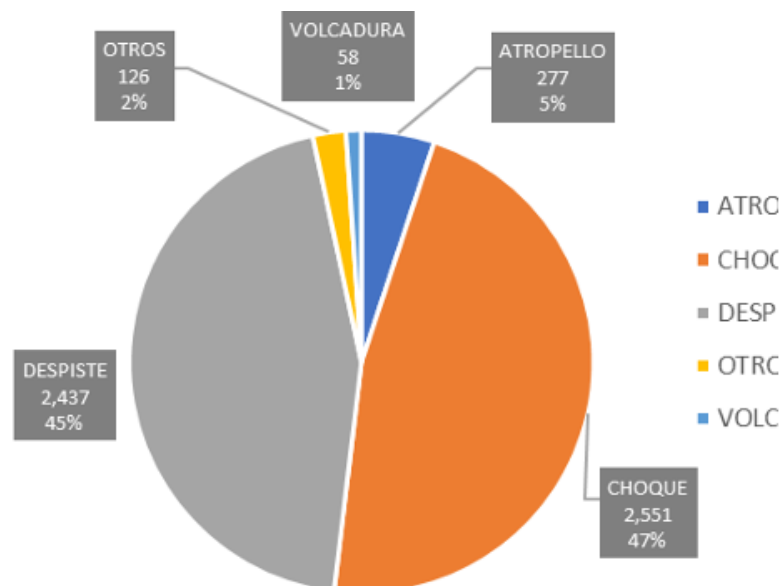
- F – Lesión Fatal
- A – Herido incapacitado
- B – Herido grave
- C – Herido leve
- O – Solo daños a la propiedad

1.1.3.8. Clase de siniestros de tránsito

Una de las principales causas de riesgo, de acuerdo con el SUTRAN y el MTC, han podido establecerse en los choques, despiste, atropello, entre otros, detallados en la figura siguiente:

Figura 3

Clase de siniestros de tránsito



Nota. Obtenido de SUTRAN

1.1.3.9. Características geométricas

Conforme al MTC (2018), los elementos geométricos asociados a una carretera (planta, perfil y sección transversal) deben tener una relación entre sí, con el objetivo de proporcionar un tránsito sin interrupciones para los vehículos, al tiempo que se conserva una velocidad de operación compatible con los requerimientos de la vía.

1.1.3.10. Clasificación de las carreteras

Según el manual (DG 2018).

De acuerdo con la demanda

1. Las vías de circulación de primera categoría se caracterizan por tener un Índice Medio Diario Anual (IMDA) superior a 6.000 vehículos diarios. Estas vías se componen de calzadas separadas por un separador central de al menos 6.00 metros.

Cada calzada debe tener al menos dos carriles de 3.60 metros de ancho, con restricción total a los accesos, facilitando el flujo continuo de vehículos sin interrupciones ni pasos a nivel. En áreas urbanas, se deben proporcionar puentes peatonales. El pavimento deberá ser la superficie de rodadura en estas carreteras (MTC, 2018, p.12).

2. Por otro lado, las autopistas de segunda categoría se distinguen por su IMDA, que varía entre 6.000 y 4.001 vehículos diarios. Estas carreteras constan de calzadas divididas por un separador que puede fluctuar entre 1.00 metros y 6.00 metros. En caso de minimizar el separador a 1.00 metros, se debe instalar un sistema de contención vehicular adecuado. Asimismo, cada calzada debe poseer como mínimo dos carriles de 3.60 metros de ancho. Estas autopistas permiten un control parcial de los accesos, posibilitando un tráfico continuo con la posibilidad de cruces a nivel de caminos y puentes peatonales en zonas urbanas. También, estas carreteras deben tener superficie de rodadura pavimentada (MTC, 2018, p.12).

3. Además, las carreteras de primera categoría corresponden a las vías con un IMDA entre 4.000 y 2.001 vehículos al día. Estas rutas suelen tener calzadas de dos carriles, cada uno de 3.60 metros de ancho, como mínimo. En zonas urbanas, se recomienda la instalación de puentes peatonales o la implementación de dispositivos de seguridad vial, en su ausencia, para permitir la operación vehicular a alta velocidad y de manera segura. Asimismo, estas carreteras deben estar pavimentadas (MTC, 2018, p.12).

4. En tanto, las carreteras de segunda categoría se caracterizan por tener un IMDA que oscila entre 2.000 y 400 vehículos diarios. Estas rutas normalmente comprenden dos carriles de 3.30 metros de ancho como mínimo. Se recomienda que cuenten con

puentes peatonales o dispositivos de seguridad vial alternos en zonas urbanas, para permitir velocidades de operación vehicular de manera segura. Estas carreteras deben estar pavimentadas.

5. Por su parte, las carreteras de tercera categoría están diseñadas para un IMDA menor a 400 vehículos al día. Se compone de dos carriles, cada uno con un ancho mínimo de 3.00 metros. A modo de excepción, estas rutas pueden tener carriles de hasta 2.50 metros, bajo el respaldo técnico apropiado (MTC, 2018, p.12).

6. Finalmente, las trochas carrozables son caminos de circulación que no cumplen con las características geométricas de una carretera y por lo general, tienen un IMDA inferior a 200 vehículos al día. Sus carreteras deben tener un ancho mínimo de 4.00 metros. En dichas vías, se encauzan ensanches para cruces, denominados plazoletas, al menos cada 500 metros. La superficie de estas rutas puede ser afirmada o sin afirmar (MTC, 2018, p.13).

Según condiciones orográficas

1. En la categorización de los terrenos, el tipo 1 es el terreno plano. Este se caracteriza por tener pendientes transversales menores o iguales al 10% respecto al eje de la vía y pendientes longitudinales generalmente inferiores al 3%. La característica principal de este tipo de terreno es que demanda escaso movimiento de tierras, lo que significa que su trazado no genera grandes problemas (MTC, 2018, p.14).

2. Por otro lado, el segundo tipo de terreno, referido como ondulado, presenta pendientes transversales que oscilan entre el 11% y el 50% en relación al eje de la vía, y al mismo tiempo, sus pendientes longitudinales se encuentran entre el 3% y el 6%. Este tipo de

terreno requiere un movimiento de tierras de grado moderado, permitiendo trazados rectos intercalados con curvas de amplios radios, sin causar grandes dificultades en su trazado (MTC, 2018, p.14).

3. Respecto al tercer tipo, llamado terreno accidentado, este tiene pendientes transversales fluctuando entre el 51% y el 100% en relación al eje de la vía. Además, sus pendientes longitudinales predominantes están entre el 6% y el 8%. Este tipo de terreno necesita importantísimos movimientos de tierras y por eso tiene tendencia a presentar dificultades en el trazado (MTC, 2018, p.14).

4. La última categoría corresponde al terreno escarpado, o tipo 4. Este tiene pendientes transversales superiores al 100% respecto al eje de la vía, y al mismo tiempo, sus pendientes longitudinales muy excepcionales exceden el 8%. Esta tipología del terreno requiere el máximo movimiento de tierras posible por lo que presenta grandes desafíos en su trazado (MTC, 2018, p.14).

1.1.3.11. Índice medio diario anual (IMDA)

La guía de referencia (DG 2018) sostiene que el promedio matemático de los volúmenes cotidianos, observados a lo largo del año en un tramo específico de la ruta, sirve para cuantificar su relevancia. Este dato es fundamental para efectuar los cálculos que determinarán la viabilidad económica de un proyecto.

De la misma manera, los registros de Vehículos Diarios Promedio Anuales (IMDA) aportan datos valiosos que permiten definir las características del diseño de ciertos segmentos de carretera, su clasificación, así como idear estrategias de optimización y

programas de mantenimiento. Las cifras expresadas en vehículos por día son de gran relevancia para evaluar los programas de seguridad vial y estimar la eficacia del servicio que brinda el transporte terrestre (MTC, 2018, p.92).

1.1.3.12. Velocidad de diseño

Se representa como aquella velocidad de diseño que debe de ser respetada para garantizar la comodidad y seguridad dentro de una sección de carretera (DG, 2018).

Tabla 3

Cuadro de velocidad de diseño

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. Tomado del DG (2018)

1.1.3.13. Distancia de Visibilidad

Conforme a las directrices enseñadas en el manual (DG 2018), la extensión continua que un conductor de vehículo puede observar con claridad hacia el frente de la carretera es esencial para realizar aproximaciones seguras a las distintas maniobras que pueda estar enfrentando o decida llevar a cabo. Los proyectos de carreteras se planifican tomando en cuenta tres categorías de visibilidad:

- La visibilidad para realizar una detención.
- La necesaria para efectuar un adelantamiento o paso.
- La que permite la intersección con otro camino.

Estas dos primeras categorías tienen un impacto significativo en la planeación de carreteras en áreas abiertas y se discutirán en esta parte del estudio, asumiendo una carretera recta y con una pendiente constante. Las situaciones que existen debido a peculiaridades asociadas al diseño del camino o perfil serán analizadas en las secciones respectivas. (MTC, 2018, p.103).

La distancia de visibilidad requerida para una detención se define en el manual (DG 2018) como la más corta necesaria para que un vehículo, que se desplaza a la velocidad de diseño, se detenga antes de llegar a un objeto estático en su trayectoria.

Un obstáculo se considera aquel con una altura mayor o igual a 0.15 m, respecto a la vista del conductor situado a 1.07 m por encima del nivel de la carretera.

Para carreteras con una inclinación superior al 3%, ya sea en cuesta arriba o cuesta abajo, se puede estimar utilizando la fórmula adjunta.

$$D_p = 0.278Vt_p + \frac{V^2}{254\left(\left(\frac{a}{9.81}\right) \pm i\right)}$$

Ecuación 1. Distancia de visibilidad de parada

Definiciones de relevancia en este contexto son:

d: Cuando se habla de 'd', se está refiriendo al metraje requerido para completar un frenado.

V: Se trata de la rapidez a la que se avanza en unidades de kilómetros por hora, llamada 'V'.

a: Es el nivel de desaceleración en metros por segundo al cuadrado, denotada por 'a', determinada por el coeficiente de fricción y el declive del terreno.

i: Se refiere a la inclinación longitudinal expresada en tanto por uno, conocida como 'i'.

+i: Hace alusión a los incrementos en la dirección del viaje.

-i: En cambio, '-i' indica las declinaciones en la dirección de movimiento.

Tabla 4

Distancia de visibilidad de parada con pendiente (metros)

Velocidad de diseño (km/h)	Pendiente nula o en bajada			Pendiente en subida		
	3%	6%	9%	3%	6%	9%
20	20	20	20	19	18	18
30	35	35	35	31	30	29
40	50	50	53	45	44	43
50	66	70	74	61	59	58
60	87	92	97	80	77	75
70	110	116	124	100	97	93
80	136	144	154	123	118	114
90	164	174	187	148	141	136
100	194	207	223	174	167	160
110	227	243	262	203	194	186
120	283	293	304	234	223	214
130	310	338	375	267	252	238

Nota. Tomado del “Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018” (p.105), por MTC, 2018, Distancia de visibilidad de parada con pendiente en (m).

1.1.3.14. Diseño Geométrico en planta o Alineamiento Horizontal

El esquema geométrico horizontal o alineación en planta, comprende alineaciones justas, arcos circulares y arcos de diferente curvatura, los cuales aseguran una transición suavizada al alternar entre alineaciones exactas y curvas circulares o, igualmente, entre dos arcos circulares de distinta curvatura. La disposición horizontal tiene como finalidad facilitar un tránsito vehicular fluido, intentando mantener una velocidad de diseño constante en la mayor longitud de autopista viable. (MTC, 2018, p.125).

a) Segmento rectilíneo: Relativo a la velocidad de diseño, los trazados en línea recta tendrán longitudes mínimas permitidas y máximas anheladas, tal y como se presenta en la tabla 5.

Tabla 5

Longitud mínima en tangente

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. Tomado del “Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018” (p.127), por MTC, 2018, Longitudes de tramos en tangente.

b) De acuerdo con la información proporcionada por el MTC en 2018, los radios mínimos representan las más pequeñas curvaturas horizontales que se pueden trazar manteniendo la velocidad de diseño y el máximo índice de peralte, garantizando al mismo tiempo la seguridad y confort necesarios. Para determinar estos radios mínimos, es posible emplear una fórmula específica.

$$R_{min} = \frac{v^2}{127(0.01e_{max} + f_{max})}$$

Ecuación 2. Radio mínimo

- Rmín se denota para referirse al radio mínimo
- V indica la velocidad preparada para el diseño
- Pmáx es la designación del peralte máximo correspondiente a la variable V
- f máx es el coeficiente máximo de la fricción transversal relacionado con V.

La Tabla 6 es donde aparece el efecto de aplicar la fórmula precitada.

Tabla 6

Radios mínimos y peraltes máximos.

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
Área rural (con peligro de hielo)	130	4.00	0.08	1,108.9	1,110
	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
Área rural (plano u ondulada)	120	6.00	0.09	755.9	755
	130	6.00	0.08	950.5	950
	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
Área rural (accidentada o escarpada)	110	8.00	0.11	501.5	500
	120	8.00	0.09	667.0	670
	130	8.00	0.08	831.7	835
	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. Tomado del “Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018” (p.127), por MTC, 2018, Radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras.

c) Incremento de Anchura: Con base en lo expuesto por MTC (2018), se refiere al ensanchamiento extra en la parte transitada de un camino, especialmente en segmentos

curvados, a fin de equilibrar el espacio adicional demandado por los automóviles. La razón subyacente para asignar este incremento de anchura en un camino se halla en el aumento de la trayectoria de los coches y la elevada dificultad de conservar el coche dentro de su carril en secciones curvadas.

La siguiente ecuación será utilizada para calcular el incremento de anchura:

$$Sa_n = \frac{Sa}{L} l_n$$

Ecuación 3. Sobreancho

- San: Se refiere a un punto aislado que se encuentra l_n metros lejos del punto de inicio.
- L: Representa la longitud completa del desarrollo del ensanche, que se encuentra en la curva de transición.
- l_n : Se refiere a la magnitud en un punto específico de la curva, medido desde su punto inicial (m).

1.1.3.15. Diseño Geométrico en Perfil o Alineamiento vertical

El MTC (2018) establece que el diseño geométrico tiene un perfil compuesto de rectas conectadas a través de curvas parabólicas verticales, que son tangentes a dichas rectas. El sentido de las pendientes cambia en función de la progresión del viaje, con pendientes positivas que denotan un incremento de cotas y pendientes negativas que señalan una disminución de cotas.

a) Se considera de vital importancia incorporar una pendiente mínima de aproximadamente 0.5% para garantizar un drenaje efectivo de las aguas superficiales en cualquier punto de la carretera. Existen algunos casos especiales que incluyen:

- Una pendiente de 0.2% puede ser aprobada excepcionalmente en áreas donde la carretera tiene una gradiente de 2% y no existen bermas o cunetas.
- En lugares con una gradiente de 2.5%, en circunstancias excepcionales, se pueden tener pendientes prácticamente planas.
- Cuando hay bermas, la pendiente mínima ideal es de 0.5% y la excepcional es de 0.35%.
- En áreas de transición de peralte, en las cuales la pendiente transversal desaparece, la pendiente mínima deberá mantenerse en 0.5%.

b) Se debe tener en cuenta las pendientes máximas dictadas en la Tabla 303.01, sin embargo, se pueden dar ciertos casos especiales:

- En altitudes que superan los 3,000 metros sobre el nivel del mar, los valores máximos de la Tabla 303.01 se verán reducidos en un 1% para terrenos accidentados o abruptos.
- En carreteras de alta velocidad, las pendientes de descenso podrían exceder hasta un 2% los máximos permitidos en la mencionada tabla.

Tabla 7

Pendientes máximas.

Demanda	Autopistas								Carretera				Carretera				Carretera			
	> 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. Tomado del “Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018” (p.171), por MTC, 2018, Consideraciones de diseño para pendientes máximas.

c) Parábolas Verticales: La unión de los sucesivos segmentos de inclinación se realizará a través de parábolas verticales, en los casos en que la alteración algebraica de las gradientes exceda el 1% para las vías asfaltadas y el 2% para las restantes. Estas parábolas verticales están caracterizadas por su coeficiente de curvatura K, que corresponde a la extensión de la curva en el plano horizontal, expresada en metros, por cada incremento del 1% en el gradiente, de la siguiente manera:

$$K = \frac{L}{A}$$

Ecuación 4. Parámetro de curvatura

Sección de definición:

- El factor de curvatura se representa con la letra K.
- La magnitud de la trayectoria ascendente se identifica por L.
- A hace referencia a la cifra numérica exacta de la discrepancia algebraica de los grados de inclinación.

d) El peritaje en cálculos de curvaturas convexas se aplica para definir la visibilidad de parada (D_P) utilizando las fórmulas 5 y 6, y así, estimar la dimensión de la curva vertical. En una situación donde D_P es menor que L, se optará por utilizar la fórmula 5.

$$L = \frac{A * D_p^2}{100 * (\sqrt{2 * h_1} + \sqrt{2 * h_2})^2}$$

Ecuación 5. Longitud de curva vertical ($D_P < L$).

Para el caso de $D_P > L$, se empleará la Ecuación 6.

$$L = 2 * D_p - \frac{200 * (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A}$$

Ecuación 6. Longitud de curva vertical ($D_P > L$).

En todos los escenarios a considerar, se deben tener en cuenta variables como las siguientes:

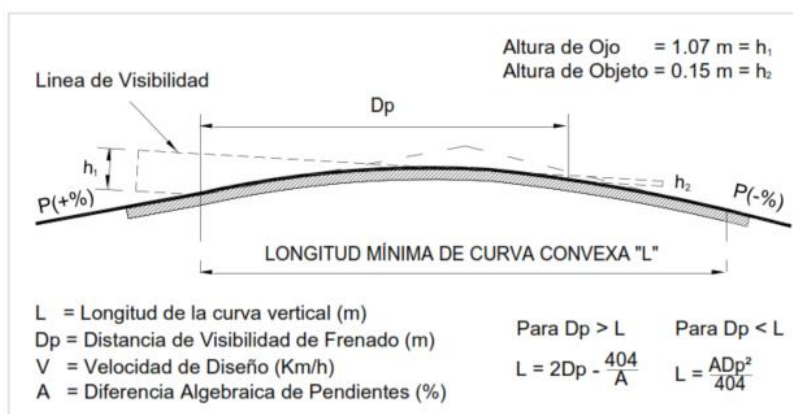
- L: representa la longitud total de la curva vertical, medida en metros (m)
- D_p : se refiere a la distancia de visibilidad necesaria para detenerse, también en metros (m)

- A: denota la fluctuación algebraica de las pendientes, expresada en porcentaje (%)
- h1: implica la elevación del campo de vista desde el nivel del suelo, en metros (m)
- h2: demarca la elevación de cualquier objeto desde el nivel del suelo, de igual forma en metros (m)

Los gráficos para resolver las ecuaciones propuestas están delineados en la Figura 5. En el caso más frecuente, los valores para h1 y h2 son 1.07 metros y 0.15 metros, respectivamente.

Figura 4

Longitud de curva vertical convexa con distancias de visibilidad de parada.



Nota. Tomado del DG - 2018

e) La medida de las líneas cóncavas puede ser establecida por medio de las Fórmulas 7 y 8. Si D es menor que L, se utilizará la Fórmula 7 para calcular la longitud de la curva vertical.

$$L = \frac{A * D^2}{120 + 3.5 * D}$$

Ecuación 7. Longitud de curva vertical ($D < L$).

Para el caso de $D > L$, se empleará la Ecuación 8.

$$L = 2 * D - \frac{120 + 3.5 * D}{A}$$

Ecuación 8. Longitud de curva vertical ($D < L$).

Donde:

L representa la extensión de la curva vertical en metros (m)

D es la separación entre el automóvil y el lugar donde, a un grado de inclinación, los haces de luz de los faros se unen con la pendiente (m).

A es la variación algebraica de las pendientes (%).

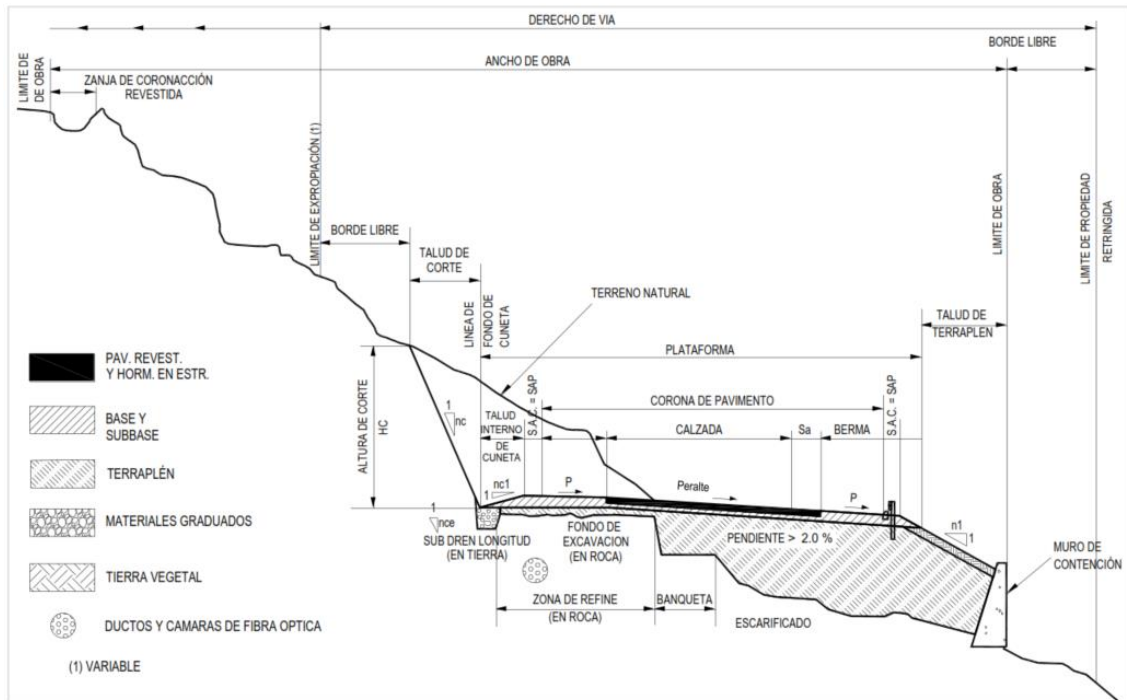
Con respecto a cuestiones de salvaguarda, se tratará a D como D_P.

1.1.3.16. Sección transversal

Este permite establecer su posición, medidas y su relación con la ubicación original, localizado en experimento puntual en sección de intención (MTC, 2018).

Figura 5

Sección transversal típica a media ladera vía de dos carriles en curva, 2018



Nota. Tomado del “Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018” (p.203), por MTC, 2018, Sección típica en curva a media ladera.

a) La superficie con destino a la rodadura, también conocida como calzada, de acuerdo con la definición proporcionada por el MTC (2018), consiste en la sección de la carretera reservada para el movimiento de los vehículos y podría estar configurada por uno o más carriles, excluyendo la berma. Tales carriles se distribuyen en la calzada y su función principal es facilitar el desplazamiento de una hilera de vehículos en una dirección unidireccional. La cifra de carriles que compondrán una calzada se determinará basándose en las proyecciones y el tipo de tráfico anticipado, en conformidad con el IMDA de diseño, además de ajustarse al grado de servicio que se busque. Los carriles que se usan para

adelantar no se consignan en el recuento total de carriles. Las medidas estándar de los carriles serán de 3.00 m, 3.30 m y 3.60 m.

Tabla 8

Anchos mínimos de calzada en tangente.

Clasificación	Autopista								Carretera				Carretera				Carretera			
	> 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	6.60	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. Tomado del “Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018” (p.191), por MTC, 2018, Ancho de calzada en tangente.

b) Según el MTC (2018), las bermas se definen como una franja que se extiende longitudinal, paralela y directamente adyacente a la carretera o a la superficie de rodadura. Su propósito principal es delimitar la capa de rodadura y actuar como una zona de seguridad, permitiendo el aparcamiento de vehículos en situaciones de emergencia.

Tabla 9
Ancho de bermas

Clasificación	Autopista				Carretera				Carretera				Carretera							
	> 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																			0.50	0.50
40 km/h															1.20	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	2.60	2.60	2.00	2.00	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	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		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			2.00				1.20	1.20		
100 km/h	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. Tomado del DG-2018

c) **Inclinación Transversal:** Como se anota en el informe del MTC (2018), ya sea en secciones rectas o en curvas desequilibradas, las carreteras deben poseer una inclinación lateral mínima, conocida como inclinación transversal, con el propósito de desalojar las aguas de escorrentía. La referida inclinación varía en función de la superficie por donde transitan los vehículos y los índices de lluvias de la región.

Tabla 10
Cuadro de bombeo de la carretera por tramos

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. Tomado del DG-2018

d) En cuanto a peraltes: se pueden describir como la inclinación transversal en segmentos curvos de la ruta con el objetivo de contrarrestar la fuerza centrípeta del automóvil (Referencia: MTC, 2018, p.196).

e) En el tema de taludes: son generalmente definidos como la pendiente asignada a los lados del camino, ya sea en áreas de corte o terraplenes. Tal pendiente es esencialmente la tangente del ángulo configurado por el terreno superficial y la línea horizontal teórica (Cita: MTC, 2018, p.202).

1.1.3.17. Herramientas y tecnologías para el diseño de características geométricas

Uso de software y herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) para el diseño de características geométricas.

Aplicación de tecnologías para el levantamiento topográfico en el diseño de características geométricas.

1.1.3.18. Evaluación de la seguridad vial en el diseño de carreteras

Es importante destacar que la evaluación de la seguridad vial en el diseño de carreteras debe estar respaldada por normativas y estándares técnicos establecidos por las autoridades competentes (MTC, 2018).

1.1.3.19. Auditorías de seguridad vial

Una de las primeras etapas al momento de realizar una auditoría con el fin de construir algo, de acuerdo con lo planteado por MTC (2017), es el proceso de planificación. Esto implica que los auditores deben analizar los detalles del proyecto contratado en cuestión, junto con los responsables, incluyendo a quienes estén involucrados en la toma de

decisiones acerca de la futura carretera, como la planificación de uso de suelo, el tráfico que se espera para el lugar y los usuarios a los que finalmente se brindará el servicio. De este modo, se hacen evidentes aquellas alternativas para el trayecto, para la intersección, los equipos de seguridad, los carteles indicadores, etc. Esta etapa de planificación es cuando se toman las decisiones más significativas que ayudarán a dar forma a la construcción.

1.1.3.20. Objetivo de una ASV

Es imperativo propiciar la seguridad por encima de todo, especialmente cuando se trata de una vía o carretera. Esto con el fin de reducir el número de aparición de situaciones de riesgo que pueden implicar un accidente (MTC, 2017). Las carreteras que operan tienen que estar conservadas en sus mejores condiciones de seguridad, desde el diseño hasta su construcción; también hay que tener en cuenta los costos socioeconómicos de las víctimas de los daños, y las modificaciones que se deban realizar para garantizar una explotación de la vía segura. Por otra parte, es necesario identificar y evaluar los riesgos existentes de cara a la adopción de medidas correctivas, con el objetivo de proteger a todos los usuarios de la vía y contribuir a la minimización de costos.

1.1.3.21. Dispositivos de control de tránsito y entorno vial

Los dispositivos de control de tránsito y el entorno vial desempeñan un papel fundamental en la gestión de la seguridad vial y la regulación del flujo de vehículos. Estos dispositivos y elementos físicos están diseñados para controlar y dirigir el tráfico, proporcionar información a los conductores, peatones y ciclistas, y crear un entorno seguro en las vías de transporte (MTC, 2017).

1.1.3.22. Sistemas de contención de vehículos

La directiva peruana N° 007-2008 del (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008) indica que los sistemas de contención son mecanismos instalados en las carreteras con el propósito de proporcionar cierto grado de control a los vehículos que pierden el control y pueden chocar contra objetos fijos o salirse de la vía. Estos sistemas buscan reducir los daños y lesiones tanto a los ocupantes del vehículo como a otros usuarios de la vía. Además, se menciona que el sistema de contención vehicular debe cumplir funciones fundamentales, como mantener el vehículo en la vía, devolverlo a la carretera y disminuir la gravedad de las colisiones para los ocupantes.

Barrera de seguridad: Según el (MTC, 2008) indica las barreras de seguridad se refieren a los sistemas de protección diseñados para contener y evitar que los vehículos se salgan de la carretera. Estas barreras se encuentran colocadas en los bordes de la vía, en los separadores centrales y en los pretiles de los puentes. Existen diferentes tipos de barreras, que pueden ser flexibles, semirrígidas o rígidas.

1.1.3.23. Señales verticales

Según el MTC (2017), esta involucra a aquellas medidas regulatorias que ofrecen información sobre peligros o señalética, de fácil visualización, con la finalidad de poder guiar a los conductores de manera segura.

- Contar con una visibilidad óptima es especialmente importante en situaciones ambientales desfavorables, como neblina, lluvia, entre otras.

- Debe tener un revestimiento retrorreflectante para mejorar su visibilidad en condiciones de poca luz solar.
- Es fundamental llevar a cabo un mantenimiento adecuado para garantizar la eficacia de las señales a lo largo del tiempo.
- Visibilidad de delineadores en la noche.

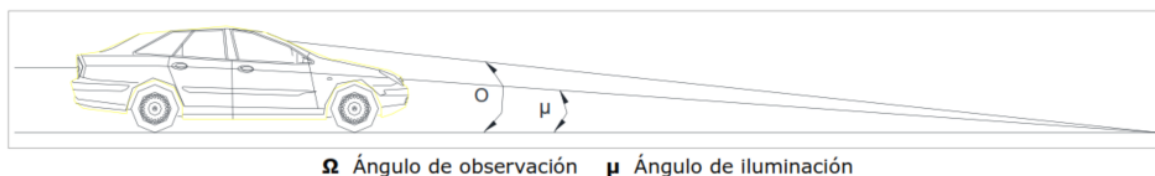
1.1.3.24. Señales horizontales

Según el MTC (2017), lo exponen como aquella demarcación de bajo costo, que busca reducir los accidentes en términos de gravedad, teniendo en cuenta a elementos como la guía visual, influencia de flujo, forma tradicional de línea, regulación de tráfico, entre otros elementos.

- a) Demarcaciones:** Es crucial que las señales sean visibles en todas las circunstancias, tanto de día como de noche. Para lograr esto, es necesario que tengan un color adecuado, una textura que contraste y buenas propiedades retrorreflectantes. (MTC, 2017, p. 126).
- b) La retrorreflectancia:** Propiedad de los materiales que permite su visualización de manera clara en condiciones de baja luminosidad. (MTC, 2018, p. 254).

Figura 6

Retroreflectancia de las Marcas en el Pavimento



Nota. Tomado del "Manual de Seguridad Vial 2017" (p.254), por MTC, 2017

- c) **Tachas y Tachones:** Las tachas desempeñan dos funciones importantes de manera eficiente: guiar y alertar a los conductores. Estas ayudan a marcar la demarcación de manera efectiva, mejorando la visibilidad, especialmente en condiciones de lluvia o durante la noche, gracias a su capacidad de reflejar la luz. Además, también alertan a los conductores que se han salido de la pista. (MTC, 2017, p. 126).
- d) **Delineadores:** Son postes plásticos que buscan reforzar la demarcación de las áreas en donde se requiere resaltar (MTC, 2017, p. 127).
- e) **Bandas transversales de alerta:** Son otro método para reducir la velocidad que se puede implementar en la zona cercana a reductores de velocidad, como resaltos u otros tipos, así como en áreas donde hay conflictos en el tráfico. (MTC, 2017, p. 442).

Figura 7

Imagen referencial de vía señalizada.



Nota. Tomado del "Manual de Seguridad Vial 2017" (p.18), por MTC, 2017

1.1.3.25. Resalto

Es una estructura fija que se utiliza como un dispositivo para reducir la velocidad en las áreas urbanas de las carreteras, buscando la elevación transversal de la calzada (MTC, 2017, p. 435).

1.1.3.26. Mobiliario vial

Los mobiliarios viales son instalaciones ubicadas al costado de las calles, carreteras o autopistas con diferentes funciones y propósitos. Estos se instalan, básicamente, con el propósito de mejorar la seguridad tanto para los peatones, como para los conductores. Se incluyen dentro de este grupo señalización, dispositivos de órdenes, anuncios, luces, basura, bancos, etc. En sí, el mobiliario vial añade variedad y vitalidad a los espacios urbanos (Bautista, 2021).

El mobiliario vial es responsable de proporcionar la vida humana diaria dentro y fuera de la ciudad. Se considera una parte esencial del desarrollo urbano porque facilita y crea nuevas oportunidades para los hogares y los trabajadores de una ciudad. Estos muchas veces se asocian con parques, estaciones de transporte, edificios, espacios pintorescos, etc. Esto ayuda a crear armonía en la ciudad y a darle un aspecto moderno y atractivo (Bautista, 2021).

1.1.3.27. Control de velocidad

Para entender el concepto de Control de Velocidad debemos comenzar entendiendo que se trata de un método empleado para regular el ritmo y lo mismo se aplica a los motores, sistemas mecánicos y maquinaria industrial. Este método es ampliamente usado para mantener la máquina operando de manera segura y eficiente, es decir, con un apropiado y coherente comportamiento y respuesta. Esto se traduce en un costo reducido en la operación y mantenimiento sin sacrificar la calidad y el desempeño (Cubas, 2022).

El control de velocidad implica la limitación de la magnitud del par, velocidad, potencia o aceleración de motores con el objetivo de alcanzar ciertas metas en un sistema. La influencia de cada una de estas variables en el desempeño global de un sistema requiere una meticulosa consideración, como el hecho de que el control de velocidad no solo resulta benéfico para los procesos, sino que siempre contribuye a mejorar los patrones de seguridad dentro de las plantas (Carrio, 2022).

1.1.3.28. Inventarios viales

Los inventarios viales son herramientas elaboradas con el fin de cartografiar, monitorear y rastrear cambios en los caminos, carreteras, viaductos y otros elementos viales

con el objetivo de optimizar el mantenimiento de estos. Estas bases de datos permiten contar con información vital para garantizar la seguridad de la circulación y la prevención de accidentes. Estas compilaciones listan, con una precisión extremadamente alta, cada uno de los elementos existentes en dichos sitios, así como sus dimensiones e información relevante que les caracterice (Miranda, 2021).

Los inventarios viales son esenciales para elaborar presupuestos más exactos y lograr los objetivos a buscar de forma mucho más eficiente por parte de grupos de ingeniería vial. Gracias a los procesos de medición, inspección y análisis de cada punto existente en la vía, se puede determinar la necesidad de control de pasos peatonales, entregas de señalización, corrección o reparación de obras de infraestructura vial y diseño de proyectos a futuro. Además, gracias a la información obtenida con el inventario, se pueden realizar prevenciones para evitar los riesgos que supone la circulación en zonas de peligro para los usuarios (Miranda, 2021).

1.1.3.29. Metodología de inspección de seguridad vial

La Metodología de Inspección de Seguridad Vial, es un conjunto de herramientas de análisis y derecho aplicadas, creadas con un objetivo generalmente particularmente común: el fortalecimiento de la seguridad de las vías de circulación. Requiere la supervisión y evaluación periódicamente, de los elementos relevantes del circuito, para evidenciar y prevenir eventuales accidentes viales. Esta metodología contribuye con el cumplimiento y de las leyes de tránsito estipuladas y mejora la viabilidad, la eficacia y seguridad de la circulación (Huarhua y Orcon, 2020).

Con tal de lograr los objetivos anteriores, los inspectores se basan en protocolos, procedimientos de análisis y tareas de diagnóstico, que involucran una construida vigilancia de elementos subjetivos e infraestructuras, como los materiales reciclables, el diseño de señalamientos y conformación de los carriles. Esta profundización en la revisión de los elementos de la vía redonda incondicionalmente en la consecución del deseable equilibrio entre el tránsito y la seguridad (Huarhua y Orcon, 2020).

1.1.3.30. Requisitos para una adecuada seguridad vial

Los requisitos para un adecuado sistema de seguridad vial deben tomarse muy en cuenta cada vez que se transita por una vía pública. Esto es para evitar cualquier tipo de accidentes. Los principales puntos de los requisitos son: respetar las leyes de tránsito, conducir de forma responsable, respetar el límite de velocidad, realizar mantenimientos preventivos de los vehículos y usar los elementos de seguridad como cinturón de seguridad, casco para los motociclistas. Por otro lado, es necesario que los peatones tomen las precauciones pertinentes para evitar sufrir algún daño (Chungas, 2019).

Para ofrecer un adecuado sistema de seguridad vial, los gobiernos deben implementar medidas que ayuden a mejorar las condiciones de tránsito. Entre ellas, se pueden mencionar: el mejoramiento de las calles, la construcción de ciclovías, el reforzamiento de la educación vial, la instalación de controles de alcoholemia, y la adecuada iluminación en lugar que contengan peatones de noche (Chungas, 2019).

1.1.3.31. Clasificación de riesgo de la red vial

La Clasificación de Riesgo de la Red Vial es un determinante de la seguridad en carreteras y autopistas a nivel global. Se trata de un proceso que evalúa los principales factores que contribuyen a la seguridad vial, como la edad, el ancho y el uso de las carreteras. Esta técnica es útil para seleccionar estrategias de gestión de riesgos eficaces para mejorar la seguridad de los conductores, carreteras y vehículos. El proceso incluye la recopilación de información sobre los parámetros clave, la supervigilancia y la evaluación del riesgo (Vassallo, 2020).

Así mismo, se analizan los datos recogidos para evaluar el riesgo de los diferentes factores relacionados con la seguridad. Estos pueden incluir la edad de las rutas, el ancho de las carreteras, la cantidad de tráfico diario, el uso de vehículos comerciales en la carretera, el uso de vehículos con motores pesados, los daños a la carretera y la cantidad de accidentes. Los resultados generados se comparan con los de la misma red vial en otros países y condiciones para detectar los patrones de comportamiento en la seguridad vial (Vassallo, 2020).

1.1.3.32. Zona de concentración de accidentes

Una zona de concentración de accidentes consiste en un área donde se producen un gran número de lesiones graves o fatales o donde el número de incidentes de tráfico se intensifica desproporcionadamente. Esto sucede cuando la probabilidad de que se produzcan accidentes o lesiones aumenta sustancialmente en un área determinada. Esta probabilidad se expresa en la tasa de accidentalidad o índice de lesiones por cada milla recorrida. Estas áreas también conocidas como "puntos calientes" son muy importantes para los ingenieros civiles

por la cantidad de información que pueden proporcionar para la construcción de mejores vías de tráfico (Bautista, 2021).

Las zonas de concentración de accidentes pueden incluir tanto vías locales como vías principales designadas para el tráfico de largo recorrido, como carreteras interestatales o autopistas. Estas áreas se consideran de incidencia crítica para los ingenieros y se estudian a fondo con el fin de encontrar soluciones para la prevención de accidentes. Las áreas más peligrosas se pueden identificar en los análisis de seguridad vial mediante la recopilación de datos relacionados con la accidentalidad, como los datos de los lesionados y los informes policiales (Bautista, 2021).

1.1.3.33. Observatorio Nacional de Seguridad Vial (ONSV)

Se establece el Observatorio Nacional de Seguridad Vial conforme al Decreto Legislativo 1216-2015. Este contará con una base de datos principal que incluirá el Registro de Accidentes de Tránsito de la Policía Nacional del Perú, el Registro Sanitario de Víctimas de Accidentes de Tránsito del Ministerio de Salud, y el Registro Forense de Víctimas de Accidentes de Tránsito del Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses del Ministerio Público. Además, involucrará todas las bases de datos adicionales de entidades públicas y privadas, y de gobiernos regionales y locales, respecto a seguridad vial. El funcionamiento del ONSV se inicia en los primeros tres meses del 2021 (ONSV, 2021).

1.1.3.34. Lista de chequeo de auditoría

La lista de chequeo de auditoría es una herramienta que permite a un auditor examinar cualquier proceso para verificar el cumplimiento de los requisitos deseados. Esta

técnica se usa para vincular las acciones de los auditores a los estándares aceptables. La lista se elabora como una hoja de trabajo para contener declaraciones donde describen los pasos que se tomaron, con fines de comprobar si se cumplió con los requerimientos establecidos. Esta lista permite a los auditores tener una imagen clara de los procedimientos que se han llevado a cabo durante el periodo de tiempo en el proceso de certificación. De esta manera, los auditores evitan tener que realizar tareas extensas para verificar si un proceso cumple detalles esenciales (Cubas, 2022).

Esta herramienta de “checklisting” incluye preguntas y temas clave preestablecidos, que permiten a los auditores concentrarse en lo importante. Esto significa que los auditores solo deben verificar lo necesario para saber que el proceso se realizó de la mejor manera, sin necesidad de hacer evaluaciones innecesarias. Esta lista de chequeo también ayuda a los auditores a identificar cualquier área potencialmente peligrosa para el proceso, lo que a su vez ayuda a asegurar el cumplimiento de los estándares particulares (Cubas, 2022).

La lista de chequeo utilizada para el presente estudio se presenta en el Anexo 03.

1.1.3.35. Highway Safety Manual

Esta herramienta es para planes, construcción, operación y cuidado, trayendo conocimientos sobre seguridad vial. Los clientes pueden tomar mejores decisiones y generar mayores efectos en la seguridad con la estimación del rendimiento de seguridad; el resultado debe ser vidas salvadas y menos daños por un gasto más bajo, que es el objetivo de la seguridad vial.

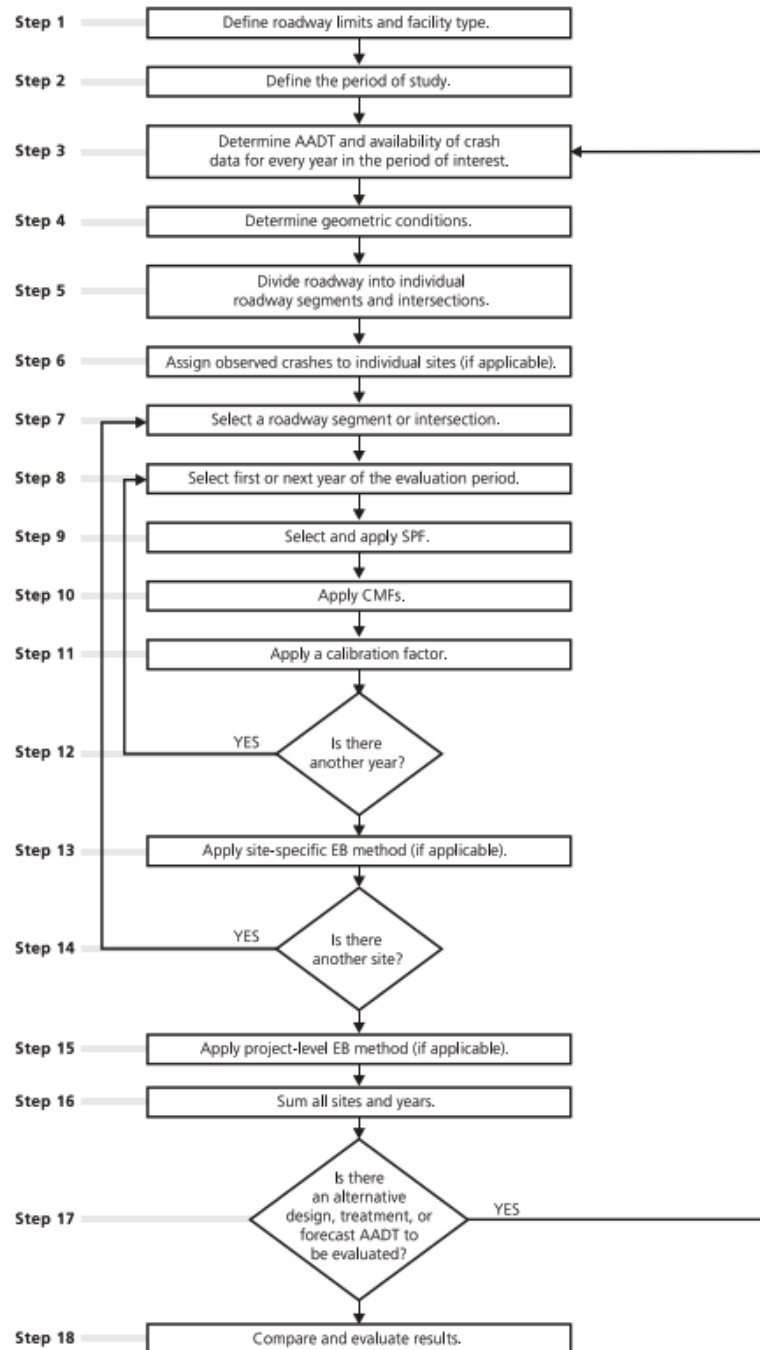
El material contiene: Planes para el diseño de un programa de administración de seguridad efectivo, con los aspectos previos a la evaluación de los beneficios, maneras de predecir o estimar el accidente frecuencia y gravedad, y un índice de Factor de Modificación de Accidentes (AMF).

Esta herramienta permite identificar las áreas con potencial de bajar el número y gravedad de los choques, reconocer y controlar los factores, evaluaciones económicas con beneficio de seguridad, monitorear la efectividad de las soluciones de seguridad, anticipar los efectos de los caminos futuros, y cuantificar la seguridad en los mejoramientos ponderados. El texto está estructurado en 4 partes, relacionadas con la introducción, procesos de seguridad, métodos predictivos y factores de modificación de accidentes.

En la sección C, el manual presenta una técnica para predecir el promedio de choques para una red, instalación, o sitio individual, para condiciones pasadas, alternativas, y nuevas propuestas de carreteras. Se usa para determinar y comparar los accidentes más probables por entorno, volumen de tránsito, y características de diseño geométrico. Esta herramienta se puede utilizar para evaluar la eficacia esperada de las contramedidas implementadas (Vargas, 2018). Dentro de las principales formas de predicción que existen, se puede establecer a las vías de diferente carril, urbanas o expresas.

Figura 8

Pasos de la metodología HSM



Nota: Obtenido del manual HSM

1.1.3.36. Métodos Predictivos del HSM en carreteras de dos carriles

Podemos predecir de forma fiable la frecuencia promedio de accidentes en una vía. Estas fórmulas fueron aprendidas de la experiencia y consideran el volumen de tráfico y varias características de la geometría de diseño de una vía. El proceso estimará la cantidad de accidentes pasados, presentes y futuros (en diseños propuestos aún sin construir). Actualmente, estas fórmulas han sido desarrolladas mediante datos de Estados Unidos en cuanto a diferentes tipos de vías. Esto permite estimar la frecuencia media de accidentes esperados, N esperado, a través de una referencia predictiva de la frecuencia de los sucesos, también conocida como N estimado, y la ejecución de la frecuencia de sucesos observados, N observado, siempre que se disponga de los datos respectivos (Vargas, 2018).

$$N_{predicted\ rs} = N_{spf\ rs} * C_r * (CMF_{1r} * CMF_{2r} * ... * CMF_{12r})$$

Ecuación 9. Estimación de frecuencia de accidentes

De acuerdo con $N_{predicted\ rs}$, se establece la valoración de la frecuencia promedio, contando con que $N_{spf\ rs}$ depende de la frecuencia promedio de accidentes, en donde C_r es el factor de calibración y $CMF_{1r} \dots CMF_{12r}$ representan a los factores de modificación de accidentes. Se establece un conjunto de factores de modificación para ajustar las predicciones de accidentes en un segmento de carretera dependiendo del diseño geométrico y las características del control de tránsito, los cuales se relacionan a 12 variables de entrada. La predicción de accidentes se realiza en función del IMDA con el fin de lograr una calibración intencionada para adaptar los resultados de acuerdo con las condiciones de seguridad de una jurisdicción dada, para ello, se puede hacer uso de datos recopilados de la

historia de accidentes si están disponibles. Estas ecuaciones estiman la frecuencia de accidentes en general, incluyendo los tipos y grados de lesión asociados (Vargas, 2018).

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

Ecuación 10. Función de predicción de accidentes para segmentos de carretera

La NFPC (Frecuencia de Accidentes Predichos para Segmentos de Carretera de Dos Carriles en Condiciones de Base) es un índice que refleja la cantidad proyectada de accidentes para segmentos considerados bajo parámetros. Además, el IMDA (Índice Medio Diario Anual) contribuye a determinar la extensión de la carretera analizada (en Km), además del parámetro de dispersión k_i , ofrece una imagen confiable de la FPC. La letra k se usa en el Método EB para medir la precisión de los resultados (Vargas, 2018).

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

Ecuación 11. Fórmula empírica de Bayes

El FMA o factor de modificación de la accidentalidad es usado para ajustar la cantidad de accidentes predichos, de acuerdo con el FPC, el factor base de cada predicción de accidentes se asigna con un valor de 1. La aplicación de la regla FMA se mantiene en condiciones de IMDA, entre 0 y 17,800 vehículos por día; cualquier cantidad fuera de ese rango no se considera un resultado fiable. Por otro lado, los valores de FMA pueden aumentar o disminuir cuando se evalúan algunas variaciones del sitio en estudio, dependiendo si la característica particular se asocia con mayor o menor frecuencia de accidentes. Estos valores, van desde k , que es el parámetro de sobredispersión, hasta la longitud, L , del segmento de la carretera (expresada en millas) (Vargas, 2018).

Tabla 11

FMA's en condiciones base

Segmento de carretera	Unidades/Descripción	
Ancho de carril	12 pies	3.65m
Ancho de berma	6 pies	1.80m
Tipo de berma	Pavimentada	
Índice de peligrosidad (RHR)	3	
Densidad de accesos	5/milla	3Km
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: Obtenido de Vargas (2018)

Tomando en cuenta todo lo establecido, podemos afirmar que cuando algunas de las características del lugar no coinciden con las establecidas como estándar, los FMA (Factores de Modificación Asignada) asignados a la carretera con dos carriles tienen las variaciones que se listan a continuación:

Tabla 12
FMA's en condiciones base

Facility Type	CMF	CMF Description	CMF Equations and tables
	CMF _{1r}	Lance Width	Table 10-8, Figure 10-7, Equation 10-11
	CMF _{2r}	Shoulder Width and Type	Tables 10-9, 10-10, Figure 10-8, Equation 10-12
	CMF _{3r}	Horizontal Curves: Length, Radius and Presence or Absence of Spiral Transitions	Equation 10-13
	CMF _{4r}	Horizontal Curves: Superelevation	Equations 10-14, 10-15, 10-16
Rural Two-Lane Two-Way	CMF _{5r}	Grades	Table 10-11
Roadway segments	CMF _{6r}	Driveway Density	Table 10-11
	CMF _{7r}	Centerline Rumble Strips	See text
	CMF _{8r}	Passing lanes	See text
	CMF _{9r}	Two-Way Left-Turn Lanes	Equation 10-18, 10-19
	CMF _{10r}	Roadside Design	Equation 10-20
	CMF _{11r}	Lighting	Equation 10-21, Table 10-12
	CMF _{12r}	Automated Speed Enforcement	See text

Nota: Obtenido de Vargas (2018)

1.1.3.37. Ancho De Carril – FMA1

Con un valor de base de 12 pies (3.60 m) para el FMA1 – Ancho de carril, los carriles que miden 12 pies reciben una puntuación FMA de 1.00. Algo así como un ajustamiento de

los FMAs de acuerdo con el total de accidentes ocurridos recogidos por la estimación predictiva (Vargas, 2018).

$$FMA1 = (FMAra - 1.0) \times pra + 1.0$$

Ecuación 12. FMA 1 – Ancho de carril

El Factor de Modificación de Accidentes para el Efecto en la Anchura de la Vía (FMA1) se establece en función del ancho del carril y el tráfico relacionado. Por otro lado, el Factor de Modificación de Accidentes que se relaciona con los accidentes producidos (FMAra) influye en eventos como la carrera de autos de un solo vehículo, las situaciones del desplazamiento perpendicular a ambos lados de la vía, e impacta en los deslizamientos en la misma dirección. El porcentaje de accidentes del último parámetro se denomina Proporción del Total de Accidentes Relacionados (pra) (MTC, 2018).

Tabla 13

Valores para determinar el FMA 1

Ancho de Carril		IMDA (veh/día)		
Pies	Metros	<400	400 a 2000	>2000
9 o menos	2.7 o menos	1.05	$1.05 + 2.81 \times 10^{-4} (\text{IMDA}-400)$	1.5
10	3	1.02	$1.02 + 1.75 \times 10^{-4} (\text{IMDA}-400)$	1.3
11	3.3	1.01	$1.01 + 2.50 \times 10^{-5} (\text{IMDA}-400)$	1.05
12 o más	3.65 o más	1.00	1.00	1.00

Nota: Obtenido de Vargas (2018)

Calcular el valor de pra se hace con base a los resultados de los accidentes de un sólo coche y de varios en sentido contrario, cuyos resultados dan como resultado un 0.574 (57.4 %). Esta proporción se toma como establecida por defecto, pero puede variar dependiendo de los datos locales. En el caso de que el ancho de los carriles difiera entre las direcciones,

el FMA en cada dirección debe determinarse por separado y luego promediarse para obtener el valor acabado (Vargas, 2018).

1.1.3.38. Ancho y tipo de Berma – FMA2

El básico valor de una berma pavimentada, cuyo ancho es de 6 pies (1.80 m), fue designado con un factor de mejoramiento (FMA) de 1.00. Esta fórmula se aplicará para las variaciones siguientes:

$$FMA2 = (FMArwa \times FMAtra - 1.0) \times pra + 1.0$$

Ecuación 13. FMA 2 – Ancho y tipo de berma

El FMA2, FMAwra y FMAtra se definen como los factores de modificación de incidentes con el objetivo de calibrar el espesor y tipo de arcén, así como aquellos accidentes relacionados con el tipo de hecho. A su vez, la cantidad total de accidentes consta de hechos. Para determinar el valor de FMAwra según la dimensión de la berma y el volumen del tránsito se expone en la siguiente tabla, como lo señala Vargas (2018).

Tabla 14
Valores para determinar el FMAwra

Ancho de Carril		IMDA (veh/día)		
Pies	Metros	<400	400 a 2000	>2000
0	0	1.10	$1.10+2.50 \times 10^{-4}(\text{IMDA}-400)$	1.5
2	0.6	1.07	$1.07+1.43 \times 10^{-4}(\text{IMDA}-400)$	1.3
4	1.5	1.02	$1.02+8.125 \times 10^{-5}(\text{IMDA}-400)$	1.05
6	1.8	1.00	1.00	1.00
8 o más	2.40 o más	0.98	$0.98+6.875 \times 10^{-5}(\text{IMDA}-400)$	0.87

Nota: Obtenido de Vargas (2018)

Es condición esencial que la berma esté pavimentada. A continuación, se proporciona una tabla con los ajustes correspondientes a la grava, el césped y las mezclas de bermas, que contribuyen al mejoramiento de la seguridad.

Tabla 15
Valores para determinar el FMAtra

Tipo de Berma	Ancho de Berma (Pies)						
	0	1	2	3	4	6	8
Pavimentada	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
Compuesta	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.06
Césped	1.00	1.01	1.03	1.04	1.05	1.08	1.11

Nota: Obtenido de Vargas (2018)

El valor de Pra se obtiene de la proporción de hechos perjudiciales vinculados a, entre otros episodios, un solo coche en vías y varios vehículos circulando en el sentido contrario a la dirección. Además, en los accidentes con impactos laterales de la misma vía, su índice es de 0.574 (57.4%). Esta composición de clase es predeterminada y, con base en ello, el valor de Pra se puede modernizar según datos locales dentro del proceso de recalibración. Si el ancho o la forma de calle de ambas direcciones del tramo difiere, el AMF2 se determina individualmente por dirección y, luego, aquel promedio se halla (Vargas, 2018).

1.1.3.39. Curvas Horizontales - FMA3

Al analizar segmentos presentando curvatura horizontal, se requiere corregir la función de predicción del FMA3, pues se ha asumido que el trayecto está recto. Para tal efecto, hay que contar con datos de la forma de la curva, su radio, y si posee o no espirales (Vargas, 2018).

$$FMA3 = \frac{155 \times Lc + \left(\frac{80.2}{R}\right) - 0.012 \times S}{1.55 \times Lc}$$

Ecuación 14. FMA 3 – Curvas horizontales

Para evaluar el Factor de Modificación de Accidentes (FMA3), que mide el impacto de la geometría horizontal en el número de choques, se toma en cuenta la longitud de la curva en millas, incluyendo espirales si es que hay, así como el radio del giro en pies. El valor “S” se determina a partir del tipo de curva, llana con espirales, solo en un extremo o sin ellas, mientras que el mínimo para “Lc” y “R” es 100 pies. Si hay varias curvas, se calcula el FMA de cada una aparte al sumar longitudes y radios. Si los resultados son menores a 1, FMA3 se estipula como 1.00 (Vargas, 2018).

1.1.3.40. Peralte - FMA4

El factor de modificación de accidentes (FMA4) para reflejar los cambios de peralte se identifica mediante la diferencia entre las alturas establecidas por la AASHTO y aquellas que el terreno presenta. En el caso de que el último sea igual o mayor que el primero, este coeficiente se mantiene en uno. Pero, en el supuesto de que las alturas no sean compatibles, según las especificaciones de la ecuación N° 9, se halla el FMA4. Adicionalmente, la variación de peralte en pies/pie (SV) se obtiene restando el peralte indicado en el Libro Verde de la AASHTO del peralte real en la curva, según lo plantea Vargas (2018).

$$FMA4 = 1.00 \text{ si } SV < 0.01$$

$$FMA4 = 1.00 + 6 x (SV - 0.01) \text{ si } 0.01 \leq SV < 0.02$$

$$FMA4 = 1.00 + 3 x (SV - 0.02) \text{ si } SV \geq 0.02$$

Ecuación 15. FMA 4 – Peraltes

1.1.3.41. Pendiente Longitudinal - FMA5

La pendiente longitudinal está considerada usando el FMA, calculado de una tabla en relación al tipo de terreno. Esta práctica se aplica a todo el tramo y no haciendo mención del signo de la pendiente, dado que en un segmento sin división entre carriles, se encontrará positivo por un lado y negativo por el otro (Vargas, 2018).

Tabla 16

Valores para determinar el FMAtra

Pendiente Aproximada (%)		
Terreno Plano	Terreno Moderado	Terreno Escarpado
(≤3%)	(3%<%≤6%)	(>6%)
1	1.1	1.16

Nota: Obtenido de Vargas (2018)

1.1.3.42. Densidad de Accesos - FMA6

El manual como reglamentación explícita, extiende la indicación para tener en cuenta las entradas y salidas diarias de un vehículo del camino, con una condición básica que es de 5 accesos por milla. El denominado Factor de Modificación de Accidentes para el Efecto de la Densidad de Accesos en Accidentes Totales (FMA6), el Índice Medio Diario Anual (IMDA) y la Densidad de Accesos (DD) serán consideraciones para tomar a la hora de evaluar. Si la DD es menor a 5, entonces el factor FMA6 es 1.00 (Vargas, 2018).

$$FMA6 = \frac{0.322 + DD \times [0.05 - 0.005 \times \ln(IMDA)]}{0.322 + 5 \times [0.05 - 0.005 \times \ln(IMDA)]}$$

Ecuación 16. FMA 6 – Densidad de accesos

1.1.3.43. Banda Sonora Central - FMA7

La banda sonora central se encuentra en la vía para advertir a los conductores que, sin quererlo, la transgreden o comienzan a cruzar la línea media de la ruta. Para el sonido central, la condición básica es su ausencia, donde FMA7 es 0.94, mientras que cuando la banda sonora no está, FMA7 es 1.00. Además, se recomienda evitar errores gramaticales y ortográficos, así como poner los signos de puntuación correctamente (Vargas, 2018).

1.1.3.44. Carriles De Adelantamiento - FMA8

Se parte de la premisa de que el FMA es 1 sin presencia de carriles de adelantamiento. No obstante, si sólo hay uno en un sentido, el FMA8 es 0.75, y si el carril se encuentra en ambos, el FMA8 resulta ser 0.65 (Vargas, 2018).

1.1.3.45. Carril de Giro a la Izquierda (Islas) - FMA9

La implementación de un carril central de dos direcciones a la izquierda para la formación de una sección transversal de tres carriles puede contribuir a la reducción de los percances ocasionados por los giros del vehículo en la vía. Previo a la instalación de un carril de doble sentido a la izquierda, es necesario contar con la ausencia de un carril de giro a la izquierda. En caso de existir, el FMA se calculará usando la siguiente ecuación (Vargas, 2018).

$$FMA9 = 1.0 - (0.7 \times pdwy \times pLT/D)$$

Ecuación 17. FMA 9 – Giro a la izquierda

He aquí una paráfrasis del párrafo, redactada de acuerdo con la información anterior:

El Factor de Modificación de Accidentes para el Efecto de los Carriles de Doble Sentido de

Giro a la Izquierda aplicado a los Accidentes Totales (FMA9) se encuentra relacionado con la proporción de Estos Últimos debido a aceras (pdwy) y los susceptibles de corregirse por un carril de giro a la izquierda (pLT/D). Esta estimación se define mediante la siguiente ecuación (Vargas, 2018).

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

Ecuación 18. FMA 9 – Giro a la izquierda

Mientras que ello se conoce como "pdwy" en relación con el total de los accidentes y "DD" en cuanto a la densidad de accesos (con los dos lados de la vía incluidos), el valor estimado de "pLT/D" es de 0.5. Si existen menos de 5 accesos por milla, se especifica que el valor de la instalación de FMA9 para carriles de giro a la izquierda sea de 1.00, si no, esta no se activará (Vargas, 2018).

1.1.3.46. Índice de Peligrosidad - FMA10

La peligrosidad de un camino se determina con un análisis cuantitativo en donde se usa una escala del 1 al 7 (donde 7 marca el nivel más peligroso). Esta evaluación considera aspectos como la pendiente transversal del área y la presencia de contenedores, entre otras características del diseño. El índice de peligrosidad de una vía viene representado por una calificación de riesgo creada por Zegeer, donde el valor predominantemente básico es igual a 3 mientras que el FMA10 es 1.00. Para otros valores de RHR el cálculo del FMA se efectúa mediante una fórmula específica (Vargas, 2018).

$$FMA10 = \frac{e^{(-0.6869+0.0668 \times RHD)}}{e^{(-0.4865)}}$$

Ecuación 19. FMA 10 - Índice de peligrosidad

1.1.3.47. Iluminación - FMA11

La base para iluminar una carretera estará dada por la ausencia de luces cuando el FMA11 es igual a uno. Si el factor asume un valor diferente se deberá emplear la ecuación señalada para calcular el mismo. El parámetro FMA11 otorga el factor de modificación que se le da a los accidentes provocados durante la noche. Las proporciones *pinr*, *ppnr* y *pnr* reflejan respectivamente los incidentes nocturnos que produzcan lesiones y muerte, daños solamente a la propiedad y accidentes nocturnos en el segmento considerado (Vargas, 2018).

$$FMA11 = 1.0 - [(1.0 - 0.72 \times pinr - 0.83 \times pppnr) \times pnr]$$

Ecuación 20. FMA 11 – Iluminación

Es necesario señalar que este FMA11 se refiere a los accidentes completos que se producen en la vía. Los valores predeterminados se presentan para los porcentajes de accidentes nocturnos *Pinr*, *Pppnr* y *Pnr*.

Tabla 17

Valores para determinar el FMA 11

Tipo de camino	Proporción de accidentes nocturnos totales según el nivel de severidad		Proporción de accidentes que ocurre por la noche
2 carriles bidireccional	Pinr	Ppnr	Pnr
	0.382	0.618	0.370

Nota: Obtenido de Vargas (2018)

1.1.3.48. Regulación De Velocidades Automatizadas - FMA12

Los medios digitalizados de limitación de velocidad se valen de imagen grabada, identificación fotográfica juntamente con radar y láser para detectar violaciones al límite del límite de velocidad impuesto. La base premisa para una implementación automática es que su presencia no esté presente, FMA12, de acuerdo con Vargas (2018) vale 0.93.

1.1.3.49. Factor de calibración (Cr)

Los datos locales y geográficos del lugar de estudio pueden generar variaciones en las frecuencias de accidentes de una zona a otra. Para compensar dichas diferencias, el HSM 2010 sugiere emplear un factor de calibración de accidentes (Cr), el cual se obtiene de una muestra que sume al menos 100 accidentes por año (independientemente de su gravedad) y que tenga una longitud recomendada de por lo menos 0,1 millas cada sitio. Esto, con la fe de representar adecuadamente las condiciones climáticas, de topografía y de seguridad que prevalecen en el lugar. Asimismo, el HSM 2010 recomienda asignar un factor respecto a la región geográfica o el tipo de terreno en regiones donde se presentan variaciones notables de estas características (Vargas, 2018).

1.1.3.50. Introducción al IHSDM (Interactive Highway Safety Design Model)

El IHSDM es un software de modelaje y gestión de transporte, desarrollado por el Federal Highway Administration (FHWA) de Estados Unidos. Su principal función es apoyar la toma de decisiones técnicas y administrativas en materia de diseño de transporte de carreteras. (Wang, 2020).

1.1.3.51. Software de Ingeniería – IHSDM

El Instrumento para Evaluación de Impactos a la Seguridad de la Calzada (IHSDM) es una herramienta compuesta de módulos útiles para la toma de decisiones en la delineación de carreteras, con el objetivo de maximizar el beneficio respecto a la seguridad y a la vez satisfaciendo las restricciones de presupuesto, medioambientales y otras (Vargas, 2018). Esta aplicación guía a los proyectistas y diseñadores a identificar y evaluar métodos para abordar posibles problemas de seguridad en alineamientos existentes o proponer secciones de carretera nuevas.

Según Pérez (2013), en el IHSDM, la incorporación de datos de la geometría de la carretera puede realizarse de manera manual o importándolos desde archivos LandXML. En el caso de nuevos alineamientos, es relativamente sencillo obtener los datos de los elementos geométricos, ya que esta información se define utilizando algún programa de diseño geométrico. Sin embargo, la evaluación de alineamientos existentes requiere un esfuerzo considerable, ya que la información de la geometría de la carretera para cada elemento debe ser generada o recolectada en campo y luego agregada al registro en IHSDM.

1.1.3.52. El IHSDM presenta 5 módulos los cuales son:

El IHSDM presenta 5 módulos:

- CPM: Crash Prediction Module – Módulo de predicción de accidentes.
- PRM: Policy Review Module - Módulo de revisión de normativa.
- DCM: Design Consistency Module – Módulo de consistencia del diseño.
- TAM: Traffic Analysis Module – Módulo de análisis de tráfico.
- DVM: Driver/Vehicle Module – Módulo conductor/vehículo.

El CPM es uno de los componentes principales y más importantes del IHSDM, ya que proporciona información esencial para los ingenieros civiles sobre los patrones de comportamiento, tendencias y pronósticos de choques con los que se enfrentan. El CPM también es útil para la predicción de choques donde los datos de tráfico no están disponibles.

1.1.3.53. Módulo CPM (Crash Prediction Module) del IHSDM

La Descripción del Módulo CPM, también conocido como Crash Prediction Module (Módulo de Predicción de Choques), es una parte importante del Interactive Highway Safety Design Model (Modelo Interactivo de Diseño de Seguridad en las Carreteras o IHSDM). Este módulo CPM ofrece una variedad de informes, diseños y simulaciones para predecir el número de choques y lesiones en vías públicas. La descripción permite a los ingenieros civiles obtener información precisa para proporcionar soluciones a los problemas de seguridad vial (Wang, 2020).

1.1.3.54. Descripción del módulo de Predicción de Accidentes CPM

Barbosa (2014) nos presenta la funcionalidad del módulo CPM con una explicación meticulosa: Este módulo calcula la recurrencia y gravedad de colisiones, evalúa las particularidades de la estructura geométrica y las condiciones del tránsito. Trabaja con un sistema predictivo de incidentes (AMFs), específicamente diseñado para distintos segmentos de vías y tres variedades de cruces a nivel superficial. Este compilado de sistemas brinda la posibilidad de proyectar la cantidad total de siniestros en un tramo específico o en un proyecto de mejora vial.

El modelo primordial, al igual que cualquier modelo de regresión, proyecta la cifra de una variable dependiente respecto a un conjunto variable independiente. Los AMFs refinan este modelo primordial, considerando las medidas de la configuración geométrica y administración del tráfico posterior.

En la misma línea, Pérez (2013) señala que el módulo CPM utiliza ciertos parámetros para calcular la frecuencia media de accidentes anticipada en una carretera de dos vías. Asimismo, propone una guía metodológica para recopilar datos útiles para el IHSDM, con el objetivo de obtener una calibración eventual y la implementación del módulo CPM como práctica común en la ingeniería de diseño de carreteras rurales de doble carril.

1.1.3.55. Predicción de seguridad sin datos de historial de accidentes específicos del lugar.

Según la guía de ayuda del software IHSDM los pasos en los que se aplica la metodología de predicción de seguridad a cualquier alternativa de diseño geométrico específico se resumen a continuación:

Paso 1: establezca los atributos de predicción de accidentes:

Defina "Límites de evaluación", "Configuración" y "Período de evaluación", y confirme que no se utilizarán datos del historial de fallas en la evaluación.

Paso 2: revisar los problemas de datos de carreteras/intersecciones:

Revise los datos disponibles para los segmentos de la carretera y las intersecciones y determine los datos necesarios para los modelos de predicción de choques para los límites de evaluación completos con respecto al tipo de carretera y las intersecciones. Al final de este paso, el usuario tiene la oportunidad de completar los datos si falta alguno.

Paso 3: - Determinar Secciones de Evaluación Homogéneas:

Divida el proyecto en secciones de evaluación homogéneas individuales (segmentos e intersecciones de carretera homogéneos) para todos los años de la evaluación.

Pasos 4: seleccione una sección de evaluación homogénea:

Seleccione un segmento de carretera homogéneo individual o una intersección para su evaluación.

Paso 5: seleccione un año en particular:

Seleccione un año particular del período de evaluación especificado para el segmento de carretera o intersección de interés.

Paso 6: Aplicar modelos de predicción de accidentes:

Aplique las funciones de rendimiento de seguridad apropiadas para determinar la frecuencia de accidentes prevista para las condiciones nominales o de referencia para el año seleccionado.

Paso 7: - Aplicar factores de calibración:

Multiplique el resultado obtenido en el Paso 6 por los factores de calibración apropiados para un estado o región geográfica específicos. Consulte el Manual de seguridad vial para obtener detalles sobre la calibración de los modelos de predicción de choques.

Paso 8: aplique CMF y calcule los tipos de colisión para diferentes combinaciones de gravedad:

Multiplique el resultado obtenido en el **Paso 7** por los CMF apropiados que representan las diferencias de seguridad entre las condiciones de referencia y la geometría real y el control del tráfico del segmento o intersección de la vía homogénea (si corresponde). Calcule el número de choques para diferentes tipos de colisión.

Paso 9: Bucle por años:

Si hay otro año para ser evaluado para el segmento de carretera homogéneo o intersección seleccionada, regrese al Paso 5; de lo contrario, continúe con el Paso 10.

Paso 10: Bucle para Secciones de Evaluación Homogéneas:

Si hay otro segmento de carretera homogéneo o intersección para evaluar, regrese al Paso 4; de lo contrario, continúe con el Paso 11.

Paso 11: Suma de los accidentes combinados de gravedad total y diferente:

Sume el número previsto de choques para segmentos e intersecciones. Realice esto para los tipos de gravedad Total, FI (fatality and injured) y PDO (property damage only).

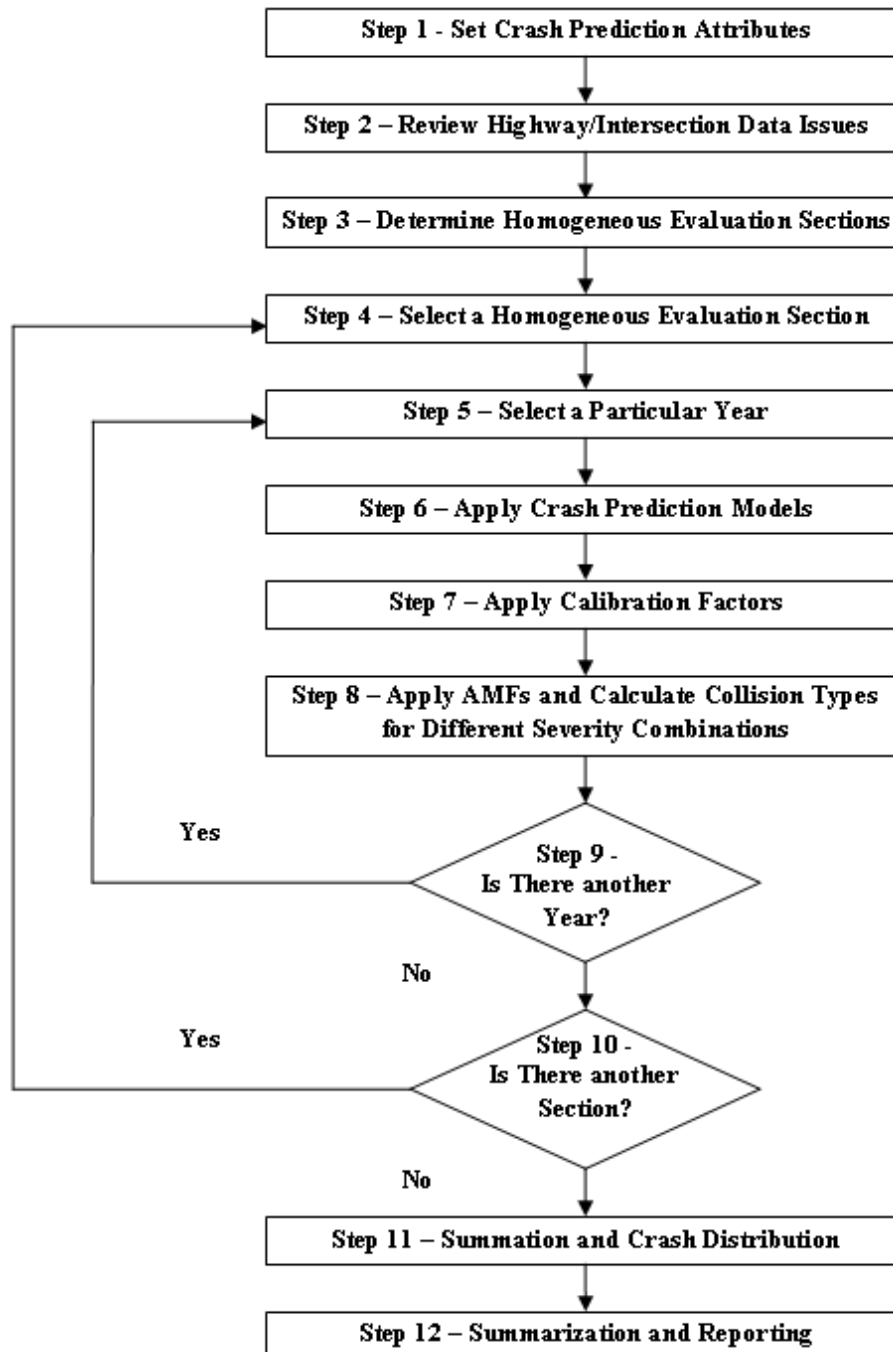
Paso 12: Resumen e informes:

Resumir y presentar las predicciones.

La Figura 9 presenta un diagrama de flujo de la metodología de predicción de seguridad que incorpora estos pasos, la Figura 10 cuando se tiene datos de accidentes en lugares específicos y la Figura 11 cuando se tiene datos de accidentes para todo el proyecto.

Figura 9

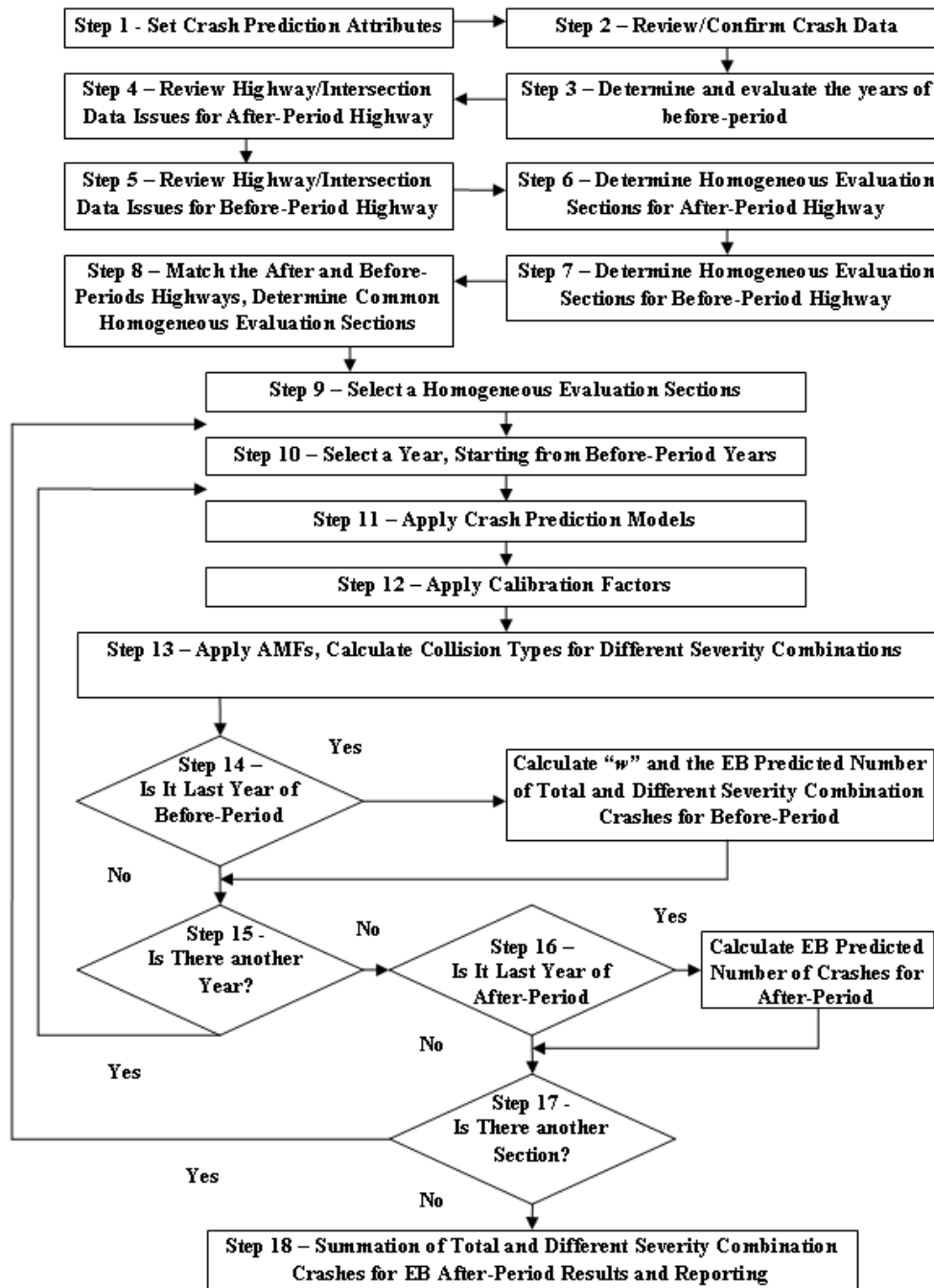
Predicción sin datos de historial de accidentes específicos del lugar



Nota: Guía de ayuda del software IHSDM

Figura 10

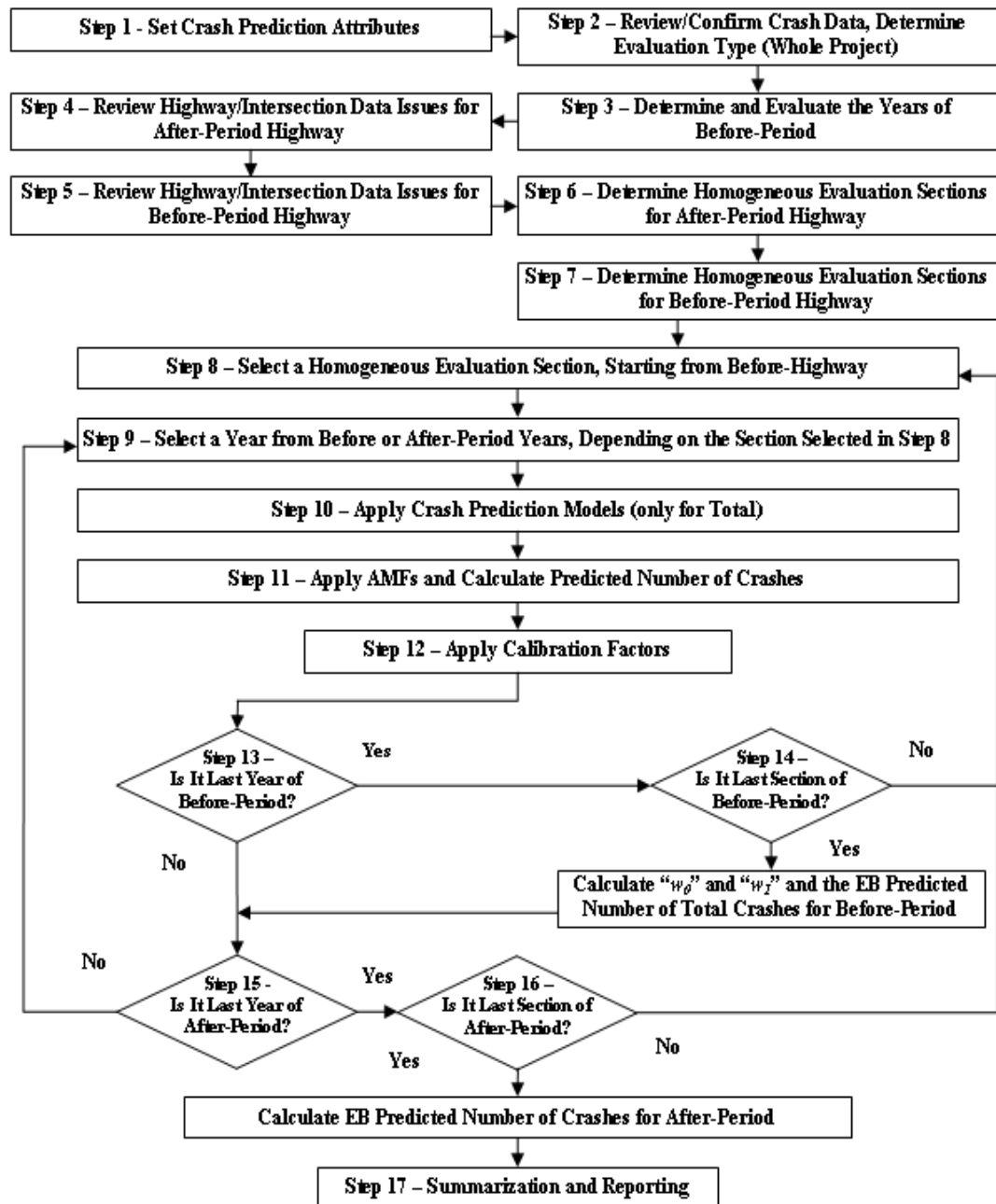
Diagrama de flujo de la metodología de predicción de seguridad cuando los datos del historial de accidentes específicos del lugar están disponibles y se utilizan.



Nota: Guía de ayuda del software IHSDM

Figura 11

Diagrama de flujo de la metodología de predicción de seguridad cuando los datos del historial de accidentes específicos del proyecto están disponibles y se utilizan para todo el proyecto.



Nota: Guía de ayuda del software IHSDMN

1.1.3.56. Selección de contramedidas – (CMF) Crash Modification Factor

Los factores de modificación de accidentes (CMF), son factores que se utiliza para calcular y cuantifican el cambio esperado en la frecuencia promedio de accidentes como resultado de modificaciones geométricas o señalizaciones en un sitio que difiere de las condiciones básicas establecidas (CMF Clearinghouse).

La cámara de compensación del factor de modificación de accidentes alberga actualmente más de 8,000 CMF. El especialista debe seleccionar aquellas contramedidas que se hayan desarrollado en las mismas condiciones que el sitio de interés al que se aplicará.

Figura 12

Los factores de modificación de accidentes (CMF)



Nota: Obtenido CMF – Crash Modification Factor

CMF = 1.00 = El tratamiento no tiene efecto en la frecuencia esperada de accidentes

CMF = <1.00 = El tratamiento reduce la frecuencia esperada de accidentes

CMF = >1.00 = El tratamiento incrementa la frecuencia esperada de accidentes.

1.1.3.57. Puntuación y calificación de estrellas

La calificación de calidad con estrellas indica la calidad o confianza en los resultados del estudio que produce el CMF, la calificación de estrellas se basa en una escala (de 1 a 5), donde 5 indica la calificación más alta o más confiable. El proceso de revisión para determinar la calificación de estrellas juzga la exactitud y precisión, así como la aplicabilidad general de los resultados del estudio. La puntuación total de un CMF se calcula sumando los puntos de los diferentes factores, con una puntuación máxima de 150. (CMF Clearinhouse)

Tabla 18

Puntaje de CMF – Clasificación de estrellas.

Puntaje	Clasificación de estrellas
135-150	5 estrellas
110-134	4 estrellas
75-109	3 estrellas
35-74	2 estrellas
0-34	1 estrella

Nota: Obtenido CMF – Crash Modification Factor

Contramedida

Según el (HSM, 2010) Una “contramedida” es una estrategia vial destinada a disminuir la frecuencia y/o la gravedad de los choques. Para cada sitio específico, se identifica una contramedida o una combinación de contramedidas que se espera aborden el patrón de colisión o el tipo de colisión.

Hay tres pasos principales para seleccionar una(s) contramedida(s) para un sitio.

- Identificar los factores que contribuyen a la causa de los choques en el sitio en cuestión.
- Identificar contramedidas que puedan abordar los factores contribuyentes.
- Realizar un análisis costo-beneficio, si es posible, para seleccionar el(los) tratamiento(s).

1.1.3.58. Confiabilidad

Todas las estimaciones están sujetas a incertidumbre, se requiere la confiabilidad de una estimación para conocer la relación entre los valores esperados y los informados.

Esta es la razón por la cual, las estimaciones de los CMF suelen ir acompañadas de una descripción de su error estándar, varianza o algún tipo de confiabilidad estadística. (HSM, 2010).

Tabla 19

Valores para determinar los intervalos de confianza

Nivel deseado de confianza	Intervalo de confianza (probabilidad de que el valor real esté dentro del intervalo de confianza)	Múltiplos de error estándar (MSE) para usar en la ecuación 21
Bajo	65-70%	1
Medio	95%	2
Alto	99.90%	3

Nota: Tomado del "Manual de HSM"

1.1.3.59. CMF y error estándar

El error estándar de un valor estimado sirve como medida de la confiabilidad de esa estimación. Cuanto menor sea el error estándar, más fiable se vuelve la estimación.

El error estándar también se puede usar para calcular un intervalo de confianza para el cambio estimado en la frecuencia promedio esperada de choques. Los intervalos de confianza se pueden calcular.

$$CI(y\%) = CMF_x \pm SE_x \times MSE$$

Ecuación 21. Error de estándar

Dónde:

- $CI(y\%) =$ El de confianza para el cual es y por ciento probable que el verdadero valor del CMF esté dentro del intervalo.
- $CMF_x =$ Factor de modificación de choque para la condición.
- $SE_x =$ Error Estándar del CMF_x
- $MSE =$ múltiplo de error estándar (consulte la Tabla 12 para conocer los valores).

1.1.3.60. Valores para determinar los intervalos de confianza utilizando el error estándar

La comprensión limitada de las interrelaciones entre los diversos tratamientos presentados en la Parte D del HSM requiere consideración, especialmente cuando se proponen más de tres CMF. Si los CMF se multiplican juntos, es posible sobreestimar el efecto combinado de múltiples tratamientos cuando se espera que más de uno de los tratamientos pueda afectar al mismo tipo de accidente (HSM, 2010)

Cuando se multiplican los CMF, el profesional acepta la suposición de que los efectos representados por los CMF son independientes entre sí. Los especialistas deben ejercer su juicio de ingeniería para evaluar la interrelación o la independencia, o ambas, de los elementos o tratamientos individuales que se están considerando para su implementación (HSM, 2010)

1.1.3.61. Evaluación de la eficacia de los tratamientos

La evaluación de la seguridad vial conduce a una evaluación de cómo ha cambiado la frecuencia o la gravedad de los accidentes debido a un tratamiento específico o en conjunto de estas contramedidas. (HSM,2010)

1.1.3.62. Efecto combinado de múltiples contramedidas

Se debe seleccionar el método apropiado para estimar el efecto combinado al aplicar múltiples contramedidas. La FWHA recomienda los siguientes pasos:

- Definir el escenario de interés
- Comprender los límites del efecto combinado de contramedida
- Determinar el potencial de efectos superpuestos
- Categorizar la magnitud de los efectos individuales de las contramedidas

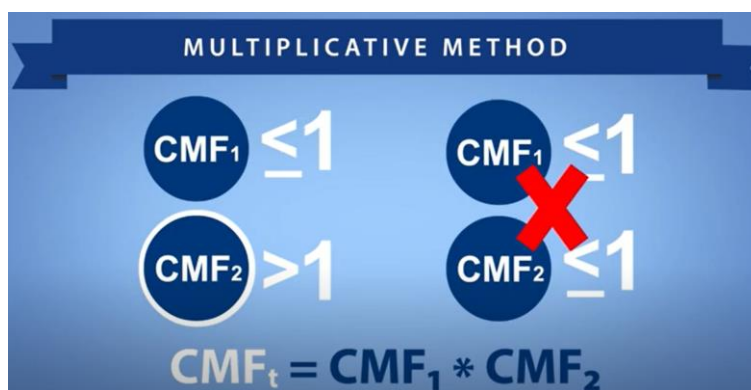
1.1.3.63. Métodos de estimación de efectos combinados

El FHWA presenta los siguientes métodos para estimar los efectos dominantes

- **Multiplicativo:** Apropiado cuando uno o más CMF son mayores a 1.

Figura 13

Método multiplicativo para estimar efectos combinados de múltiples CMF

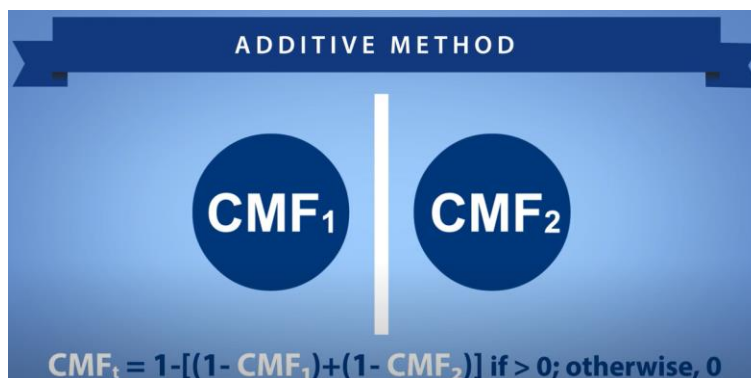


Nota: FHWA - Aplicación de un método para analizar varios CMF

- **Aditivo:** Apropiado cuando no se espera una superposición entre los efectos de las contramedidas.

Figura 14

Método aditivo para estimar los efectos combinados de múltiples CMF

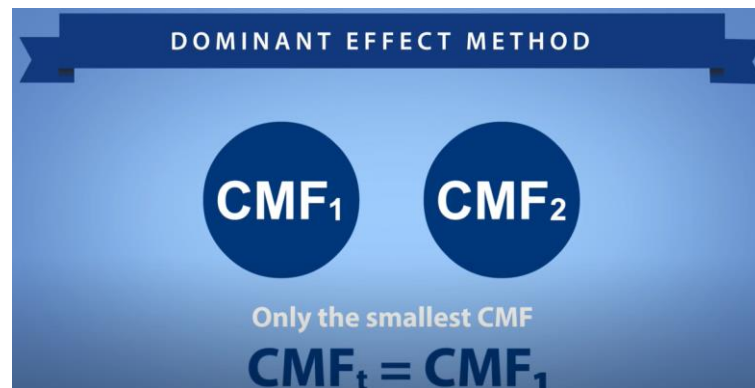


Nota: FHWA - Aplicación de un método para analizar varios CMF

- **Efecto Dominante:** Se considera una superposición Total, la contramedida dominante es aquella con el CMF más pequeño.

Figura 15

Método efecto dominante para estimar efectos combinados de múltiples CMF

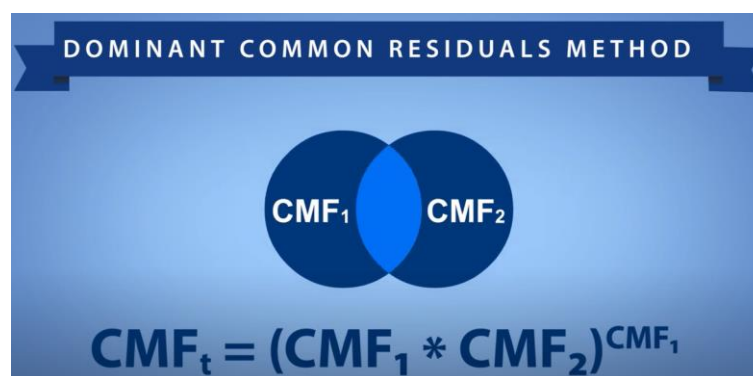


Nota: FHWA - Aplicación de un método para analizar varios CMF

- **Residuos comunes dominantes:** Cuando se espera una superposición parcial

Figura 16

Método residuos comunes dominantes para estimar los efectos combinados de múltiples CMF



Nota: FHWA - Aplicación de un método para analizar varios CMF

1.1.4. Justificación de la investigación

1.1.4.1. Justificación Metodológica

La justificación metodológica de la ingeniería vial se basa en la necesidad de aplicar procedimientos y metodologías que permitan analizar, calcular y estimar resultados probabilísticos en diferentes disciplinas relacionadas con el diseño y construcción de infraestructuras viales. Estos procedimientos y metodologías son requeridos en los Términos de Referencia (TDR) y se desarrollan en los expedientes técnicos en áreas como Geodesia, Topografía, Tráfico, Diseño vial, Suelos, Canteras, Fuentes de agua, Pavimentos, Hidrología, Hidráulica, Geología y Geotecnia (Aguilar, 2022).

En la especialidad de seguridad vial en muchos casos estos requisitos se abordan de manera formal y descriptiva, sin proporcionar un respaldo sólido de las áreas evaluadas que presentaron un mayor riesgo de accidentes ni ofrecer propuestas concretas de mejora para reducir esa probabilidad, pese a existir metodologías para su aplicación.

Es importante destacar que la finalidad de aplicar estas metodologías y desarrollar estos procedimientos no es solo cumplir con una formalidad, sino brindar un sustento técnico sólido y justificado de las áreas evaluadas y sus niveles de riesgo, así como presentar propuestas concretas y efectivas para mejorar la seguridad vial en dichas zonas.

1.1.4.2. Justificación Práctica

La justificación práctica de esta investigación se fundamenta en la necesidad de mejorar la evaluación y diagnóstico de la seguridad vial en los expedientes de carreteras. Actualmente, muchos de estos expedientes carecen de una evaluación confiable de la

seguridad vial debido a diversas razones, como la falta de capacitación, herramientas y tecnología adecuadas, así como la falta de experiencia y criterio profesional

El objetivo de esta investigación es proporcionar un soporte técnico a los profesionales encargados de evaluar la seguridad vial en las etapas de diseño de carreteras.

A través de la aplicación de investigaciones científicas respaldadas y fundamentadas, se pretende fortalecer los expedientes y respaldar las opiniones y decisiones de los profesionales.

En este estudio, se utilizará el software IHSDM, desarrollado por la Federal Highway Administration (Administración Federal de Carreteras de Norteamérica). Esta herramienta tecnológica brinda un enfoque científico y preciso para evaluar la seguridad vial en etapas tempranas de ingeniería. El uso de esta herramienta nos permitirá mejorar la calidad de nuestras evaluaciones de seguridad vial y respaldarlas con datos y análisis precisos. Al emplear un enfoque respaldado por investigaciones científicas y utilizar tecnología especializada, estaremos en condiciones de brindar un soporte técnico sólido a los profesionales involucrados en el diseño de carreteras.

Al llevar a cabo esta investigación, se espera mejorar la calidad de los expedientes de carreteras al incluir una evaluación de seguridad vial respaldada por investigaciones científicas y el uso de herramientas especializadas. Esto permitirá tomar decisiones informadas y basadas en evidencia para garantizar la seguridad de las carreteras y prevenir accidentes de tránsito.

1.1.4.3. Justificación Teórica

La justificación teórica de esta investigación se basa en la normativa actual vigente, específicamente en el Manual de Seguridad Vial (MSV). Según el MSV, es necesario utilizar los resultados de evaluaciones independientes y auditorías de seguridad para tener en cuenta la repercusión de la seguridad vial en todas las etapas de planificación, diseño, construcción, funcionamiento y mantenimiento de nuevos proyectos viales.

Esta investigación tiene como objetivo desarrollar una guía metodológica que pueda ser utilizada tanto por consultores como por revisores para identificar y mejorar aquellos sectores de un proyecto vial que presenten una alta probabilidad de accidentes de tránsito, utilizando herramientas como el software IHSDM y las fórmulas predictivas del Manual HSM, para luego implementar contramedidas cuyo CMF ayude a la reducción de accidentes.

1.1.4.4. Justificación Social

La aplicación del software IHSDM permitirá una evaluación más rigurosa de la seguridad vial en la etapa de diseño de esta carretera. Esto implica analizar y abordar posibles riesgos y deficiencias en el diseño que puedan comprometer la seguridad de los usuarios. Al identificar estos puntos críticos y proponer mejoras, se contribuye directamente a la reducción de accidentes de tránsito y se promueve un entorno vial más seguro y confiable. Esto no solo beneficia a los usuarios directos de la carretera Cutervo - Chiple, sino también a la comunidad en general al fomentar la confianza y la tranquilidad en el transporte por carretera

1.1.4.5. Justificación Económica

La justificación económica de la aplicación del software IHSDM como propuesta de una metodología para la evaluación de la seguridad vial de carreteras en la etapa de diseño, tomando como caso práctico la carretera Cutervo - Chiple (km 32 al km 37), radica en los beneficios económicos que se derivan de la prevención de accidentes y la reducción de costos asociados.

Los accidentes de tránsito representan una carga financiera significativa para la sociedad y las economías locales. Estos eventos implican costos directos como atención médica, reparación de vehículos y daños a la infraestructura vial, así como costos indirectos como la pérdida de productividad y el impacto en la calidad de vida de las personas. Al aplicar una metodología rigurosa de evaluación de la seguridad vial en la etapa de diseño, se pueden identificar y abordar posibles riesgos y deficiencias en la carretera, lo que resulta en una reducción de accidentes y, por lo tanto, en una disminución de los costos asociados. Además, la mejora de la seguridad vial tiene un impacto positivo en la economía local y regional al fomentar el comercio, el turismo y el desarrollo económico en general

1.1.4.6. Justificación Legal - Normativa

La justificación legal-normativa de la aplicación del software IHSDM como propuesta de una metodología para la evaluación de la seguridad vial de carreteras en la etapa de diseño, tomando como caso práctico la carretera Cutervo-Chiple (km 32 al km 37) en Perú, se basa en la normativa y regulaciones emitidas por diversas entidades y organismos competentes en el país.

Estas entidades, junto con otras instituciones y organismos competentes en el ámbito de la seguridad vial en Perú, respaldan la necesidad de aplicar una metodología rigurosa, como el software IHSDM, en la evaluación de la seguridad vial en la etapa de diseño de las carreteras a nivel nacional. Al seguir estas normativas y recomendaciones emitidas por las entidades competentes, se garantiza el cumplimiento legal y la implementación de medidas adecuadas para proteger a los usuarios de la vía

1.1.5. Limitaciones

Dentro del contexto de esta investigación, se han identificado algunas limitaciones que han sido necesario abordar. Una de ellas se relaciona con la necesidad de buscar y traducir información pertinente sobre la temática de estudio, el uso del software y de la metodología HSM, para lo cual se tuvieron reuniones con especialistas e instructores capacitados.

La recopilación de literatura relevante ha requerido un esfuerzo individual, ya que ha sido necesario realizar la traducción y análisis de diversos recursos con el fin de abordar cada uno de los objetivos planteados en este estudio.

Pese a que no obtuvimos información acerca de la accidentabilidad por parte de la Policía Nacional luego de presentar la solicitud formal como se puede ver en Anexo 02, para sortear esta limitante se optó por recopilar y analizar la información publicada en la página web del ONSV

1.2. Formulación del problema

De acuerdo a Álzate y Gómez (2011), la problemática consiste básicamente en la selección y puesta en orden por el investigador, según sus propias perspectivas, de los elementos que compondrán el territorio o espacio de cuestionamiento al cual se enfoca el estudio.

1.2.1. Formulación del problema general

¿La aplicación del módulo CPM del software IHSDM ayudara a mejorar el análisis de la seguridad vial en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37, en el año 2023?

1.2.2. Formulación de los problemas específicos

¿Cuál es la influencia del incumplimiento normativo del trazo geométrico en la seguridad vial en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37?

¿Cuál es la predicción de la frecuencia de accidentes y los sectores de mayor probabilidad de accidentes aplicando el módulo CPM del software IHSDM en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 - Km 37?

¿Cuál es el porcentaje de reducción de la frecuencia de accidentes al aplicar las alternativas de mejora y el módulo CPM del software IHSDM en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37?

Objetivos

1.2.3. Objetivo general

Mejorar el análisis de la seguridad vial aplicando el módulo CPM del software IHSDM en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37, en el año 2023.

1.2.4. Objetivos específicos

Determinar la influencia del incumplimiento normativo del trazo geométrico en la seguridad vial en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37.

Determinar la predicción de la frecuencia de accidentes y los sectores de mayor probabilidad de accidentes aplicando el módulo CPM del software IHSDM en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 - Km 37.

Determinar el porcentaje de reducción de la frecuencia de accidentes al aplicar las alternativas de mejora y la implementación del módulo CPM del software IHSDM en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

La aplicación del módulo CPM del software IHSDM ayudara a mejorar el análisis de la seguridad vial en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37, en el año 2023.

1.3.2. Hipótesis específicas

El incumplimiento normativo del trazo geométrico tiene influencia en la seguridad vial en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple km 32-37.

El módulo CPM del software IHSDM determinará la predicción de la frecuencia de accidentes y los sectores de mayor probabilidad de accidentes en la etapa de diseño de la carretera Cutervo – Chiple Km 32 al Km 37.

Mediante la aplicación de mejoras y la implementación del módulo CPM del software IHSDM se puede obtener el porcentaje de reducción de la frecuencia de accidentes en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37.

1.3.3. Hipótesis Nula (H₀):

La aplicación del módulo CPM del software IHSDM no tendrá ningún efecto en la mejora del análisis de la seguridad vial en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37.

1.3.4. Hipótesis Alterna (H_a):

La aplicación del módulo CPM del software IHSDM ayudará a mejorar significativamente el análisis de la seguridad vial en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Enfoque de la investigación

“El enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías”. (Hernández et al., 2014, p.04).

2.2. Tipo de investigación

“El interés de la investigación aplicada es práctico, pues sus resultados son utilizados inmediatamente en la solución de problemas” (Vara, 2015, p. 235).

La investigación aplicada implica la realización de un estudio práctico en el cual se utilizará el software IHSDM como herramienta para analizar y evaluar diferentes aspectos relacionados con la seguridad vial de la carretera Cutervo - Chiple. El objetivo será identificar posibles riesgos y deficiencias en el diseño de la carretera y proponer recomendaciones y soluciones para mejorar la seguridad vial en ese tramo específico.

2.3. Nivel de investigación

“Los estudios explicativos van más allá de la descripción de fenómenos, conceptos o variables o del establecimiento de relaciones entre estas; están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos de cualquier índole. (naturales, sociales psicológicos, de salud etc.). Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables” (Hernández Sampieri, R. & Mendoza, C., 2018, p.112).

Por lo tanto, el nivel de la investigación para el presente estudio es explicativo porque se centra comprender las relaciones causales y los factores que contribuyen a la mejora del nivel de seguridad vial mediante la implementación del módulo CPM del software IHSDM, analizando, proponiendo e implementando las mejoras para la reducción de tasas de accidentabilidad.

2.4. Diseño de la investigación

“Los pre-experimentos se denominan así porque su grado de control es mínimo. Son diseños con un grupo único” (Hernández Sampieri, R. & Mendoza, C., 2018, p.163).

Por lo tanto el estudio se encuadró en el contexto de diseños pre-experimentales. Esto se debe a que la variable independiente se someterá a una manipulación deliberada para examinar las ramificaciones resultantes de dicha manipulación en relación con la variable dependiente, en un entorno controlado para el investigador.

Su diseño es el siguiente: GE 01 X 02

Dónde:

GE= Tramo de estudio La Carretera Cutervo – Chiple Km 32 al Km 37

01= Pre - test “Análisis de la Seguridad Vial en la etapa de diseño” (Aprobado).

X= Variable Independiente "El módulo (CPM) del software IHSDM"

02= Post – test “Análisis de la Seguridad Vial en la etapa de diseño” (Propuesto).

2.5. Población de estudio

“La población o universo es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (Hernández Sampieri, R. & Mendoza, C., 2018, p.198).

La población de estudio seleccionada para la presente investigación es el conjunto de segmentos que conforman el Subtramo 1 de la Carretera Cutervo - Chiple, perteneciente a la ruta nacional PE-3N. Este subtramo abarca una extensión de aproximadamente 60.5 kilómetros correspondientes al inicio y fin del Subtramo estipulado.

La elección de esta población se basa en la importancia de analizar y evaluar la seguridad vial en un tramo específico de la carretera mencionada. Al centrarse en el Subtramo 1, se busca obtener un enfoque detallado y exhaustivo de las características y condiciones viales presentes en esa sección particular. Esto permitirá identificar posibles riesgos y deficiencias en el diseño que puedan comprometer la seguridad vial y, posteriormente, proponer recomendaciones y soluciones para su mitigación.

2.6. Muestra

“Subgrupo del universo o población del cual se recolectan los datos y que debe ser re- presentativo de esta, si se desean generalizar los resultados” (Hernández Sampieri, R. & Mendoza, C., 2018, p.196).

La muestra seleccionada para llevar a cabo la investigación se encuentra ubicada en el tramo de la carretera Cochabamba - Cutervo - Chiple, específicamente entre los kilómetros 32+000 al 37+000. Es importante destacar que este sector de la carretera aún no ha sido culminado y se considera continuar la ejecución de los trabajos manteniendo el estudio

aprobado (EDI), lo cual lo convierte en una zona relevante para el estudio de la seguridad vial en la etapa de diseño.

La elección de esta muestra se basa en la necesidad de analizar las características y parámetros de diseño de un tramo aún no ejecutado y que se encuentre en etapa de diseño, con el fin de identificar posibles riesgos y deficiencias en la planificación vial y proponer recomendaciones para su mitigación. Al seleccionar este sector en particular. Cabe mencionar que esta muestra se considera representativa de otros tramos de carretera con características similares, y los resultados obtenidos podrían tener implicaciones y aplicaciones más amplias en el diseño de carreteras en general.

2.7. Materiales y equipos

Los instrumentos utilizados para la presente investigación fueron considerados para obtener los datos más fiables.

Tabla 20

Materiales y equipos empleados

Categoría	Instrumentos/Equipos
Equipos y herramientas	Dron Phantom
	Cámara filmadora
	Camioneta
	Cinta métrica
Software	Autocad Civil 3D
	Google Earth
	Global Mapper

Categoría	Instrumentos/Equipos
	Istram Ispol
	IHSDM Versión 17
	Microsoft Excel
Materiales de Escritorio	Impresora
	Tableros de apunte
	Papel bond A4 para formatos
	Lápiz y lapiceros
	Pizarra
	Plumones

Nota: Autoría propia

2.8. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.8.1. Técnicas

La observación representa una técnica para recopilar información, caracterizada por el registro organizado, preciso y confiable de conductas y circunstancias que son perceptibles, utilizando un conjunto de categorías y subcategorías como guía. (Hernández Sampieri, R. & Mendoza, C., 2018).

Observación directa. Esta técnica implica la observación directa y sistemática de la carretera en estudio Cutervo - Chiple entre los Km 32 al Km 37. Los investigadores pueden registrar aspectos como la geometría vial y otros elementos relevantes para la seguridad vial. Se han utilizado listas de verificación (Check List) o formularios predefinidos para recopilar datos de manera estructurada durante la observación.

Registros existentes. Se utilizaron registros y documentos existentes, como el EDI Aprobado el cual fue autorizado por PROVIAS Nacional para su utilización en esta investigación, por lo que los datos recolectados son confiables como antecedentes, informes de accidentes de tráfico, datos de tráfico, estudios previos de seguridad vial, planos de la carretera, entre otros. Estos registros proporcionan información histórica y datos relevantes para el análisis de seguridad vial.

2.8.2. Instrumentos

“Recurso que utiliza el investigador para registrar información o datos sobre las variables que tiene en mente” (Hernández Sampieri, R. & Mendoza, C., 2018, p.228).

El instrumento de recojo de datos fue la guía de observación, considerando el hecho de que se ha planteado la necesidad de valorar la realidad de las condiciones sobre las que se ha desarrollado el estudio, en consecuencia, de requerir de dicha información para poder establecer la aplicación del módulo CPM.

- Check List.
- Manuales normativos del MTC
- Expediente EDI Aprobado.
- Tablas del manual HSM.
- Pre-Test y Post-Test
- Entrevista informativa.
- Software IHSDM 2021, v17.0.0
- Software IBM SPSS Statistics v25

En la presente investigación se realizó una entrevista de nivel informativo, dirigida a ingenieros civiles, especialistas en (Topografía, diseño geométrico, señalización y seguridad

vial), donde se realizaron 10 preguntas destinadas a conocer su percepción sobre la metodología actual para el análisis de seguridad vial, también acerca de sus conocimiento o experiencia aplicando nuevas tecnologías como el módulo CPM del software IHSDM, además las respuestas y comentarios de los especialistas nos ayudaran a reforzar las recomendaciones propuestas en este estudio, se pueden observar en el Anexo 11

2.8.3. Validación de instrumentos

La presente investigación utiliza para la recolección y análisis de datos instrumentos que han sido utilizados y validados en otras investigaciones, como formatos, fichas, lista de chequeo, y otros.

La entrevista se ha realizado de manera colectiva y no estructurada (no validada), el cuestionario ha sido formulado y revisado para que evite el sesgo y las preguntas tendenciosas, este estudio ha sido de carácter informativo por lo que sus resultados no han sido incluidos para aceptar hipótesis, cumplir objetivos ni responder preguntas de problemas.

2.8.4. Procesamiento de los datos.

Se realizará el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, predicción de accidentes (Pre-test y Post-test) para detallar los problemas planteados en la hipótesis. Los resultados serán interpretados mediante un estudio estadístico y finalmente se obtendrá evidencia para rechazar o aceptar la hipótesis, a través de la Prueba T de Student para muestras relacionadas con el software SPSS.

2.8.5. Aspectos éticos

La obtención de la información utilizada para el análisis de esta investigación ha sido solicitada mediante documentos formales a las entidades públicas encargadas, esta información no ha sido alterada ni manipulada, conservándose la veracidad de los datos.

Se hace referencia a todos los autores y/o publicaciones que han sido consultadas, realizando las citas APA, respetando sus derechos de autoría y propiedad intelectual.

2.8.6. Ubicación de la zona de estudio

Corresponde al tramo de la Carretera Cutervo - Santo Domingo de la Capilla – Chiple pertenece a la carretera PE 3N de la sierra Norte (km 32+000 al km 37+000).

2.8.6.1. Ubicación política

- Distrito: Cutervo
- Provincia: Cajamarca
- Departamento: Cajamarca

2.8.6.2. Ubicación geográfica

Tabla 21

Coordenadas UTM del tramo

PUNTO INICIAL	
CUTERVO	PUNTO INICIAL CUTERVO
ESTE: 742250.206	ESTE: 741958.190
NORTE: 9295536.924	NORTE: 9297944.769
COTA: 2652.400 m.s.n.m	COTA: 2726.979

Nota: Autoría propia

Tabla 22

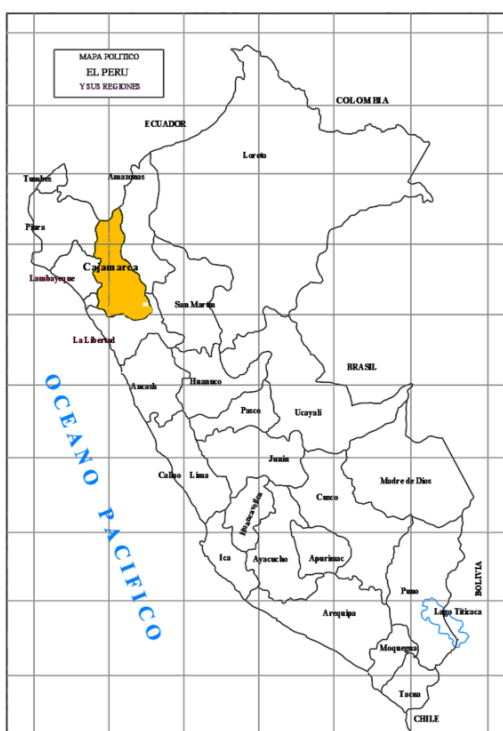
Coordenadas geográficas del tramo

PUNTO INICIAL CUTERVO	PUNTO INICIAL CUTERVO
LATITUD: 6°22'6.95"S	LATITUD: 6°20'48.62"S
LONGITUD: 78°48'36.20"O	LONGITUD: 78°48'46.03"O

Nota: Autoría propia

Figura 17

Mapa de Perú – Provincia de Cajamarca



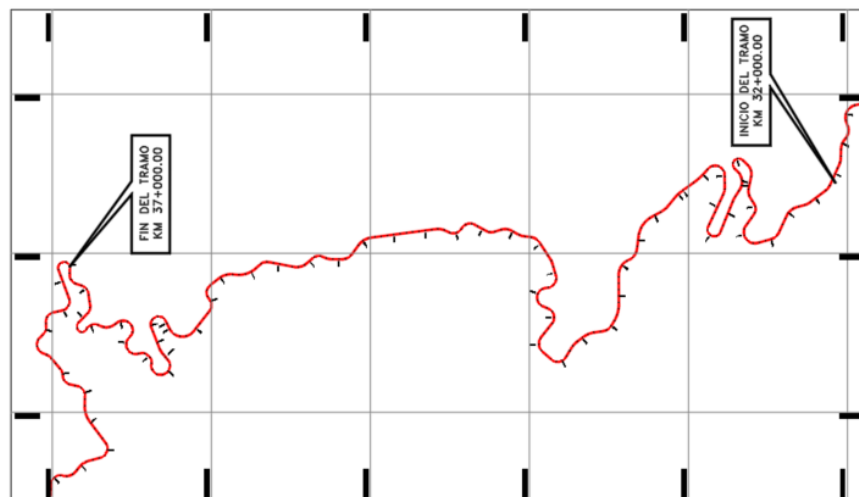
Nota: Autoría propia

Figura 18
Ubicación de la vía – Cutervo - Chiple



Nota: Autoría propia

Figura 19
Ubicación de la vía de estudio – Km 32 – Km 37



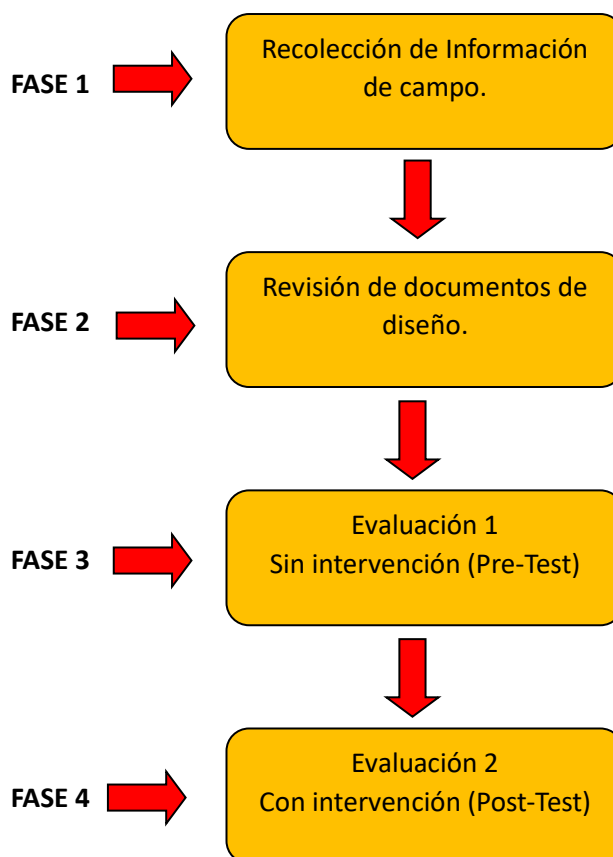
Nota: Autoría propia

2.8.7. Diseño de ingeniería

Con el fin de obtener los resultados buscados después de la investigación, se elaboraron procedimientos de desarrollo proyectual teniendo en consideración las formulaciones contenidas en el manual de la HSM 2010 y el aplicativo de software IHSDM.

Figura 20

Flujo de diseño de ingeniería



Nota: Autoría propia

2.8.8. Fases de procedimiento

Fase 1 : Recolección de Información de campo

- Se realiza una visita a campo al tramo de la carretera en estudio (02 días)
- Mediante un vuelo dron se obtendrán imágenes aéreas para su análisis en gabinete
- Se solicitará mediante carta a la comisaría local el registro de accidentes de tránsito

Fase 2 : Revisión de documentos de diseño

- Se solicita autorización de uso de información a la entidad pública encargada
- Revisamos los documentos relevantes para esta investigación (informes-planos)
- Mediante la lista de chequeo se registró de manera estructurada los datos necesarios

Fase 3 : Evaluación 1 - Sin intervención (Pre-Test)

- Se analiza los datos mediante el módulo CPM del software IHSDM.
- Se obtuvo la predicción de frecuencia de accidentes (segmentada y total).
- Se identificó las zonas de mayor probabilidad de accidentes.

Fase 4 : Evaluación 2 - Con intervención (Post-Test)

- Evaluamos las alternativas más adecuadas de mejora para cada zona de evaluación.
- Se aplicaron los métodos más adecuados para calcular el efecto combinado de CMF's
- Obtuvimos la predicción de frecuencia de accidentes luego de proponer mejoras.
- Mediante la comparación entre las evaluaciones Pre-Test y Post-Test se obtendrá el porcentaje de reducción de la frecuencia de accidentes, demostrando la mejora del análisis de seguridad vial al implementar el módulo CPM del software IHSDM.

2.8.9. Matriz de operacionalización de Variables

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Técnica e Instrumento
INDEPENDIENTE Módulo CPM del software IHSDM	Los modelos predictivos para carreteras rurales de dos carriles y dos sentidos se pueden usar para estimar la frecuencia de choques promedio total pronosticada. El modelo predictivo para un segmento de carretera combina un SPF con CMF y un factor de calibración. (HSM, 2010)	Nspf Predicción de la frecuencia promedio de accidentes	$N_{FPC} = IMDA \times L \times 365 \times 10^{-6} e^{(-0.312)}$	TÉCNICA Observacional Visita a campo Análisis de documentos INSTRUMENTO Lista de chequeo Ortofoto Formatos HSM
		CMF Factores de modificación de accidentes	CMF1_Ancho de carril CMF2_Ancho y tipo de berma CMF3_Índice de peligrosidad CMF4_Densidad de accesos CMF5_Curvas horizontales CMF6_Curvas Verticales CMF7_Banda sonora central CMF8_Carril de adelantamiento CMF9_Carril de giro a la izquierda CMF10_Iluminación CMF11_Fiscalización automática CMF12_Pendiente longitudinal	
		Cr Factor de calibración	$C_r = \frac{\sum_{\text{todos los sitios}} \text{Accidentes observados}}{\sum_{\text{todos los sitios}} \text{Accidentes previstos}}$	
DEPENDIENTE Análisis de la seguridad vial	Se presentan los conceptos, principios y fundamentos desde el punto de vista de la seguridad vial es así que se consideran los siguientes temas: los accidentes como base de análisis, el factor humano, modelos de conducción, características y limitaciones del conductor, concepto de orientación positiva, gestión de la seguridad vial, tránsito calmado y programas educativos. (MSV, 2017)	Frecuencia de accidentes	# Accidentes fatales y con lesiones	TÉCNICA Análisis de documentos Parámetros Normativos INSTRUMENTO Pre-Test Post-Test Formatos HSM
		Pre-Test y Post-Test	# Accidentes de daños solo a la propiedad	
			# Accidentes de un vehículo	
		Propuestas de Mejora	# Accidentes de múltiples vehículos	
			Mejoras al diseño vial Señalización y seguridad vial	
		Factor de Modificación de Accidentes	CMF	
		Efecto Combinado de múltiples CMF	Método = (Multiplicativo / Aditivo / Efecto Dominante / Residuos Comunes Dominantes)	
Porcentaje de Reducción de Accidentes	CRF % = 100*(1-CMF)			

Nota: Autoría propia

2.8.10. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Método
<p>PROBLEMA GENERAL ¿La aplicación del módulo CPM del software IHSDM ayudara a mejorar el análisis de la seguridad vial en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37, en el año 2023?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL Aplicar el módulo CPM del software IHSDM para mejorar el análisis de la seguridad vial en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37, en el año 2023</p>	<p>HIPOTESIS PRINCIPAL La aplicación del módulo CPM del software IHSDM ayudara a mejorar el análisis de la seguridad vial en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37, en el año 2023</p>	<p>ENFOQUE Cuantitativo</p> <p>TIPO DE INVESTIGACIÓN Aplicada</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN Explicativo</p>
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICO 1 ¿Cuál es la influencia del incumplimiento normativo del trazo geométrico en la seguridad vial en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS 1 Determinar la influencia del incumplimiento normativo del trazo geométrico en la seguridad vial en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37</p>	<p>HIPOTESIS ESPECÍFICA 1 El incumplimiento normativo del trazo geométrico tiene influencia en la seguridad vial en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37</p>	<p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Pre – Experimental GE O1 X O2</p> <p>VARIABLES</p> <p>Independiente: Módulo CPM del software IHSDM</p>
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICO 2 ¿Cuál es la predicción de la frecuencia de accidentes y los sectores de mayor probabilidad de accidentes aplicando el módulo CPM del software IHSDM en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 - Km 37?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS 2 Determinar la predicción de la frecuencia de accidentes y los sectores de mayor probabilidad de accidentes aplicando el módulo CPM del software IHSDM en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 - Km 37</p>	<p>HIPOTESIS ESPECÍFICA 2 El módulo CPM del software IHSDM determinará la predicción de la frecuencia de accidentes y los sectores de mayor probabilidad de accidentes en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37.</p>	<p>Dependiente: Análisis de la seguridad vial en la etapa de diseño.</p> <p>POBLACIÓN Carretera Cutervo - Chiple</p>
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICO 3 ¿Cuál es el porcentaje de reducción de la frecuencia de accidentes al aplicar las alternativas de mejora y el módulo CPM del software IHSDM en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3 Determinar el porcentaje de reducción de la frecuencia de accidentes al aplicar las alternativas de mejora y la implementación del módulo CPM del software IHSDM en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37</p>	<p>HIPOTESIS ESPECÍFICA 3 Mediante la aplicación de mejoras y la implementación del módulo CPM del software IHSDM se puede obtener el porcentaje de reducción de la frecuencia de accidentes en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37.</p>	<p>MUESTRA kilómetros 32+000 al 37+000</p> <p>INSTRUMENTOS Normativa y manuales Documentos de diseño Lista de chequeo Formatos HSM Pre-Test Post-Test</p>
<p>Hipótesis Nula (Ho):</p> <p>La aplicación del módulo CPM del software IHSDM no tendrá ningún efecto en la mejora del análisis de la seguridad vial en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37.</p>		<p>Hipótesis Alterna (Ha):</p> <p>La aplicación del módulo CPM del software IHSDM ayudará a mejorar significativamente el análisis de la seguridad vial en la etapa de diseño de la carretera Cutervo - Chiple Km 32 al Km 37.</p>	

Nota: Autoría propia

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Objetivo específico 1

Se han establecido una serie de procedimientos:

- Recopilación de información de campo y gabinete.
- Revisión y análisis del diseño aprobado del expediente.
- Evaluación de parámetros de diseño y normativa.

3.1.1. Ubicación Geográfica

La Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cutervo - Santo Domingo de la Capilla – Chiple pertenece a la carretera PE 3N de la sierra Norte, desarrollándose por sectores de topografía ondulada y accidentada.

Figura 21

Vista de ubicación del Subtramo 01



Nota: Autoría propia

3.1.2. Topografía de la zona Km 32 al Km 37

Este tramo tiene la característica de cruzar una de las zonas más críticas, donde se evidencia la mayor cantidad de deslizamientos y el ancho de la vía se reduce hasta 4.50m.

Figura 22

Vista satelital del tramo en estudio Km 32 al Km 37



Nota: Autoría propia

3.1.3. Recolección de información:

Se realizó una visita a la zona de estudio, para obtener información actual acerca de los aspectos relevantes para nuestra investigación, como por ejemplo anchos de vía, curvas peligrosas, cruces o intersecciones, viviendas cercanas a la vía, cruces peatonales y de ganado y otros que pudieran tener incidencia en la evaluación de la seguridad vial.

Figura 23

Visita a campo – Cutervo 2023



Nota: Autoría propia

Para la obtención de la información sobre las características del diseño geométrico de la carretera se realizó una revisión del Expediente técnico aprobado, y se utilizó un formato de Check List para la revisión del diseño en términos de seguridad vial Anexo 03 y el panel fotográfico de la visita a campo en Anexo 01

Para la toma de datos se procedió a realizar un vuelo de dron ver Anexo 10 de calibración, para tener registro fotográfico de los 5 km que abarca este estudio.

Una vez se finaliza con la georreferenciación y ajuste en bloque de las imágenes fotográficas, se procedió a la Correlación de Imágenes, lo que nos permite obtener el Modelo Digital de Elevación. Posterior a ello, se realiza una clasificación de la nube de puntos con lo cual se obtiene el Modelo Digital del Terreno (DTM – Digital Terrain Model), en el software PIX4D MAPPER.

Figura 24

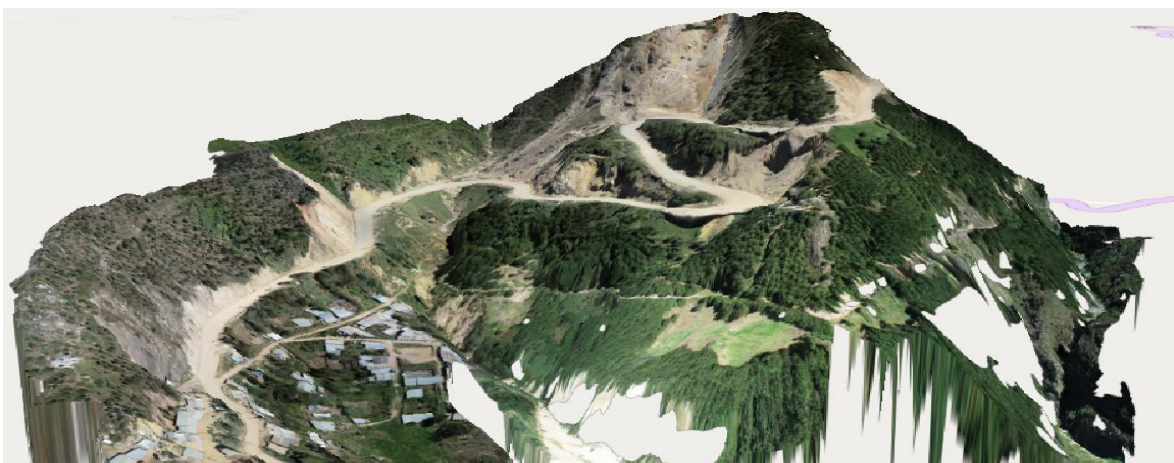
Km 32+000 al Km 33+000



Nota: Autoría propia

Figura 25

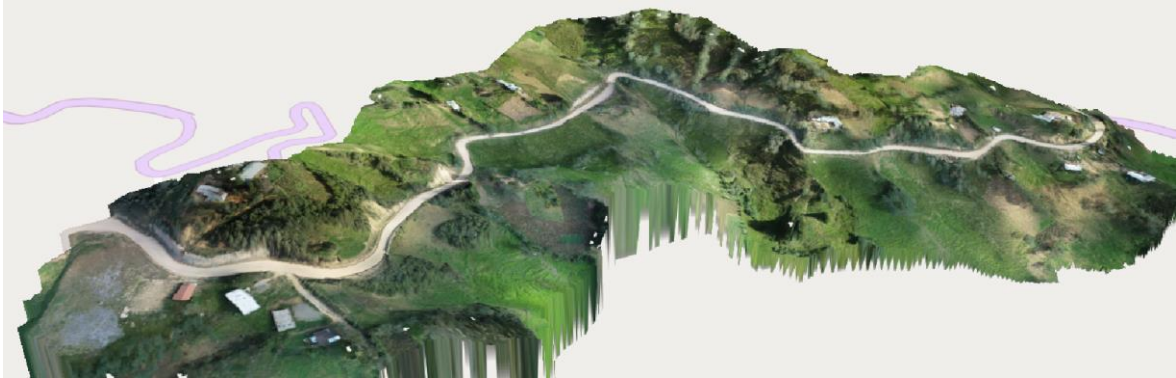
Km 32+000 al Km 33+000



Nota: Autoría propia

Figura 26

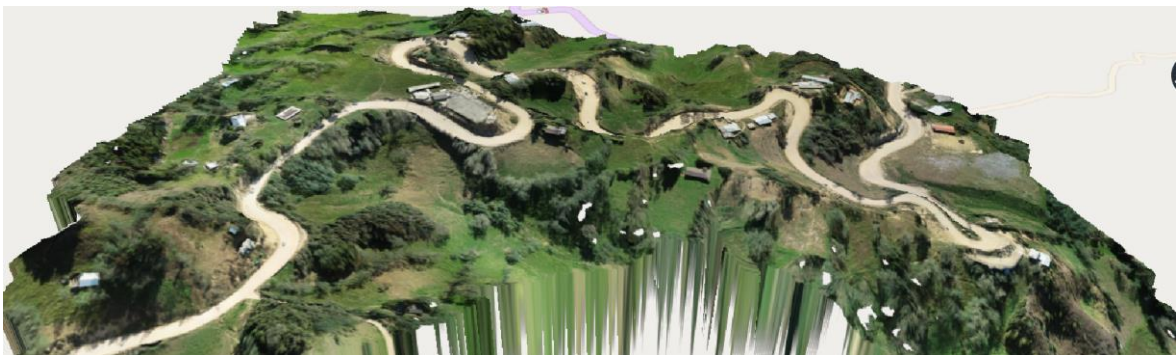
Km 33+000 al Km 34+000



Nota: Autoría propia

Figura 27

Km 34+000 al Km 35+000



Nota: Autoría propia

Figura 28

Km 35+000 al Km 36+000



Nota: Autoría propia

Figura 29

Km 36+000 al Km 37+000



Nota: Autoría propia

3.1.4. Descripción de la vía (EDI aprobado)

Se caracteriza por tener una topografía accidentada, además por cruzar una de las zonas más críticas de la ruta donde se evidencia la mayor cantidad de deslizamientos, taludes altos de roca, precipicios altos, presencia de tangentes cortas y enlazadas por curvas circulares de radio variable, en cuanto al alineamiento vertical hay presencia de pendientes entre 8 % a 12 % aproximadamente (EDI Aprobado).

Existen curvas de volteo en las siguientes progresivas:

32+700; 33+000; 36+070; 36+320; 36+750; 37+030.

3.1.5. Geometría Vial

De acuerdo con los términos de referencia del estudio, el diseño geométrico se sujeta en su totalidad al Manual de Diseño Geométrico de carreteras (DG 2001), vigente para la fecha en la que se elaboró el expediente (EDI Aprobado).

3.1.6. Clasificación Vial

De acuerdo con la demanda, la carretera objeto del estudio clasifica como una carretera de segunda clase, teniendo en cuenta que el IMD determinado en el estudio de tráfico es de 236 veh/día. Sin embargo, el IMD proyectado para el año 2036 de 896 veh/día, determino que la carretera es de segunda clase; es decir, una vía cuyo IMD debe fluctuar entre 400 y 2000 veh/día. Por lo tanto, se concluye que la clasificación otorgada por el estudio de preinversión a nivel de perfil resulta correcta (EDI Aprobado).

Acuerdo a las condiciones orográficas el tramo en estudio se clasifica como tipo 3 (accidentado) y tipo 4 (escarpado), con un ancho de vía existente de 4.5m a 5.5m

3.1.7. Velocidad directriz

El sector es sinuoso, por lo que se aprecia una menor velocidad de operación de los vehículos, se recomienda emplear una velocidad de 30 km/h, como velocidad de diseño, más aun considerando que el diseño geométrico de la vía para dicha velocidad directriz no representara gran movimiento de tierras (EDI Aprobado).

3.1.8. Ecuaciones de empalme

En el sector de estudio se han considerado 5 Ecuaciones de empalme:

Figura 30

Diseño vial en Civil 3D 2021

Station equations				
Equation	Raw Station Back	Station Back	Station Ahead	Increase/Decrease
1	32+221.45m	32+221.45m	32+220.00m	Increasing
2	32+581.45m	32+580.00m	32+599.83m	Increasing
3	32+807.85m	32+826.23m	32+830.00m	Increasing
4	34+035.05m	34+057.20m	34+060.00m	Increasing
5	36+115.05m	36+140.00m	36+179.90m	Increasing

Nota: Autoría propia

3.1.9. Alineamiento Horizontal

La presencia de curvas con radios reducidos hace que los conductores de vehículos, sobre todo los de grandes dimensiones hagan maniobras exigidas para poder salvar dicha deficiencia en la carretera existente ocasionando que los vehículos que circulan en sentido contrario tengan que recostarse en un lado de la vía para poder permitirles el pase adecuado, obligando en muchos casos que los vehículos menores entren a las cunetas de tierra existentes ocasionando maniobras exigidas de parte de los conductores para poder salir de ellas (EDI Aprobado).

Tabla 23

Elementos de curvas horizontales aprobado

C.No	A.D.	R	PC	PI	PT	S.A.	P %
335	22°45'40"	60.00	31+945.176	31+957.253	31+969.011	1.3	6.5
336	25°3'17"	50.00	32+036.926	32+048.036	32+058.790	1.5	8.0
337	32°24'46"	47.00	32+117.842	32+131.502	32+144.430	1.6	8.0
338	56°55'50"	52.00	32+160.547	32+188.740	32+212.216	1.4	8.0
339	49°36'21"	40.00	32+267.784	32+286.269	32+302.416	1.8	8.0
340	140°37'2"	35.00	32+344.490	32+442.287	32+430.388	2.0	8.0

C.No	A.D.	R	PC	PI	PT	S.A.	P %
341	67°4'21"	30.00	32+474.152	32+494.036	32+509.271	2.4	8.0
342	43°43'20"	40.00	32+531.804	32+547.853	32+562.328	1.8	8.0
343	56°41'40"	40.00	32+620.692	32+642.272	32+660.272	1.8	8.0
344	90°0'0"	18.50	32+681.352	32+699.852	32+710.412	2.8	8.0
345	89°59'58"	18.50	32+710.412	32+728.912	32+739.471	2.8	8.0
346	77°40'27"	60.00	32+741.696	32+790.002	32+823.037	1.3	6.5
347	10°40'19"	60.00	32+843.790	32+849.394	32+854.966	1.3	6.5
348	5°52'45"	200.00	32+889.729	32+900.000	32+910.252	0.5	3.0
349	94°55'17"	21.00	32+962.315	32+985.201	32+997.105	2.8	8.0
350	90°12'13"	21.04	32+997.106	33+018.219	33+030.228	2.8	8.0
351	7°58'21"	150.00	33+064.839	33+075.292	33+085.711	0.6	4.0
352	25°50'56"	60.00	33+141.091	33+154.860	33+168.160	1.3	6.5
353	139°11'59"	30.00	33+204.560	33+285.227	33+277.445	2.4	8.0
354	14°1'51"	200.00	33+287.797	33+312.409	33+336.774	0.5	3.0
355	14°49'12"	100.00	33+388.717	33+401.723	33+414.583	0.8	5.0
356	22°6'33"	80.00	33+448.118	33+463.748	33+478.988	1.0	5.5
357	54°1'56"	80.00	33+511.782	33+552.572	33+587.225	1.0	5.5
358	58°4'15"	45.00	33+628.026	33+653.006	33+673.635	1.6	8.0
359	65°33'43"	50.00	33+676.366	33+708.565	33+733.580	1.5	8.0
360	30°31'60"	100.00	33+826.386	33+853.681	33+879.677	0.8	5.0
361	51°51'22"	40.00	33+896.676	33+916.123	33+932.879	1.8	8.0
362	29°24'51"	80.00	33+957.189	33+978.187	33+998.259	1.0	5.5
363	21°48'34"	80.00	34+020.154	34+035.566	34+050.606	1.0	5.5
364	99°55'14"	30.00	34+084.605	34+120.307	34+136.923	2.4	8.0
365	87°23'27"	35.00	34+172.499	34+205.941	34+225.883	2.0	8.0
366	104°24'10"	30.00	34+279.827	34+318.504	34+334.492	2.4	8.0
367	49°15'24"	30.00	34+353.743	34+367.496	34+379.533	2.4	8.0
368	97°14'51"	30.00	34+379.533	34+413.590	34+430.452	2.4	8.0
369	96°26'52"	30.00	34+440.653	34+474.234	34+491.153	2.4	8.0
370	16°48'3"	60.00	34+529.259	34+538.120	34+546.853	1.3	6.5
371	51°19'1"	40.00	34+607.756	34+626.971	34+643.582	1.8	8.0
372	23°31'47"	60.00	34+660.864	34+673.360	34+685.504	1.3	6.5
373	45°53'12"	40.00	34+707.115	34+724.047	34+739.150	1.8	8.0
374	44°49'30"	30.00	34+764.572	34+776.945	34+788.042	2.4	8.0
375	81°7'52"	30.00	34+830.839	34+856.521	34+873.319	2.4	8.0
376	76°47'23"	30.00	34+881.842	34+905.615	34+922.049	2.4	8.0
377	31°25'9"	50.00	34+938.695	34+952.758	34+966.113	1.5	8.0
378	46°19'20"	60.00	35+170.980	35+196.648	35+219.488	1.3	6.5
379	53°57'27"	40.00	35+253.982	35+274.345	35+291.652	1.8	8.0
380	20°50'33"	50.00	35+323.091	35+332.287	35+341.279	1.5	8.0
381	61°40'37"	30.00	35+354.477	35+372.388	35+386.771	2.4	8.0
382	51°32'39"	47.00	35+411.870	35+434.562	35+454.152	1.6	8.0

C.No	A.D.	R	PC	PI	PT	S.A.	P %
383	53°9'46"	35.00	35+533.242	35+550.755	35+565.718	2.0	8.0
384	48°3'31"	80.00	35+581.608	35+617.275	35+648.710	1.0	5.5
385	43°41'34"	60.00	35+660.152	35+684.207	35+705.908	1.3	6.5
386	85°26'38"	30.00	35+740.355	35+768.060	35+785.094	2.4	8.0
387	71°34'20"	30.00	35+793.774	35+815.400	35+831.249	2.4	8.0
388	114°52'22"	45.00	35+911.292	35+981.755	36+001.512	1.6	8.0
389	88°30'35"	23.50	36+031.138	36+054.035	36+067.441	2.8	8.0
390	85°47'41"	25.00	36+068.299	36+091.528	36+105.734	2.8	8.0
391	18°24'40"	60.00	36+216.419	36+226.143	36+235.699	1.3	6.5
392	112°27'11"	29.00	36+261.435	36+304.799	36+318.353	2.4	8.0
393	112°2'38"	29.00	36+318.398	36+361.428	36+375.109	2.4	8.0
394	103°16'41"	30.00	36+379.250	36+417.154	36+433.326	2.4	8.0
395	143°50'9"	30.00	36+444.246	36+536.128	36+519.558	2.4	8.0
396	169°49'18"	30.00	36+522.641	36+859.504	36+611.559	2.4	8.0
397	57°43'3"	40.00	36+627.547	36+649.590	36+667.841	1.8	8.0
398	81°21'15"	30.00	36+677.537	36+703.320	36+720.134	2.4	8.0
399	146°32'31"	15.25	36+723.673	36+774.410	36+762.677	2.8	8.0
400	45°47'58"	18.00	36+764.990	36+772.594	36+779.379	2.8	8.0
401	53°9'2"	30.00	36+819.337	36+834.344	36+847.166	2.4	8.0
402	63°29'13"	30.00	36+885.683	36+904.243	36+918.925	2.4	8.0
403	71°58'18"	30.00	36+936.335	36+958.120	36+974.019	2.4	8.0
404	99°7'14"	18.00	36+996.862	37+017.983	37+028.002	2.8	8.0

Nota: EDI Aprobado

3.1.10. Ancho de carril

Los principales efectos del ancho de los carriles sobre la seguridad vial están ligados a la separación entre vehículos que se cruzan o que desarrollan adelantamiento al circular en el mismo sentido y la facilidad de efectuar maniobras peligrosas, asociadas a la pérdida de control de vehículo.

De acuerdo con las características geométricas de la carretera, se elige el ancho de calzada 6.60 m con dos (02) carriles de 3.30 m cada uno, con lo que se cumple el requerimiento mínimo del ancho de vía en la sección transversal.

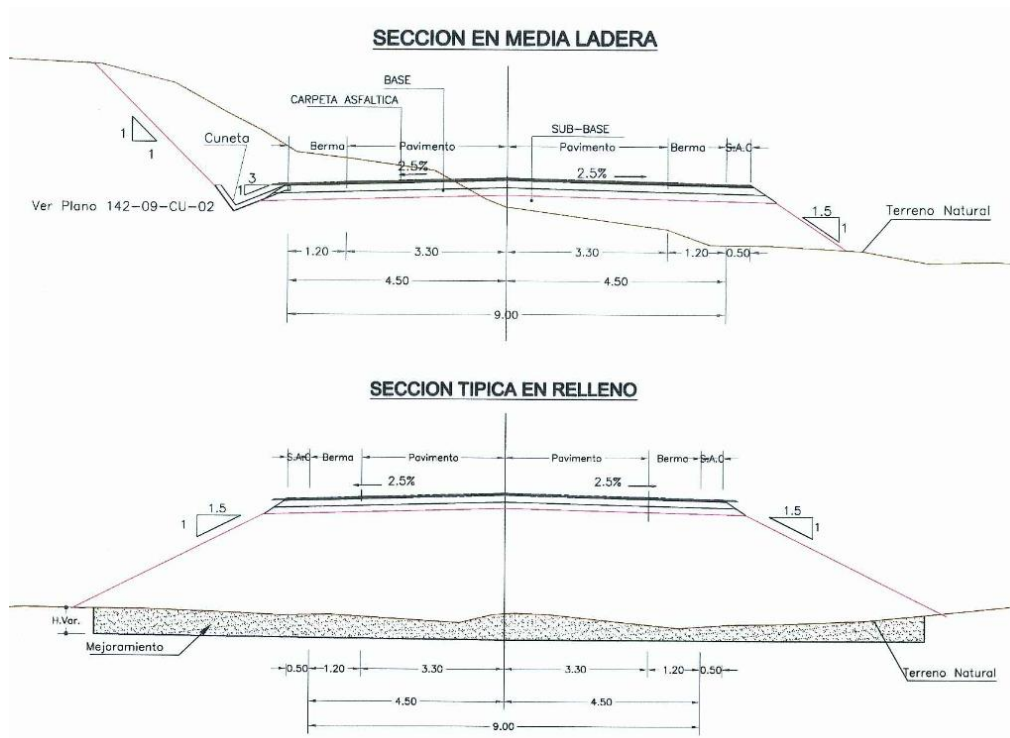
3.1.11. Ancho de berma

Las principales razones por las que se recomienda un ancho de bermas son las siguientes: el conductor no tiene temor a orillarse; se aumenta la separación entre 2 vehículos que se cruzan; se reduce la influencia de los vehículos estacionados; la salida de la calzada no es necesariamente trágica y se obtiene mayor seguridad en el acceso y salida de los vehículos.

Para este proyecto se toma un ancho de berma de 1.20m en ambos sentidos, debido a que las velocidades de diseño son menores a 40 km/h (EDI Aprobado).

Figura 31

Sección típica aprobada



Nota: (EDI Aprobado).

3.1.12. Pendiente transversal

La carpeta de rodadura tendrá un bombeo de 2.5% hacia ambos lados para facilitar el drenaje transversal de la plataforma en los tramos de tangente, para los tramos en curva se considera un peralte máximo de 8.0% (EDI Aprobado).

3.1.13. Geometría del perfil longitudinal:

Las curvas verticales en el presente estudio han sido proyectadas de modo que permitan, cuando menos, la distancia de visibilidad mínima de parada. El valor mínimo adoptado para la longitud de dichas curvas es de 80 m para las convexas y 100 m para las cóncavas (EDI Aprobado).

En el presente estudio se ha utilizado una pendiente longitudinal mínima de 0.5% para garantizar el drenaje y una pendiente máxima de 9.0%, siendo la máxima absoluta de 10%.

Tabla 24

Elementos de curvas verticales

PVI	Estación	Elevación (m)	Pendiente (%)	L.C. (m)	A	K	Type
1	31+920.00	2642.544	12.52				
2	32+010.00	2653.814	5.35	50	7.17	6.97	Convexa
3	32+105.00	2658.894	8.82	47.3	3.47	13.63	Concava
4	32+241.04	2671.025	8.92	0	0.10	0.00	
5	32+400.00	2685.204	7.27	50	1.65	30.30	Convexa
6	32+500.00	2692.474	9.68	50	2.41	20.75	Concava
7	32+715.00	2711.364	8.83	70	0.85	82.35	Convexa
8	32+966.15	2733.204	5.49	60	3.34	17.96	Convexa

PVI	Estación	Elevación (m)	Pendiente (%)	L.C. (m)	A	K	Type
9	33+145.21	2743.034	10.73	50	5.24	9.54	Concava
10	34+225.21	2858.664	-0.84	200	11.57	17.29	Convexa
11	34+700.21	2854.684	-6.9	120	6.06	19.80	Convexa
12	34+870.21	2842.954	-4.02	50	2.88	17.36	Concava
13	34+915.21	2841.143	-7.52	30	3.50	8.57	Convexa
14	34+950.21	2838.51	3.13	30	10.65	2.82	Concava
15	34+980.21	2839.45	-7.49	30	10.62	2.82	Convexa
16	35+025.21	2836.081	-4.93	50	2.56	19.53	Concava
17	35+220.21	2826.464	-7.51	50	2.58	19.38	Convexa
18	35+490.21	2806.184	1.08	50	8.59	5.82	Concava
19	35+755.21	2809.034	-7.31	100	8.39	11.92	Convexa
20	36+025.21	2789.294	-8.97	50	1.66	30.12	Convexa
21	36+320.21	2766.404	-6.38	50	2.59	19.31	Concava
22	36+718.35	2741.002	-4.11	50	2.27	22.03	Concava
23	36+903.35	2733.392	-6.64	50	2.53	19.76	Convexa
24	37+100.00	2720.344					

Nota: Autoría propia

3.1.14. Características geométricas de diseño:

Las características geométricas de diseño del camino fueron determinadas a partir del Manual de Diseño de Carreteras (DG 2001), en función de la velocidad directriz de diseño.

Tabla 25

Parámetros del Diseño vial aprobado

CARACTERISTICAS	
Según su Demanda	Carretera de Segunda Clase
Según su Orografía	Tipo 3 y 4
Velocidad Directriz	30 Km/h
Ancho de Calzada	6.60 m
Ancho de Bermas	1.20 m a cada lado

CARACTERISTICAS

Bombeo	2.50%
Pendiente Máxima $\leq 3,000$ msnm	9%
Radio Mínimo	25 m.
Radio de Curva de Vuelta	20 m
Peralte máximo	8%
Sobreechanco de Compactación	0.50 m (solo lado en relleno)
Sobreechanco máximo	2.80 m

Nota: (EDI Aprobado).

3.1.15. Evaluación del incumplimiento normativo

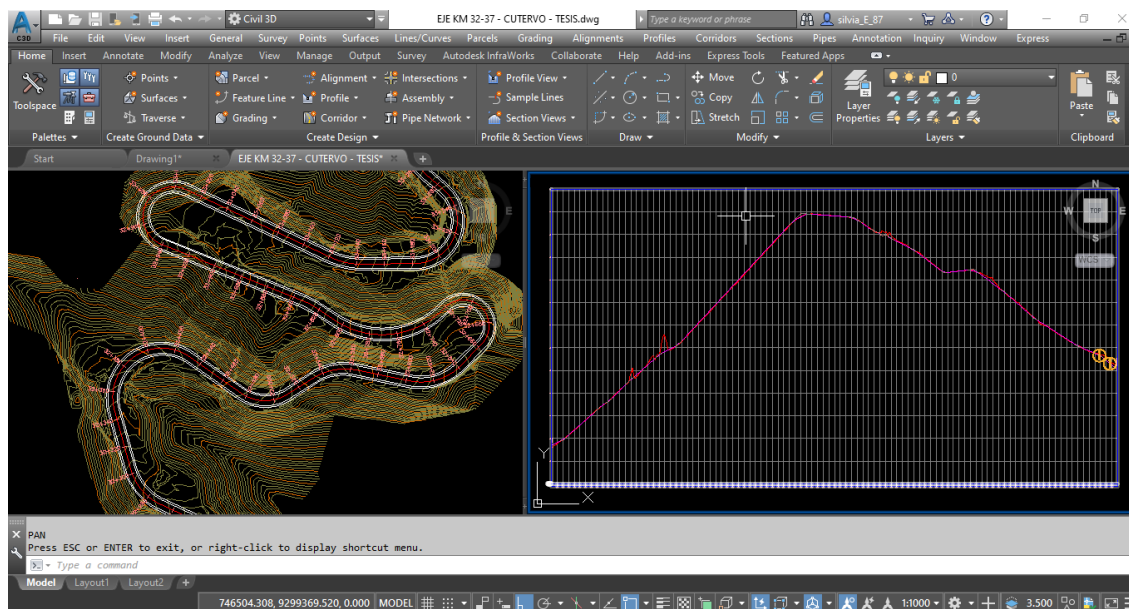
Se realizó una verificación del diseño vial aprobado y comprobar si los parámetros cumplen con lo señalado en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018.

Con la información recopilada, se procedió a reconstruir el proyecto aprobado mediante la plataforma de diseño vial CIVIL-3D versión 2021. Se inició con la creación de la superficie del terreno, luego se ingresaron los parámetros para la creación del alineamiento horizontal y una vez obtenido el eje, se procedió a crear el perfil longitudinal de la vía, en la cual se ingresaron los valores del alineamiento vertical, para obtener el diseño de la subrasante de la vía, para concluir, se ingresaron los datos necesarios para crear el Corredor, el cual contiene los valores de ancho de carril y berma, bombeo, peralte, sobreechanco, cunetas, taludes, pavimento.

Este diseño debe ser exportado en formato XML, para poder ser ingresado posteriormente en la herramienta de evaluación IHSDM.

Figura 32

Diseño vial en Civil 3D 2021



Nota: Autoría propia

a) Radio mínimo de curva horizontal:

Se registró que 10 curvas de las 70 que se encuentran entre los km 32 al 37, tienen valores inferiores al radio mínimo. Como se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 26

Radios de curvatura insuficiente

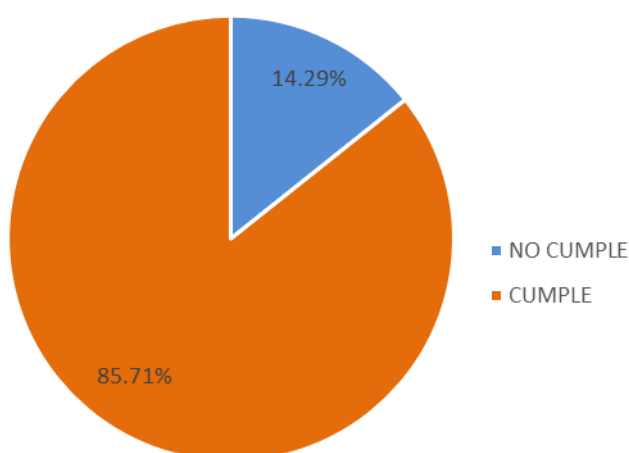
ITEM	PK	INFORMACIÓN	PARÁMETROS
1	32+338.42	Radio INSUFICIENTE R=-18.4	Rmin 25
2	32+367.50	Radio INSUFICIENTE R=-18.4	Rmin 25
3	32+618.92	Radio INSUFICIENTE R=21.0	Rmin 25
4	32+652.46	Radio INSUFICIENTE R=21.0	Rmin 25
5	35+685.25	Radio INSUFICIENTE R=-23.5	Rmin 25
6	35+722.97	Radio INSUFICIENTE R=-25.0	Rmin 25
7	36+339.23	Radio INSUFICIENTE R=15.2	Rmin 25
8	36+368.24	Radio INSUFICIENTE R=18.0	Rmin 25

ITEM	PK	INFORMACIÓN	PARÁMETROS
9	36+608.49	Radio INSUFICIENTE R=-18.0	Rmin 25
10	36+640.46	Radio INSUFICIENTE R=-18.0	Rmin 25

Nota: Autoría propia

Figura 33

Porcentaje de cumplimiento normativo - Radios de curvatura



Nota: Autoría propia

b) Coordinación entre curvas circulares:

Se realizó la revisión de las curvas horizontales, proporcionando una sucesión de curvas con radios gradualmente decrecientes, se consideró como criterio una diferencia de 25 metros entre radios de las curvas; de los cuales 18 de las 70 curvas "NO CUMPLEN".

Tabla 27
Diferencia de radios de curvas

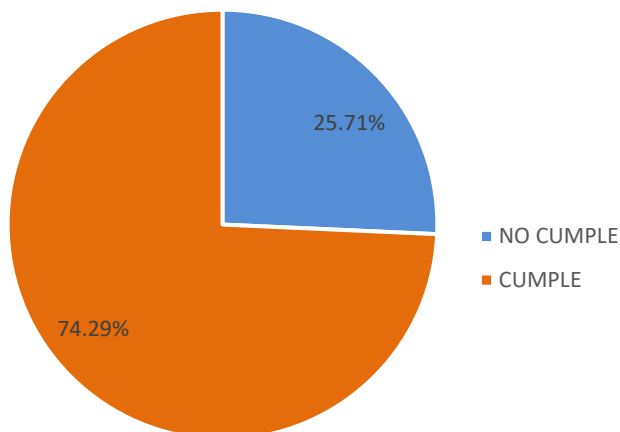
# CURVA	RADIO	# CURVA	RADIO	DIFERENCIA	COMENTARIO
334	50.00	335	60.00	10.00	CUMPLE
335	60.00	336	50.00	10.00	CUMPLE
336	50.00	337	47.00	3.00	CUMPLE
337	47.00	338	52.00	5.00	CUMPLE
338	52.00	339	40.00	12.00	CUMPLE
339	40.00	340	35.00	5.00	CUMPLE
340	35.00	341	30.00	5.00	CUMPLE
341	30.00	342	40.00	10.00	CUMPLE
342	40.00	343	40.00	0.00	CUMPLE
343	40.00	344	18.50	21.50	CUMPLE
344	18.50	345	18.50	0.00	CUMPLE
345	18.50	346	60.00	41.50	NO CUMPLE
346	60.00	347	60.00	0.00	CUMPLE
347	60.00	348	200.00	140.00	NO CUMPLE
348	200.00	349	21.00	179.00	NO CUMPLE
349	21.00	350	21.04	0.04	CUMPLE
350	21.04	351	150.00	128.96	NO CUMPLE
351	150.00	352	60.00	90.00	NO CUMPLE
352	60.00	353	30.00	30.00	NO CUMPLE
353	30.00	354	200.00	170.00	NO CUMPLE
354	200.00	355	100.00	100.00	NO CUMPLE
355	100.00	356	80.00	20.00	CUMPLE
356	80.00	357	80.00	0.00	CUMPLE
357	80.00	358	45.00	35.00	NO CUMPLE
358	45.00	359	50.00	5.00	CUMPLE
359	50.00	360	100.00	50.00	NO CUMPLE
360	100.00	361	40.00	60.00	NO CUMPLE
361	40.00	362	80.00	40.00	NO CUMPLE
362	80.00	363	80.00	0.00	CUMPLE
363	80.00	364	30.00	50.00	NO CUMPLE
364	30.00	365	35.00	5.00	CUMPLE
365	35.00	366	30.00	5.00	CUMPLE
366	30.00	367	30.00	0.00	CUMPLE
367	30.00	368	30.00	0.00	CUMPLE
368	30.00	369	30.00	0.00	CUMPLE
369	30.00	370	60.00	30.00	NO CUMPLE
370	60.00	371	40.00	20.00	CUMPLE
371	40.00	372	60.00	20.00	CUMPLE

# CURVA	RADIO	# CURVA	RADIO	DIFERENCIA	COMENTARIO
372	60.00	373	40.00	20.00	CUMPLE
373	40.00	374	30.00	10.00	CUMPLE
374	30.00	375	30.00	0.00	CUMPLE
375	30.00	376	30.00	0.00	CUMPLE
376	30.00	377	50.00	20.00	CUMPLE
377	50.00	378	60.00	10.00	CUMPLE
378	60.00	379	40.00	20.00	CUMPLE
379	40.00	380	50.00	10.00	CUMPLE
380	50.00	381	30.00	20.00	CUMPLE
381	30.00	382	47.00	17.00	CUMPLE
382	47.00	383	35.00	12.00	CUMPLE
383	35.00	384	80.00	45.00	NO CUMPLE
384	80.00	385	60.00	20.00	CUMPLE
385	60.00	386	30.00	30.00	NO CUMPLE
386	30.00	387	30.00	0.00	CUMPLE
387	30.00	388	45.00	15.00	CUMPLE
388	45.00	389	23.50	21.50	CUMPLE
389	23.50	390	25.00	1.50	CUMPLE
390	25.00	391	60.00	35.00	NO CUMPLE
391	60.00	392	29.00	31.00	NO CUMPLE
392	29.00	393	29.00	0.00	CUMPLE
393	29.00	394	30.00	1.00	CUMPLE
394	30.00	395	30.00	0.00	CUMPLE
395	30.00	396	30.00	0.00	CUMPLE
396	30.00	397	40.00	10.00	CUMPLE
397	40.00	398	30.00	10.00	CUMPLE
398	30.00	399	15.25	14.75	CUMPLE
399	15.25	400	18.00	2.75	CUMPLE
400	18.00	401	30.00	12.00	CUMPLE
401	30.00	402	30.00	0.00	CUMPLE
402	30.00	403	30.00	0.00	CUMPLE
403	30.00	404	18.00	12.00	CUMPLE

Nota: Autoría propia

Figura 34

Porcentaje de cumplimiento normativo - Diferencia de radios de curvas



Nota: Autoría propia

c) Tramos en tangentes:

En la tabla 24 se registró que 40 curvas en “S” se encuentran entre los km 32 al 37, tienen valores inferiores a la longitud mínima de tangencia entre curvas sucesivas de diferente sentido. Como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 28

Longitud de tangente entre curvas en “S”

ITEM	PK	INFORMACIÓN	PARÁMETROS
1	32+182.89	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=22.5 < 42$	$LRS_{min} 1.39 * V_p$
2	32+243.95	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=38.5 < 42$	$LRS_{min} 1.39 * V_p$
3	32+383.13	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=2.3 < 42$	$LRS_{min} 1.39 * V_p$
4	32+474.08	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=16.9 < 42$	$LRS_{min} 1.39 * V_p$
5	32+921.38	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=10.4 < 42$	$LRS_{min} 1.39 * V_p$
6	33+070.10	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=33.5 < 42$	$LRS_{min} 1.39 * V_p$

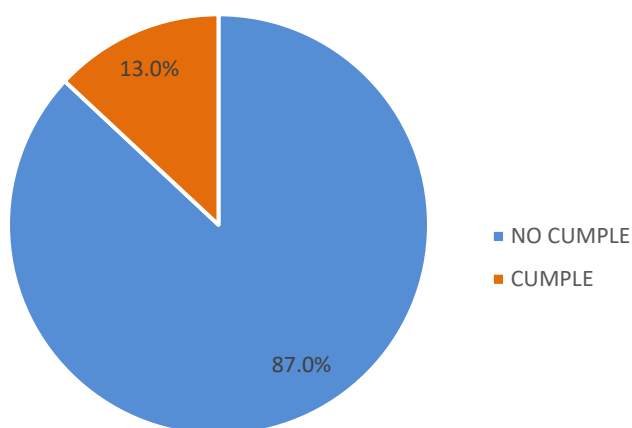
ITEM	PK	INFORMACIÓN	PARÁMETROS
7	33+134.14	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=32.8 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
8	33+246.38	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=40.8 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
10	33+313.75	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=2.7 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
11	33+583.79	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=24.3 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
12	33+704.96	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=31.2 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
13	33+980.07	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=19.3 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
14	34+071.51	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=10.2 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
15	34+288.18	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=17.3 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
16	34+332.27	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=21.6 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
17	34+387.82	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=25.4 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
18	34+513.54	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=8.5 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
19	34+566.33	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=16.6 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
20	34+872.69	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=34.5 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
21	34+983.83	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=13.2 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
22	35+035.28	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=25.1 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
23	35+209.62	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=15.9 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
24	35+290.39	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=11.4 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
25	35+425.39	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=8.7 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
26	35+652.28	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=29.6 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
27	35+844.62	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=25.7 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
28	35+973.24	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=4.1 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
29	36+034.84	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=10.9 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
30	36+117.16	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=3.1 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
31	36+215.61	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=16.0 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
32	36+268.75	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=9.7 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
33	36+317.96	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=3.5 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
34	36+395.41	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=40.0 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
35	36+523.69	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=17.4 < 42	LRSmin 1.39 * Vp
36	36+581.50	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE l=22.8 < 42	LRSmin 1.39 * Vp

ITEM	PK	INFORMACIÓN	PARÁMETROS
37	36+816.06	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=26.9 < 42$	LRSmin 1.39 * Vp
38	36+879.23	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=17.4 < 42$	LRSmin 1.39 * Vp
39	36+919.51	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=18.0 < 42$	LRSmin 1.39 * Vp
40	36+991.26	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=9.8 < 42$	LRSmin 1.39 * Vp

Nota: Autoría propia

Figura 35

Cumplimiento normativo - Longitud de tangente entre curvas en "S"



Nota: Autoría propia

d) Longitud mínima de tangente en curvas "O":

En la tabla 25 se registró que 18 curvas en "O" que se encuentran entre los km 32 al 37, tienen valores inferiores a la longitud mínima de tangencia entre curvas sucesivas del mismo sentido. Como se puede apreciar en la siguiente tabla:

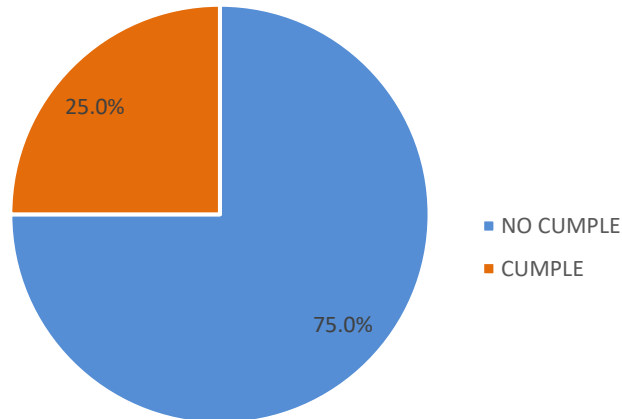
Tabla 29
Longitud de tangente entre curvas en "O"

ITEM	PK	INFORMACIÓN	PARÁMETROS
1	32+313.36	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=21.1 < 84$	LROmin 2.78 * Vp
2	32+352.96	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=0.1 < 84$	LROmin 2.78 * Vp
3	32+636.33	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=0.0 < 84$	LROmin 2.78 * Vp
4	32+825.11	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=36.4 < 84$	LROmin 2.78 * Vp
5	33+526.93	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=17.0 < 84$	LROmin 2.78 * Vp
6	33+647.96	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=21.9 < 84$	LROmin 2.78 * Vp
7	33+790.67	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=35.6 < 84$	LROmin 2.78 * Vp
8	34+146.16	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=38.1 < 84$	LROmin 2.78 * Vp
9	34+213.26	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=60.9 < 84$	LROmin 2.78 * Vp
10	34+943.33	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=31.4 < 84$	LROmin 2.78 * Vp
11	35+359.09	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=34.4 < 84$	LROmin 2.78 * Vp
12	35+507.23	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=80.0 < 84$	LROmin 2.78 * Vp
13	35+703.83	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=0.9 < 84$	LROmin 2.78 * Vp
14	35+777.08	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=70.8 < 84$	LROmin 2.78 * Vp
15	35+914.43	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=0.0 < 84$	LROmin 2.78 * Vp
16	36+359.89	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=2.3 < 84$	LROmin 2.78 * Vp
17	36+462.48	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=38.5 < 84$	LROmin 2.78 * Vp
18	36+624.35	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=0.6 < 84$	LROmin 2.78 * Vp

Nota: Autoría propia

Figura 36

Cumplimiento normativo - Longitud de tangente entre curvas en "O"



Nota: Autoría propia

e) Longitud máxima:

De lo evaluado se pudo observar que el 100% de los tramos en tangente cumplen con lo establecido en la norma. Lo que se puede apreciar en la tabla 26.

Tabla 30

Longitud máxima

INICIO	FIN	LONGITUD MAXIMA
32+000	37+000	SI CUMPLE

Nota: Autoría propia

f) Longitud de transición:

El diseño aprobado no considera transiciones de espirales en las curvas horizontales, por tal motivo no se realizó la evaluación.

g) Sobreancho:

De lo evaluado se pudo observar que el 100% de los tramos en curvas cumplen con lo establecido en la norma. Lo que se puede apreciar en la tabla 27.

Tabla 31
Sobreanchos

INICIO	FIN	LONG	NUMERO DE CURVAS	SOBREANCHO
32+000	37+000	5,000	73.00	SI CUMPLE

Nota: Autoría propia

h) Distancia de Visibilidad:

La distancia de visibilidad se ha calculado con el Civil 3D, los valores han sido calculados en base a la velocidad de diseño. En la tabla 28 se muestran los valores.

Tabla 32

Distancia de visibilidad de parada carril izq.

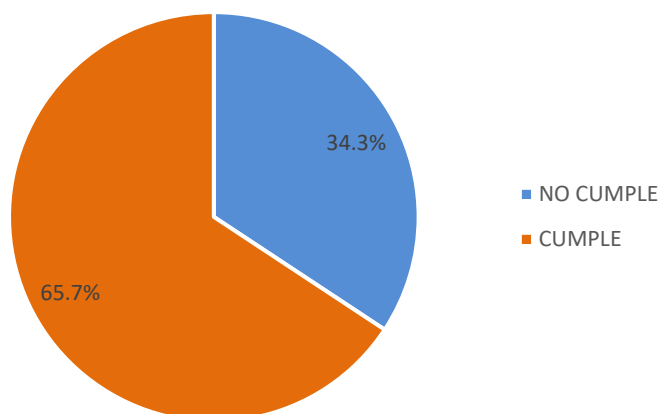
CARRIL IZQ				
INICIO	FIN	LONG	VISIBILIDAD ACTUAL	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA
32+465	32+485	20	46.17	NO CUMPLE
32+650	32+690	40	39.85	NO CUMPLE
32+930	32+980	50	46.78	NO CUMPLE
33+180	33+225	45	42.62	NO CUMPLE
34+415	34+435	20	46.98	NO CUMPLE
34+935	34+955	20	44.59	NO CUMPLE
35+710	35+735	25	39.79	NO CUMPLE

CARRIL IZQ				
INICIO	FIN	LONG	VISIBILIDAD ACTUAL	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA
36+000	36+065	65	41.13	NO CUMPLE
36+465	36+525	60	45.92	NO CUMPLE
36+670	36+700	30	47.64	NO CUMPLE
36+820	36+840	20	45.80	NO CUMPLE
36+925	36+985	60	36.35	NO CUMPLE

Nota: Autoría propia

Figura 37

Cumplimiento normativo - Distancia de visibilidad de parada carril izq.



Nota: Autoría propia

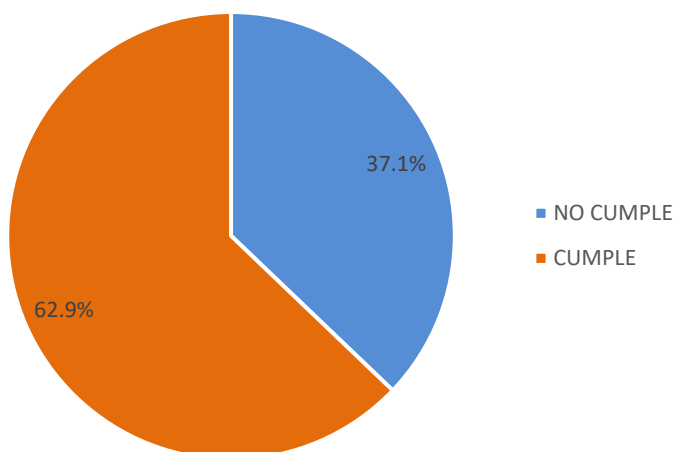
Tabla 33
Distancia de visibilidad de parada carril der.

CARRIL DER				
INICIO	FIN	LONG	VISIBILIDAD ACTUAL	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA
32+340	32+385	45	46.62	NO CUMPLE
32+920	32+980	60	38.35	NO CUMPLE
34+055	34+075	20	45.85	NO CUMPLE
34+335	34+370	35	44.70	NO CUMPLE
34+855	34+875	20	45.12	NO CUMPLE
34+930	34+950	20	39.15	NO CUMPLE
35+380	35+405	25	44.21	NO CUMPLE
35+890	35+950	60	46.77	NO CUMPLE
36+190	36+285	95	43.65	NO CUMPLE
36+375	36+425	50	45.07	NO CUMPLE
36+655	36+700	45	40.30	NO CUMPLE
36+865	36+890	25	45.50	NO CUMPLE
36+925	36+980	55	44.79	NO CUMPLE

Nota: Autoría propia

Figura 38

Cumplimiento normativo - Distancia de visibilidad de parada carril der.



Nota: Autoría propia

i) Curvas verticales (K):

Se verifico que 2 segmentos del perfil longitudinal no cumplen con el valor de “K” indicado en la norma.

Tabla 34

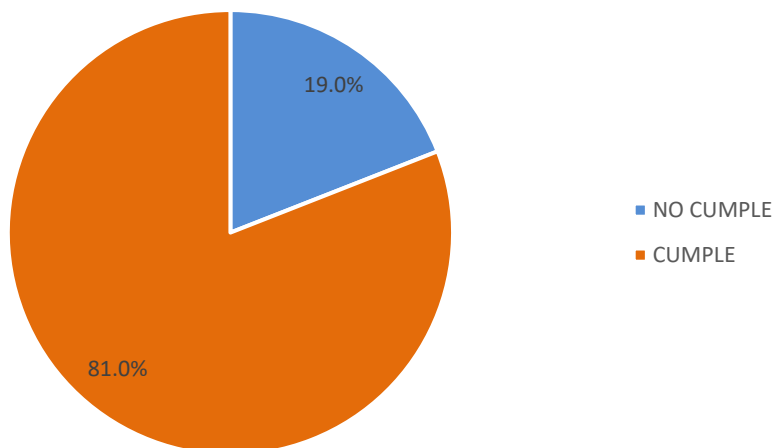
Parámetro de curvatura “K”

PVI	Estación	Elevación (m)	Pendiente (%)	L.C. (m)	A	K	Type
13	34+915.21	2841.143	-7.52	30	3.50	8.57	Convexa
14	34+950.21	2838.51	3.13	30	10.65	2.82	Cóncava
17	35+220.21	2826.464	-7.51	50	2.58	19.38	Convexa
18	35+490.21	2806.184	1.08	50	8.59	5.82	Cóncava

Nota: Autoría propia

Figura 39

Cumplimiento normativo - Parámetro de curvatura "K"



Nota: Autoría propia

j) Longitud de curvas cóncavas y convexas:

Por criterio de seguridad, para todo tipo de curvas (cóncavas y convexas) la longitud de la curva debe ser mayor p igual a la distancia de parada en todo su desarrollo. Se verifico de la Tabla 35, hay 3 longitudes de curvas que NO CUMPLEN.

Tabla 35

Longitud de curvas cóncavas y convexas

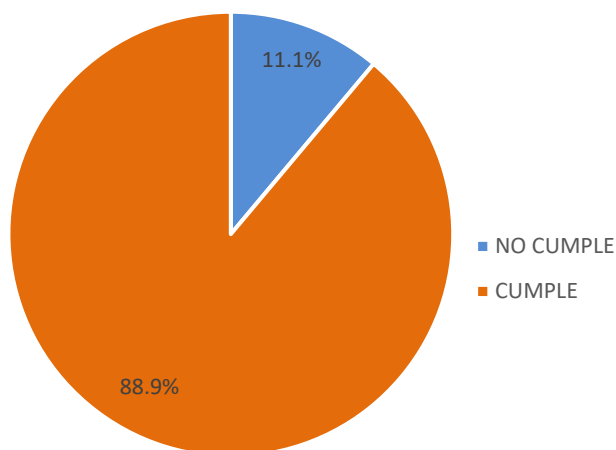
PVI	Estación (Km)	Pendiente (%)	L.C. (m)	Type	Dp	Dp < Lv
1	31+920.00	12.52			40.00	
2	32+010.00	5.35	50	Convexa	40.00	CUMPLE
3	32+105.00	8.82	47.3	Cóncava	40.00	CUMPLE
4	32+400.00	7.27	50	Convexa	40.00	CUMPLE
5	32+500.00	9.68	50	Cóncava	40.00	CUMPLE
6	32+715.00	8.83	70	Convexa	40.00	CUMPLE
7	32+966.15	5.49	60	Convexa	40.00	CUMPLE

PVI	Estación (Km)	Pendiente (%)	L.C. (m)	Type	Dp	Dp < Lv
1	31+920.00	12.52			40.00	
8	33+145.21	10.73	50	Cóncava	40.00	CUMPLE
9	34+225.21	-0.84	200	Convexa	40.00	CUMPLE
10	34+700.21	-6.9	120	Convexa	40.00	CUMPLE
11	34+870.21	-4.02	50	Cóncava	40.00	CUMPLE
12	34+915.21	-7.52	30	Convexa	40.00	NO CUMPLE
13	34+950.21	3.13	30	Cóncava	40.00	NO CUMPLE
14	34+980.21	-7.49	30	Convexa	40.00	NO CUMPLE
15	35+025.21	-4.93	50	Convexa	40.00	CUMPLE
16	35+220.21	-7.51	50	Convexa	40.00	CUMPLE
17	35+490.21	1.08	50	Convexa	40.00	CUMPLE
18	35+755.21	-7.31	100	Convexa	40.00	CUMPLE
19	36+025.21	-8.97	50	Convexa	40.00	CUMPLE
20	36+320.21	-6.38	50	Cóncava	40.00	CUMPLE
21	36+718.35	-4.11	50	Cóncava	40.00	CUMPLE
22	36+903.35	-6.64	50	Convexa	40.00	CUMPLE
23	37+100.00				40.00	

Nota: Autoría propia

Figura 40

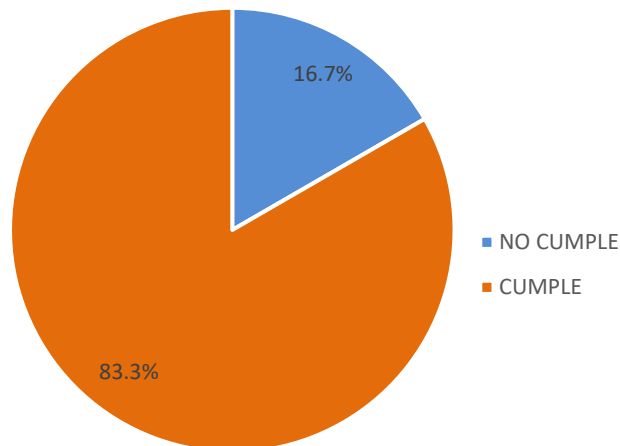
Cumplimiento normativo - Longitud de curvas cóncavas.



Nota: Autoría propia

Figura 41

Cumplimiento normativo - Longitud de curvas convexas.



Nota: Autoría propia

k) Pendiente Máxima:

De la revisión se pudo observar que un tramo de la vía supera la pendiente máxima en una longitud mayor a un 1km.

Tabla 36

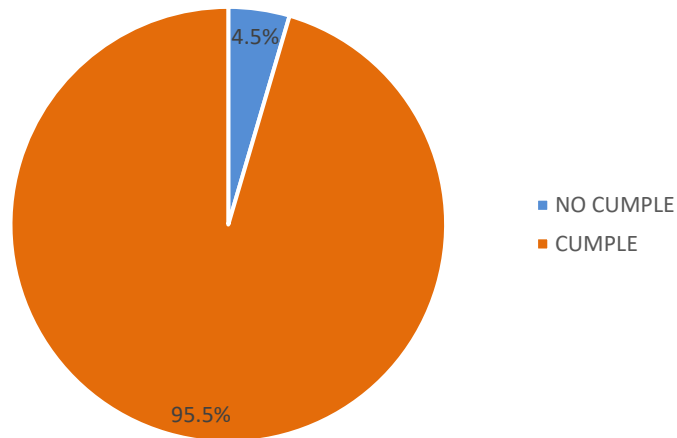
Pendiente máxima

PVI	Estación	Elevación (m)	Pendiente (%)	Type	Long. de S%
9	33+145.21	2743.034	10.73	Cóncava	179.07
10	34+225.21	2858.664	-0.84	Convexa	1,080.00

Nota: Autoría propia

Figura 42

Cumplimiento normativo - Pendiente máxima

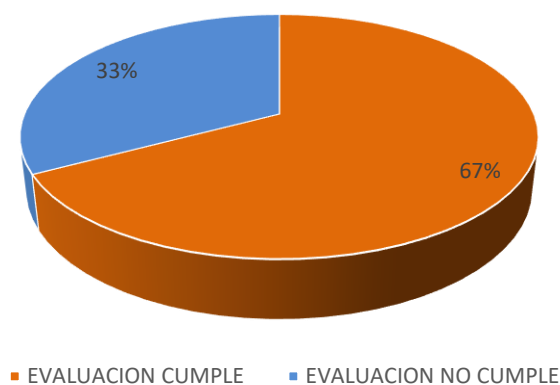


Nota: Autoría propia

Según se observa en la figura 44, los parámetros analizados de la carretera bajo estudio satisfacen el 67% de los requisitos establecidos por la normativa vigente, mientras que el 33% restante de las características contribuyen a su falta de seguridad. Esto se traduce en un 33% de influencia del incumplimiento normativo en la seguridad vial.

Figura 43

Porcentaje de parámetros según el cumplimiento normativo.



Nota: Autoría propia

3.2. Objetivo específico 2

Se han establecidos una serie de procedimientos:

- Recopilación de información de campo y gabinete.
- Revisión y análisis del diseño aprobado del expediente.
- Evaluación predictiva de accidentes con el IHSDM - Pre-Test
- Identificación de zonas de alta probabilidad de accidentes.
- Reportes y gráficos de resultados.

3.2.1. Tránsito vial

De acuerdo al EDI Aprobado se realizó el conteo vehicular para los años 2013 al 2033 de los cuales en nuestra investigación se utilizará los años del 2024 al 2026. En la Tabla 37 se presenta las proyecciones del tráfico.

Tabla 37

Proyecciones del tráfico

TRAFICO NORMAL	AÑO 2013	AÑO 2014	AÑO 2015	AÑO 2016	AÑO 2017	AÑO 2018	AÑO 2019	AÑO 2020	AÑO 2021	AÑO 2022	AÑO 2023	AÑO 2024	AÑO 2025	AÑO 2026	AÑO 2027	AÑO 2028	AÑO 2029	AÑO 2030	AÑO 2031	AÑO 2032	AÑO 2033
AUTO	19	20	21	23	24	25	27	29	30	32	34	36	38	41	43	46	48	51	54	57	61
STATION WAGON	39	41	44	46	49	52	55	59	62	66	70	74	78	83	88	93	99	105	111	118	125
CAMIONETA PICK UP	42	45	47	50	53	56	60	63	67	71	75	80	85	90	95	101	107	113	120	127	135
CAMIONETA PANEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAM RURAL	52	55	58	62	66	70	74	78	83	88	93	99	105	111	118	125	132	140	148	157	167
MICRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS	5	5	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13	14	14	15	16	17	18	19
CAMION 2E	3	35	37	39	42	44	47	50	53	56	59	63	66	70	75	79	84	89	94	100	106
CAMION 3E	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13
CAMION 4E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL TRAFICO GENERADO=0.20	195	206	218	232	247	260	278	294	311	330	349	371	392	417	442	468	495	525	555	589	625
AUTO	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12
STATION WAGON	8	8	9	9	10	10	11	12	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	24	25
CAMIONETA PICK UP	8	9	9	10	11	11	12	13	13	14	15	16	17	18	19	20	21	23	24	25	27
CAMIONETA PANEL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CAM RURAL	10	11	12	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	24	25	26	28	30	31	33
MICRO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BUS	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4
CAMION 2E	7	7	7	8	8	9	9	10	11	11	12	13	13	14	15	16	17	18	19	20	21
CAMION 3E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3

TRAFICO NORMAL	AÑO 2013	AÑO 2014	AÑO 2015	AÑO 2016	AÑO 2017	AÑO 2018	AÑO 2019	AÑO 2020	AÑO 2021	AÑO 2022	AÑO 2023	AÑO 2024	AÑO 2025	AÑO 2026	AÑO 2027	AÑO 2028	AÑO 2029	AÑO 2030	AÑO 2031	AÑO 2032	AÑO 2033
CAMION 4E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SEMI TRAYLER	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	39	41	44	46	49	52	56	59	62	66	70	74	78	83	88	94	99	105	111	118	125
TRAFICO TOTAL																					
AUTO	23	24	25	28	29	30	32	35	36	38	41	43	46	49	52	55	58	61	65	68	73
STATION WAGON	47	48	53	55	59	62	66	71	74	79	84	89	94	100	106	112	119	126	133	142	150
CAMIONETA PICK UP	50	54	56	60	64	67	72	76	80	85	90	96	102	108	114	121	128	136	144	152	162
CAMIONETA PANEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAM RURAL	62	66	70	74	79	84	89	94	100	106	112	119	126	133	142	150	158	168	178	188	200
MICRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS	7	7	8	8	10	10	11	11	12	12	13	13	14	16	17	17	18	19	20	22	23
CAMION 2E	40	42	44	47	50	53	56	60	64	67	71	76	79	84	90	95	101	107	113	120	127
CAMION 4E	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	10	10	11	11	12	12	13	13	14	16
SEMI TRAYLER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARTICULADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	234	247	262	278	295	312	334	353	373	396	419	445	470	500	530	562	594	630	666	707	751

Nota: Recuperado de Expediente definitivo de ingeniería Aprobado EDI.

3.2.2. Densidad de accesos

A lo largo del sector en estudio se han encontrado 1 accesos que son usados por los pobladores y su ganado para entrar o salir de la carretera.

3.2.3. Banda sonora central:

A lo largo del sector en estudio no se han considerado estos dispositivos.

3.2.4. Carril de adelantamiento:

A lo largo del sector en estudio no se han considerado carriles de adelantamiento.

3.2.5. Carril de giro a la izquierda:

A lo largo del sector en estudio no se han considerado carriles de giro a la izquierda.

3.2.6. Índice de peligrosidad:

A lo largo del sector en estudio debido a la accidentada topografía, se considera un nivel de 7

3.2.7. Iluminación:

A lo largo del sector en estudio no se han considerado iluminación.

3.2.8. Regulación de velocidad automatizada:

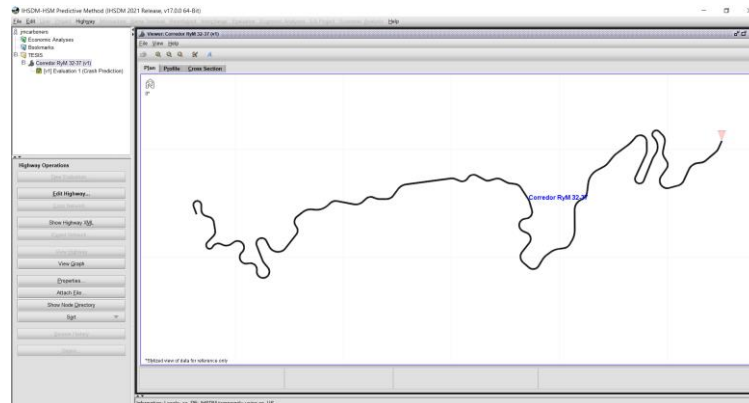
A lo largo del sector en estudio no se han considerado estos dispositivos.

3.2.9. Aplicación del módulo CPM del Software IHSDM

Lograr acatar los requerimientos del programa IHSDM implica alinear una información geométrica elemental con los diferentes aspectos geográficos y de infraestructura relacionado con el sitio, así como evidenciar la existencia de funciones de optimización de seguridad, esta configuración puede verse en el Anexo 04.

Figura 44

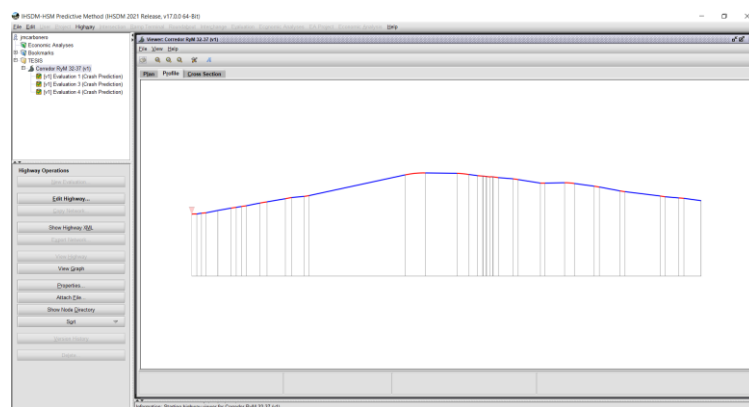
View Highway – Plan - IHSDM



Nota: Autoría propia

Figura 45

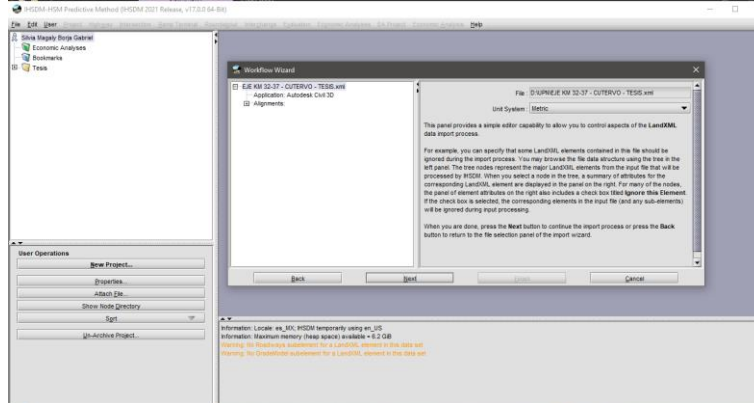
View Highway – Profile - IHSDM



Nota: Autoría propia

Primeros ingresamos el diseño geométrico a simular la seguridad vial, para eso tiene que tener todo el alineamiento horizontal, vertical y el diseño de las secciones en XML.

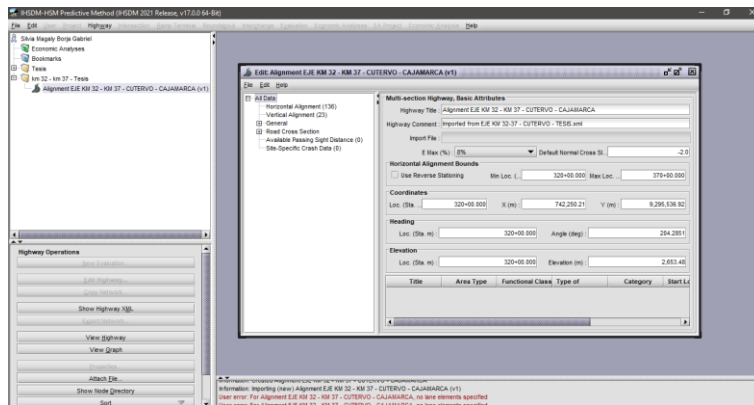
Figura 46
Evaluación mediante el software IHSDM



Nota: Autoría propia

Luego comprobamos que los valores cargados por defecto se encuentren correctos, como las progresivas de inicio y fin, coordenada de inicio, peralte máximo, etc.

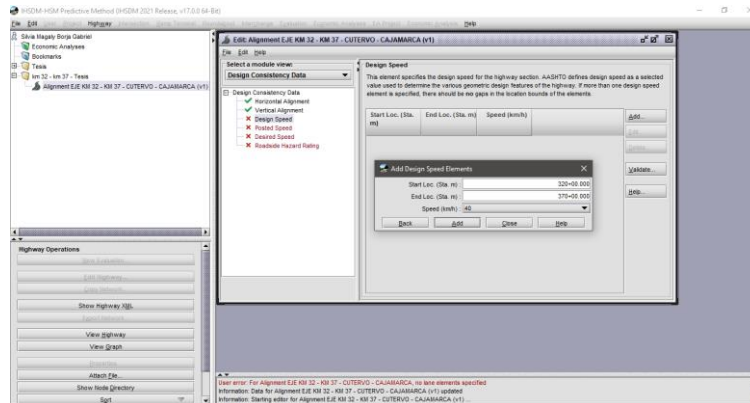
Figura 47
Evaluación mediante el software IHSDM



Nota: Autoría propia

Luego completamos manualmente aquellos valores que no hayan sido cargados automáticamente en la importación, como la velocidad de diseño.

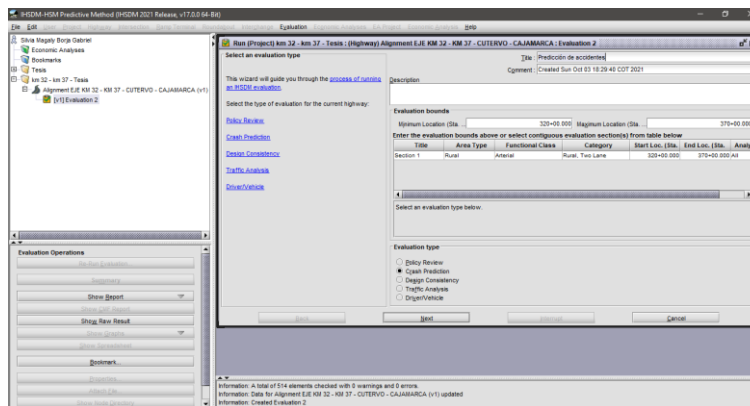
Figura 48
Evaluación mediante el software IHSDM



Nota: Autoría propia

Indicamos que requerimos una nueva evaluación, y seleccionamos en Type la opción “Crash Prediction”

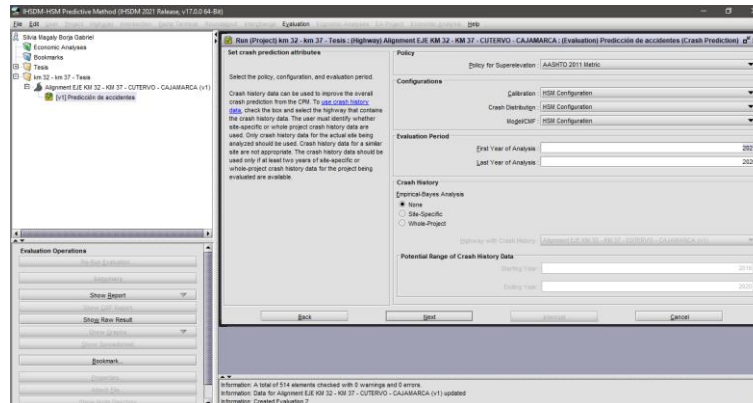
Figura 49
Evaluación mediante el software IHSDM



Nota: Autoría propia

Luego aparecen cargadas por defecto las configuraciones de base de datos del software, nos solicita que elijamos algún tipo de configuración que tengamos elaborada, como por ejemplo una distribución de accidentes, o una calibración para la zona de estudio.

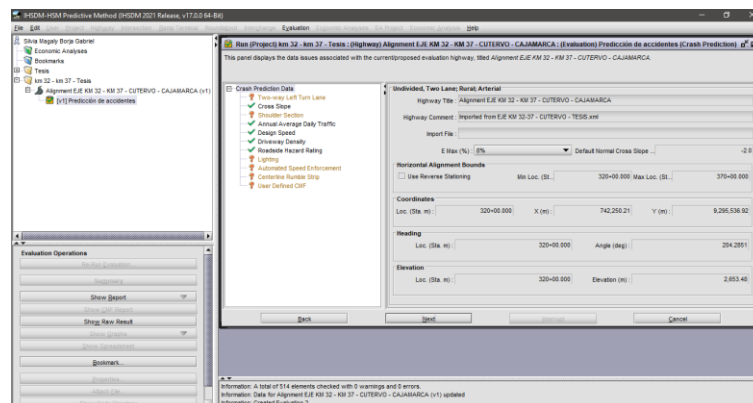
Figura 50
Evaluación mediante el software IHSDM



Nota: Autoría propia

Seguidamente debemos revisar que la información obligatoria solicitada se encuentre con Check Verde, la información no obligatoria se encuentra con signo de interrogación de color Ambar.

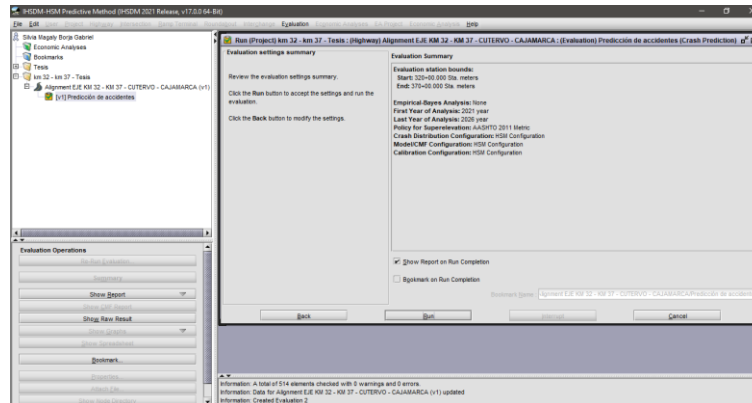
Figura 51
Evaluación mediante el software IHSDM



Nota: Autoría propia

Luego aparece una tabla de resumen de las configuraciones seleccionadas, hacemos clic en el botón RUN.

Figura 52
Evaluación mediante el software IHSDM



Nota: Autoría propia

Por último, luego de dejar que el programa cargue y procese la información, nos dará como resultado un reporte de la evaluación realizada, con los datos ingresados y las configuraciones seleccionadas. Ver Anexo 06

Figura 53

Report Overview – Software IHSDM

Report Overview

Report Generated: 28/07/2023 12:52 PM

Report Template: System: Single Page [System] (mlcpm3, 05/12/2019 03:16 PM)

Evaluation Date: Fri Jul 28 12:52:48 COT 2023

IHSDM Version: v17.0.0 (Sep 22, 2021)

Crash Prediction Module: v12.0.0 (Sep 22, 2021)

User Name: Silvia Magaly Borja Gabriel

Organization Name: UPN

Phone: N00054818

E-Mail: Tesis

Project Title: chiple cutervo km 32-37

Project Comment: km 32-37

Project Unit System: Metric

Highway Title: Corredor RyM 32-37

Highway Comment: Imported from RyM_32-37_IHSDM.xml

Highway Version: 1

Evaluation Title: Evaluation CPM 2

Evaluation Comment: Created Fri Jul 28 12:00:41 COT 2023

Minimum Location: 320+00.000

Maximum Location: 370+45.429(5)

Policy for Superelevation: AASHTO 2011 Metric

Calibration: HSM Configuration

Crash Distribution: HSM Configuration

Model/CMF: HSM Configuration

First Year of Analysis: 2024

Last Year of Analysis: 2026

Empirical-Bayes Analysis: None

First Year of Observed Crashes:

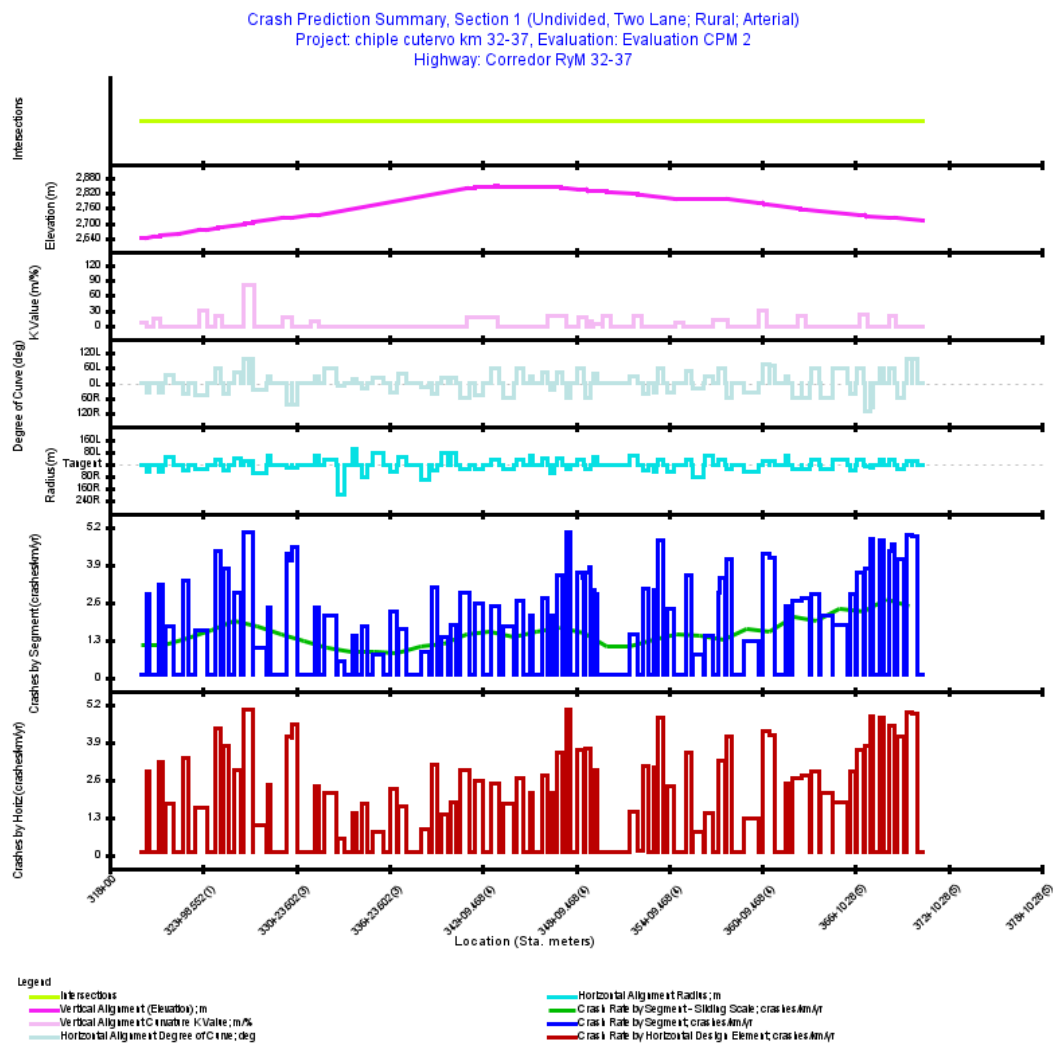
Last Year of Observed Crashes:

Nota: Autoría propia

El programa nos proporciona una serie de gráficos resumiendo la evaluación de predicción de accidentes, dichos gráficos representan el perfil longitudinal, parámetros de curvatura, radios horizontales y la predicción de aquellos sectores que presentan una mayor probabilidad de que sucedan accidentes de tránsito.

Figura 54

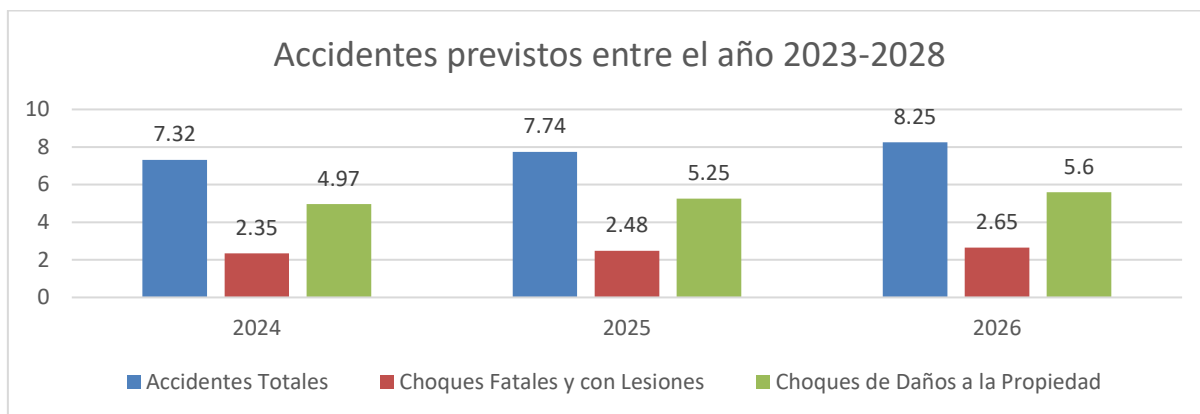
Gráficos de la predicción de accidentes – IHSDM



Nota: Autoría propia

Figura 55

Accidentes previstos entre el año 2024 – 2026 (IHSDM).



Nota: Autoría propia

Tabla 38

Accidentes previstos entre el año 2024 – 2026 (IHSDM).

Año	Accidentes Totales	Choques Fatales y con Lesiones	Choques de Daños a la Propiedad
2024	7.32	2.35	4.97
2025	7.74	2.48	5.25
2026	8.25	2.65	5.6
Total	23.3	7.5	15.8
Promedio al año		2.5	5.3

Nota: Autoría propia

Tabla 39

Accidentes previstos entre el año 2024 – 2026 (IHSDM).

Año	Accidentes Totales	Choques Fatales y con Lesiones	Choques de Daños a la Propiedad
2024	100 %	32 %	68 %
2025	100 %	32 %	68 %
2026	100 %	32 %	68 %

Nota: Autoría propia

Tabla 40

Distribución prevista del tipo de accidente (IHSDM) – Pre Test

Tipo de Accidente Vehicular	Npredicted rs (FI) (choques/año)	Proporción de Tipo de colisión (FI)	Npredicted rs (DOP) (choques/año)	Proporción de Tipo de colisión (DOP)	Npronostico rs (total) (choques/año)	Proporción de colisión Tipo (total)
VEHICULO ÚNICO						
Colisión con animal	0.284	3.80%	2.912	18.40%	2.821	12.10%
Colisión con bicicleta	0.030	0.40%	0.016	0.10%	0.047	0.20%
Colisión con peatón	0.052	0.70%	0.016	0.10%	0.070	0.30%
Volcado	0.277	3.70%	0.237	1.50%	0.583	2.50%
Despiste	4.078	54.50%	7.993	50.50%	12.145	52.10%
Colisión con vehiculo	0.052	0.70%	0.459	2.90%	0.490	2.10%
Total accidentes un vehiculo	4.774	63.80%	11.633	73.50%	16.154	69.30%
MULTIPLE VEHICULO						
Colisión de ángulo	0.748	10.00%	1.140	7.20%	1.981	8.50%
Colisión frontal	0.254	3.40%	0.047	0.30%	0.373	1.60%
Colisión trasera	1.227	16.40%	1.931	12.20%	3.310	14.20%
Colisión lateral	0.284	3.80%	0.601	3.80%	0.862	3.70%
Colisión de varios vehiculos	0.195	2.60%	0.475	3.00%	0.629	2.70%
Total choques multiples vehiculos	2.709	36.20%	4.194	26.50%	7.156	30.70%
Total	7.483		15.827		23.310	

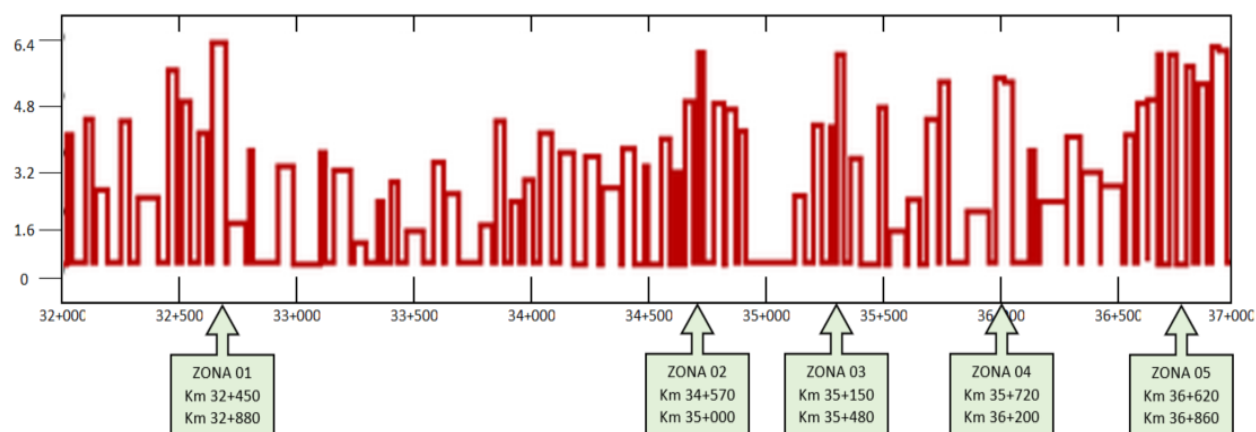
Nota: Autoría propia

3.2.10. Identificación de zonas de alta probabilidad de accidentes.

Para determinar aquellas zonas de alta probabilidad de accidentes, haremos un cruce de información entre los obtenidos en los objetivos específicos 1 y 2. Así se pudo identificar 5 tramos que concentran las probabilidades más altas de frecuencia de accidentes.

Figura 56

Zonas de alta probabilidad de accidentes - IHSDM



Nota: Autoría propia

Tabla 41

Relación de zonas de alta probabilidad de accidentes.

N°	Km Inicio	Km Final	Longitud	Zona de Alta Probabilidad de Accidentes
1	32+450	32+880	430 m	ZONA N° 1
2	34+570	35+000	430 m	ZONA N° 2
3	35+150	35+480	330 m	ZONA N° 3
5	35+720	36+200	480 m	ZONA N° 4
6	36+620	36+860	240 m	ZONA N° 5

Nota: Autoría propia

3.3. Objetivo específico 3

Se han establecidos una serie de procedimientos:

- Análisis de registro de datos de accidentes en la zona.
- Cruce de información de diseño y el IHSDM.
- Evaluación del diseño aprobado.
- Propuestas de mejora de la seguridad vial – CMF´s
- Evaluación predictiva de accidentes con el IHSDM - Post-Test
- Comparación de

3.3.1. Análisis de la Seguridad Vial

Se realizo la solicitud de información de registro de accidentes mediante carta dirigida al Comisario Sectorial PNP Cutervo comandante Hugo Cieza Coronado, pero no se cuenta con la información de retorno por parte de las dependencias policiales para desarrollar el análisis de la información. Ver Anexo 02

Como en la mayoría de los casos esta información no está disponible o es limitados al no contar con suficiente personal o recursos para registrar todos los accidentes.

Actualmente desde el primer trimestre del año 2021, existe el Observatorio Nacional de Seguridad Vial (ONSV), su objetivo principal es recopilar y consolidar información relacionada con la seguridad vial para facilitar la toma de decisiones que contribuyan a la implementación de la Política Nacional de Seguridad Vial.

3.3.1.1. Accidentalidad

Con la información obtenido del Observatorio Nacional de Seguridad Vial se contó registros de accidentes de los años 2021, 2022 y 2023 en la cual se clasifica a los accidentes transito según la zona de estudio. Ver Anexo 05

Tabla 42

Cuadro de resumen de datos de accidentes de tránsito, 2021 - 2023 (ONSV)

VARIABLES	2021	2022	2023	TOTAL	%
1. TIPO DE ACCIDENYE DE TRANSITO	6	11	1	18	100%
Atropello	0	1	0	1	6%
Caída de pasajero	0	1	0	1	6%
Colisión	0	0	0	0	0%
Choque	1	3	0	4	22%
Despiste	4	5	1	10	56%
Volcadura	0	0	0	0	0%
Choque con objeto fijo	1	1	0	2	11%
Otro	0	0	0	0	0%
2. CAUSAS DE LOS ACCIDENTES	6	9	1	16	100%
Exceso de velocidad	0	0	1	1	6%
Desacato a la señal de tránsito por el conductor	0	0	0	0	0%
Falta de iluminación en la vía	0	0	0	0	0%
Exceso de carga	0	0	0	0	0%
Ebriedad del conductor	0	0	0	0	0%
Invasión de carril/maniobras no permitidas	0	0	0	0	0%
Falla mecánica	0	0	0	0	0%
Vía en mal estado	0	0	0	0	0%
Imprudencia por parte del peatón	0	0	0	0	0%
Imprudencia del conductor	4	2	0	6	38%
Estado de ebriedad del peatón	0	0	0	0	0%

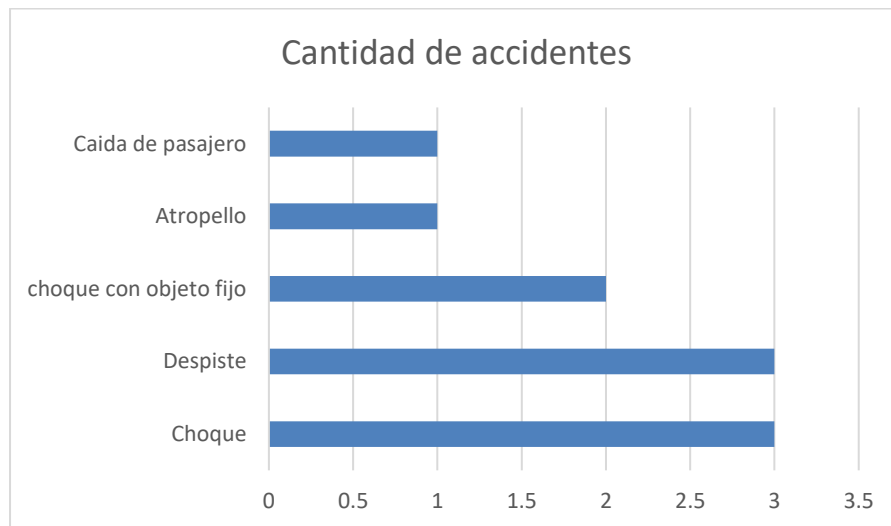
VARIABLES	2021	2022	2023	TOTAL	%
Factor climático	0	0	0	0	0%
Señalización defectuosa	0	0	0	0	0%
Cansancio o fatiga del conductor	0	0	0	0	0%
Uso del celular o dispositivo electrónicos	0	0	0	0	0%
Impericia	0	0	0	0	0%
Deslizamiento de lodo, piedras	0	0	0	0	0%
Desobediencia o resistencia a la autoridad policial	0	0	0	0	0%
No identifica	2	7	0	9	56%
Otro	0	0	0	0	0%
3. TIPO DE TRANSPORTE	7	13	1	21	100%
Transporte publico	2	1	0	3	14%
Transporte particular	4	6	0	10	48%
Carga	1	4	0	5	24%
Otro	0	2	1	3	14%
4. VEHICULOS PARTICIPANTES					
4.1 VEHICULOS MAYOR	2	6	1	9	100%
Automóvil	0	1	0	1	11%
Station Wagon	0	0	0	0	0%
Camioneta Pick up	0	3	0	3	33%
Camioneta Rural	0	0	1	1	11%
Camioneta panel o furgoneta	0	0	0	0	0%
Ómnibus urbano	0	0	0	0	0%
Ómnibus interprovincial	0	0	0	0	0%
Camión	1	1	0	2	22%
Remolcador o tracto	1	1	0	2	22%
Trayler	0	0	0	0	0%
Vehículo no identificado	0	0	0	0	0%
Otro	0	0	0	0	0%
4.2 VEHICULOS MENOR	5	7	0	12	100%

VARIABLES	2021	2022	2023	TOTAL	%
Moto lineal	4	4	0	8	67%
Motocar / Mototaxi / Trimoviles y similares	1	3	0	4	33%
Triciclo	0	0	0	0	0%
Bicicleta	0	0	0	0	0%
No identificado	0	0	0	0	0%
Otro	0	0	0	0	0%
5. INCIDENCIA MENSUAL	6	2	1	9	100%
Enero	0	0	1	1	11%
Febrero	0	0	0	0	0
Marzo	1	1	0	2	22%
Abril	1	0	0	1	11%
Mayo	0	0	0	0	0%
Junio	1	0	0	1	11%
Julio	0	0	0	0	0%
Agosto	1	1	0	2	22%
Septiembre	1	0	0	1	11%
Octubre	1	0	0	1	11%
Noviembre	0	0	0	0	0%
Diciembre	0	0	0	0	0%

Nota: Observatorio Nacional de Seguridad Vial - (ONSV)

Figura 57

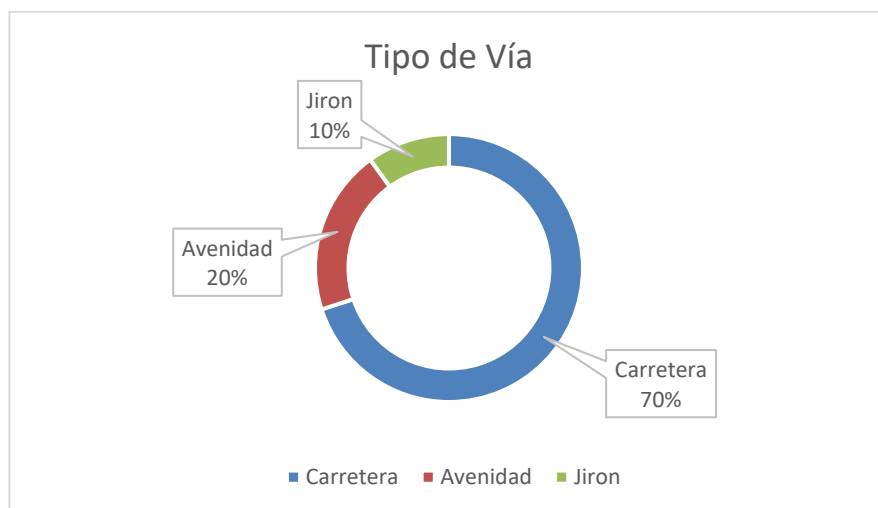
Clase de siniestro de Tránsito



Nota: Obtenido del Observatorio Nacional de Seguridad Vial.

Figura 58

Clase de siniestro por tipo de vía



Nota: Obtenido del Observatorio Nacional de Seguridad Vial.

3.3.2. Cruce de información de diseño y el IHSDM

El diseño geométrico es un proceso que implica establecer las características físicas y funcionales de una carretera, como la alineación horizontal y vertical, la sección transversal y la ubicación de los elementos de tránsito. El IHSDM, por otro lado, es un software que ayuda a los ingenieros a evaluar la seguridad de los diseños de carreteras.

En la recopilación de datos del expediente reúne todo relacionado con el diseño geométrico de la carretera en estudio. Esto puede incluir información sobre la alineación horizontal y vertical, radios de curvatura, pendientes, anchos de carriles, etc.

El IHSDM te permitirá evaluar y analizar diferentes aspectos de seguridad vial, y examinar los resultados generados por el software.

Estos resultados te proporcionarán una evaluación detallada de la seguridad vial del diseño geométrico de la carretera. En la cual se identificará áreas problemáticas, riesgos potenciales y posibles mejoras.

Para luego interpretar los resultados obtenidos y realizar conclusiones basadas en el análisis. Comparar los datos del diseño geométrico inicial con los resultados de IHSDM para identificar discrepancias y áreas en las que se pueden implementar cambios para mejorar la seguridad vial.

Los resultados de IHSDM se utilizará como una guía para mejorar el diseño, y un apoyo para los expertos o especialistas en ingeniería vial.

3.3.3. Evaluación del diseño aprobado.

Se revisa toda la documentación relevante sobre el diseño geométrico aprobado, incluyendo planos, perfiles longitudinales y transversales, estudios de tráfico y cualquier otro dato relacionado. Identificando las discrepancias que no cumplen con los criterios establecidos como los radios de curvas, longitud de tangentes, parámetro de "K", distancia de visibilidad de parada, pendiente máxima y longitud de curvas cóncavas y convexas.

Tabla 43

Relación de radio mínimo de curva horizontal – NO CUMPLE

ITEM	PK	INFORMACIÓN	ZONA
3	32+618.92	Radio INSUFICIENTE R=21.0	Z - 01
4	32+652.46	Radio INSUFICIENTE R=21.0	Z - 01
6	35+722.97	Radio INSUFICIENTE R=-25.0	Z - 03
9	36+608.49	Radio INSUFICIENTE R=-18.0	Z - 05
10	36+640.46	Radio INSUFICIENTE R=-18.0	Z - 05

Nota: Autoría propia

Tabla 44

Diferencia de radios de curvas – NO CUMPLE

# CURVA	RADIO	# CURVA	RADIO	DIFERENCIA	COMENTARIO
345	18.50	346	60.00	41.50	Z - 01
347	60.00	348	200.00	140.00	Z - 01
369	30.00	370	60.00	30.00	Z - 02
385	60.00	386	30.00	30.00	Z - 04
390	25.00	391	60.00	35.00	Z - 04

Nota: Autoría propia

Tabla 45
Longitud de tangente entre curvas en "S"– NO CUMPLE

ITEM	PK	INFORMACIÓN	PARÁMETROS
4	32+474.08	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=16.9 < 42$	Z - 01
19	34+566.33	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=16.6 < 42$	Z - 02
20	34+872.69	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=34.5 < 42$	Z - 02
21	34+983.83	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=13.2 < 42$	Z - 02
23	35+209.62	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=15.9 < 42$	Z - 03
24	35+290.39	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=11.4 < 42$	Z - 03
25	35+425.39	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=8.7 < 42$	Z - 03
27	35+844.62	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=25.7 < 42$	Z - 04
28	35+973.24	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=4.1 < 42$	Z - 04
29	36+034.84	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=10.9 < 42$	Z - 04
30	36+117.16	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=3.1 < 42$	Z - 04
31	36+215.61	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=16.0 < 42$	Z - 04
37	36+816.06	Longitud de Recta en S INSUFICIENTE $l=26.9 < 42$	Z - 05

Nota: Autoría propia

Tabla 46
Longitud de tangente entre curvas en "O"– NO CUMPLE

ITEM	PK	INFORMACIÓN	PARÁMETROS
3	32+636.33	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=0.0 < 84$	Z - 01
4	32+825.11	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=36.4 < 84$	Z - 01
10	34+943.33	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=31.4 < 84$	Z - 02
11	35+359.09	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=34.4 < 84$	Z - 03
13	35+703.83	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=0.9 < 84$	Z - 04
14	35+777.08	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=70.8 < 84$	Z - 04
15	35+914.43	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=0.0 < 84$	Z - 04
18	36+624.35	Longitud de Recta en C INSUFICIENTE $l=0.6 < 84$	Z - 05

Nota: Autoría propia

Tabla 47
Distancia de visibilidad de parada carril izq. – NO CUMPLE

CARRIL IZQ				
INICIO	FIN	LONG	VISIBILIDAD ACTUAL	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA
32+465	32+485	20	46.17	Z - 01
32+650	32+690	40	39.85	Z - 01
34+935	34+955	20	44.59	Z - 02
35+710	35+735	25	39.79	Z - 04
36+000	36+065	65	41.13	Z - 04
36+670	36+700	30	47.64	Z - 05
36+820	36+840	20	45.80	Z - 05

Nota: Autoría propia

Tabla 48
Distancia de visibilidad de parada carril der. – NO CUMPLE

CARRIL DER				
INICIO	FIN	LONG	VISIBILIDAD ACTUAL	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA
34+855	34+875	20	45.12	Z - 02
34+930	34+950	20	39.15	Z - 02
35+380	35+405	25	44.21	Z - 03
35+890	35+950	60	46.77	Z - 04
36+655	36+700	45	40.30	Z - 05

Nota: Autoría propia

Tabla 49

Parámetro de curvatura "K" – NO CUMPLE

PVI	Estación	Elevación (m)	Pendiente (%)	L.C. (m)	A	K	Type
Z - 02	34+915.21	2841.143	-7.52	30	3.50	8.57	Convexa
Z - 02	34+950.21	2838.51	3.13	30	10.65	2.82	Cóncava
Z - 03	35+220.21	2826.464	-7.51	50	2.58	19.38	Convexa
Z - 03	35+490.21	2806.184	1.08	50	8.59	5.82	Cóncava

Nota: Autoría propia

Tabla 50

Longitud de curvas cóncavas y convexas – NO CUMPLE

Estación (Km)	Pendiente (%)	L.C. (m)	Type	Dp	Dp < Lv
34+915.21	-7.52	30	Convexa	40.00	NO CUMPLE
34+950.21	3.13	30	Cóncava	40.00	NO CUMPLE
34+980.21	-7.49	30	Convexa	40.00	NO CUMPLE

Nota: Autoría propia

Tabla 51
Resumen de incumplimientos normativos por zonas.

		ZONAS DE ALTA CONCENTRACION DE ACCIDENTES				
		ZONA	ZONA	ZONA	ZONA	ZONA
		1	2	3	4	5
		32+450	34+570	35+150	35+720	36+620
		32+880	35+000	35+480	36+200	36+860
1	Radio Curva horizontal	x		x		x
2	Long. Curva horizontal					
3	Sucesión de curvas	x	x		x	
4	Espirales de transición					
5	Long. Tangente "S"	x	x	x	x	x
6	Long. Tangente "O"	x	x	x	x	x
7	Distancia Visibilidad	x	x	x	x	x
8	Curva Vertical "K"		x	x		
9	Long. Curva Concava					
10	Long. Curva Convexa					

Nota: Autoría propia

3.3.4. Propuestas de mejora de la seguridad vial

Como primera alternativa se consideró mejorar el diseño geométrico (medida a largo plazo), esto implicaría realizar cambios en el trazado de la carretera, como ampliar los radios de las curvas, longitudes de tangentes o mejorar la visibilidad en curvas críticas. Sin embargo, es importante considerar las limitaciones, como la presencia de taludes altos de roca, zonas de deslizamiento de material, terraplenes o rellenos altos, obras de arte y estructuras ya construidas como alcantarillas y muros, que pueden dificultar o hacer inviables los cambios en el diseño geométrico, como se muestra en la Tabla 52.

Tabla 52

Clasificación de materiales Km 32+000 al Km 37+000

PROGRESIVA		DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CLASIFICACION DE MATERIALES DE CORTE		
KM	KM		%MS	%RS	%RF
Km 31+450	Km 32+350	Roca arenisca cuarzosa fracturada y meteorizada	40	40	20
Km 32+350	Km 32+490	Sector critico	90	5	5
Km 33+490	Km 34+860	Roca arenisca cuarzosa fracturada y meteorizada	40	40	20
Km 34+860	Km 35+000	Sector critico	90	5	5
Km 35+000	Km 35+520	Roca arenisca cuarzosa fracturada y meteorizada	40	40	20
Km 35+520	Km 35+630	Roca arenisca cuarzosa muy fracturada y muy meteorizada	60	40	-
Km 35+630	Km 36+420	Suelos residuales	100	-	-
Km 36+290	Km 36+350	Reptación de suelos de 60 metros en un cauce de fondo de quebrada	100	-	-
Km 36+420	Km 36+530	Suelos residuales	100	-	-
Km 36+530	Km 36+570	Cauce de quebrada, suelos residuales húmedos.	100	-	-
Km 36+570	Km 36+860	Roca arenisca cuarzosa muy fracturada y muy meteorizada	60	40	-
Km 36+860	Km 37+100	Roca arenisca cuarzosa fracturada y meteorizada	40	40	20

Nota: EDI

Tabla 53

Sectores Inestables del Km 32+000 al Km 37+000

PROGRESIVA		DESCRIPCIÓN DEL SECTOR INESTABLE
KM	KM	
Km 32+350	Km 32+490	Sector inestable por erosión de laderas y derrumbes
Km 33+000	Km 34+000	Inestabilidad de taludes por explotación artesanal de canteras
Km 34+860	Km 35+000	Deslizamiento de gran magnitud
Km 36+290	Km 36+350	Sector de reptación de suelos

Nota: EDI

Tabla 54
Estructuras ejecutadas del Km 32+000 al Km 37+000

PROGRESIVA		TIPO DE ESTRUCTURA	EJECUTADO	
KM	KM		CANTIDAD	UNIDAD
32+000	37+000	Alcantarillas TMC	29	u
32+000	37+000	Muros de Concreto Armado	265	m
32+000	37+000	Subdrenes y descarga	1,133	m

Nota: EDI

Como segunda alternativa se consideró mejorar y complementar la señalización (medida a corto plazo) para aumentar la seguridad vial. Esto implica garantizar que la señalización propuesta esté correctamente ubicada, sea legible y visible, y cumpla con los estándares y regulaciones correspondientes. Además, se pueden agregar señales adicionales para advertir sobre condiciones peligrosas, cambios en la configuración de la vía o límites de velocidad. Ver Anexo 07

En los sectores donde existen instituciones públicas tales como colegios, se está recomendando velocidades máximas de 25km/h, además se recomienda la colocación de resaltos como reductores de velocidad en estas zonas.

Proyectar elementos de seguridad, tales como barreras de seguridad.

Proyectar postes delineadores para resaltar el borde de la vía proyectada sobre todo en sectores de curvas horizontales para que sirvan como guía al conductor en horarios nocturnos.

3.3.4.1. Análisis de reducción de accidentes – múltiples contramedidas CMF

Este análisis se centrará en examinar diversas soluciones o medidas de seguridad vial y utilizará los datos del CMF clearinghouse para determinar qué tan efectivas son estas contramedidas en la reducción de la incidencia de accidentes de tránsito. Ver Anexo 08

Tabla 55

Relación de contramedidas - CMF seleccionados.

Identificación de CMF	Puntuación de calificación NCHRP 17-72 (máx. 150 puntos)	Calificaciones de estrellas actualizadas	Contramedida	CMF	Tipo de accidente	Error estándar de CMF	Elemento Propuesto
39	75	3 estrellas	Nueva barandilla a lo largo del terraplén	0.93	correr fuera de la carretera	0.17	barrera
98	75	3 estrellas	Instale marcadores elevados en el pavimento y franjas sonoras transversales al acercarse a las curvas horizontales	0.94	correr fuera de la carretera	0.27	franjas
74	105	3 estrellas	Instalar una combinación de señales de velocidad recomendada/alineación horizontal	0.71	Todo	0.13	prev/regl
6843	60	2 estrellas	Aumentar la retrorreflectividad de las marcas en el pavimento	0.717	Noche		reflectividad
2440	140	5 estrellas	Instale letreros de cheurón en curvas horizontales	0.78	De frente, Nocturno, Sin intersección, Fuera de la carretera, Golpe lateral	0.101	chevron
10304	80	3 estrellas	Instale la guía con delineadores	0.971	todo	0.122	delineador
10613	140	5 estrellas	Mejorar la delineación de curvas	0.725	Despiste	0.073	tachas
71	75	3 estrellas	Señales de advertencia de curva estática avanzada	0.7	Todo	0.39	informativa

Nota: Autoría propia

Identificación de interrelaciones entre los CMF

Se selecciono un método apropiado para estimar el efecto combinado de 2 contramedidas agrupadas según la interrelación que pudiera existir entre ellas, como puede ser el tipo de accidentes y los tipos de severidad de choques. Se continuará con la aplicación de los conceptos, agrupando en pares y analizando el más apropiado, hasta obtener un CMF.

Selección de método para cálculo de CMF combinado – Grupo 1

El valor del CMF para la instalación de barreras de seguridad es de (0.93) y es más alto en comparación con el CMF para la aplicación de chevrones (0.78). Ver Tabla 56.

Tabla 56

Análisis de CMF's – Grupo 1

Identificación de CMF	CMF	Tipo de accidente Grupo 1	Severidad del choque de KABCO	Elemento Propuesto
39	0.93	Despiste fuera de la carretera	Todo	Barrera
2440	0.78	De frente, Nocturno, Sin intersección, Salir fuera de la carretera, Golpe lateral	Todo	Chevron

Nota: Autoría propia

Se identificaron interrelaciones en la Tabla 56, también se determina que ambos CMF se pueden aplicar a accidentes Totales. En este caso ambos CMF no pueden simplemente multiplicarse para determinar el efecto combinado porque es probable que haya efectos superpuestos, por lo que se seleccionó el método de efecto dominante de residuos comunes, el valor del CMF combinado es de (0.7785) como se muestra en la Tabla 57.

Tabla 57

Valor de CMF combinado – Grupo 1

CMF comb	METODO	CRITERIO
0.7254	Multiplicativo	CMFs > 1.0
0.7100	Aditivo	No hay superposición
0.7800	Efecto Dominante	Superposición Total
0.7785	Residuos Comunes	Superposición Parcial

Nota: Autoría propia

Selección de método para cálculo de CMF combinado – Grupo 2

El valor del CMF para la instalación de señales reglamentarias y preventivas es de (0.71) y es más alto en comparación con el CMF para la aplicación de señales informativas con (0.70).

Tabla 58

Análisis de CMF's – Grupo 2

Identificación de CMF	CMF	Tipo de accidente Grupo 2	Severidad del choque de KABCO	Elemento Propuesto
71	0.7	Todo	A (lesión grave), B (lesión leve), C (posible lesión)	Informativa
74	0.71	Todo	O (solo daño a la propiedad)	Prev/Regl

Nota: Autoría propia

Se identificaron interrelaciones en la Tabla 60, también se determina que ambos CMF se pueden aplicar a accidentes totales y a todas las gravedades de accidentes. En este caso ambos CMF no pueden simplemente multiplicarse para determinar el efecto combinado porque es probable que haya efectos superpuestos, por lo que se seleccionó el método de efecto dominante, el valor del CMF combinado es de (0.70). Ver Tabla 61.

Tabla 59

Valor de CMF combinado – Grupo 2

VALOR	METODO	CRITERIO
0.4970	Multiplicativo	Ambos CMFs > 1.0
0.4100	Aditivo	No hay superposición
0.7000	Efecto Dominante	Superposición Total
0.6087	Residuos Comunes	Superposición Parcial

Nota: Autoría propia

Selección de método para cálculo de CMF combinado – Grupo 3

El valor del CMF para la instalación de Bandas transversales y elementos sonoros es de (0.94) y es más alto en comparación con el CMF para la aplicación de tachas retroreflectivas (0.725). Ver Tabla 58.

Tabla 60

Análisis de CMF's – Grupo 3

Identificación de CMF	CMF	Tipo de accidente Grupo 3	Severidad del choque de KABCO	Elemento Propuesto
98	0.94	Despiste fuera de la carretera	(lesión grave, leve, posible)	Franjas
10613	0.725	Despiste fuera de la carretera	Todo	Tachas

Nota: Autoría propia

Se identificaron interrelaciones en la Tabla 58, también se determina que el CMF para un tratamiento está relacionado con el total de severidad de choques y el otro está relacionado con un tipo de severidad específico. En este caso ambos CMF no pueden simplemente multiplicarse para determinar el efecto combinado porque se aplican a diferentes tipos de gravedad de choque, por lo que se seleccionó el método de efecto dominante de residuos comunes, el valor del CMF combinado se muestra en la Tabla 59.

Tabla 61

Valor de CMF combinado – Grupo 3

VALOR	METODO	CRITERIO
0.6815	Multiplicativo	Ambos CMFs > 1.0
0.6650	Aditivo	No hay superposición
0.7250	Efecto Dominante	Superposición Total
0.7573	Residuos Comunes	Superposición Parcial

Nota: Autoría propia

Selección de método para cálculo de CMF combinado – Grupo 4

El valor del CMF para la instalación de postes delineadores es de (0.971) y es más alto en comparación con el CMF para la aplicación de aumentar la reflectividad de las marcas viales (0.717). Ver Tabla 62.

Tabla 62

Análisis de CMF's – Grupo 4

Identificación de CMF	CMF	Tipo de accidente Grupo 4	Severidad del choque de KABCO	Elemento Propuesto
6843	0.717	Nocturno	Todo	Reflectividad
10304	0.971	Nocturno	Todo	Delineador

Nota: Autoría propia

Se identificaron interrelaciones en la Tabla 62, también se determina que ambos CMF se pueden aplicar a accidentes nocturno y a todas las gravedades de accidentes. En este caso ambos CMF no pueden simplemente multiplicarse para determinar el efecto combinado porque es probable que haya efectos superpuestos, por lo que se seleccionó el método de efecto dominante, el valor del CMF combinado es de (0.717). Ver Tabla 63.

Tabla 63

Valor de CMF combinado – Grupo 4

VALOR	METODO	CRITERIO
0.6962	Multiplicativo	Ambos CMFs > 1.0
0.6880	Aditivo	No hay superposición
0.7170	Efecto Dominante	Superposición Total
0.7713	Residuos Comunes	Superposición Parcial

Nota: Autoría propia

Resumen de métodos para cálculo de CMF combinado - Grupos

Luego de realizar y escoger los métodos adecuado de contramedidas, se obtuvieron 4 CMF combinado (1), ver Tabla 64.

Tabla 64

Resumen de los métodos para calcular el CMF combinado (1)

CMF Individual	Método Efecto Combinado CMF	CMF Combinado (1)	Tipo de accidente	Severidad del choque de KABCO	Elemento Propuesto
GRUPO 1					
0.930	Residuos Comunes	0.778	De frente, Nocturno, Sin intersección, Salir fuera de la carretera, Golpe lateral	Todo	Barrera
0.780					Chevron
GRUPO 2					
0.940	Residuos Comunes	0.757	Despiste fuera de la carretera	Todo	Franjas
0.725					Tachas
GRUPO 3					
0.700	Efecto Dominante	0.700	Todo	Todo	Informativa
0.710					Prev/Regl
GRUPO 4					
0.717	Efecto Dominante	0.717	Nocturno	Todo	Reflectividad
0.971					Delineador

Nota: Autoría propia

Continuando con la evaluación de contramedidas se seguirán agrupando para hallar CMF combinado (2).

Evaluación de métodos para el cálculo de CMF combinado – Grupos 1 y 2

El valor del CMF combinado para la instalación de las contramedidas del Grupo 1 es de (0.778) y es más alto en comparación con el CMF combinado para la aplicación de las contramedidas del Grupo 3 (0.700). Ver Tabla 65.

Tabla 65

Valor de CMF combinado (1) – Grupos 1 y 2

CMF Combinado	Tipo de accidente Grupo 1	Severidad del choque de KABCO	Elemento Propuesto
0.778	De frente, Nocturno, Sin intersección, Salir fuera de la carretera, Golpe lateral	Todo	Barrera Chevron
CMF Combinado	Tipo de accidente Grupo 3	Severidad del choque de KABCO	Elemento Propuesto
0.700	Todo	Todo	Informativa Prev/Regl

Nota: Autoría propia

Tabla 66

Valor de CMF combinado (2) – Grupos 1 y 2

VALOR	METODO	CRITERIO
0.5449	Multiplicativo	Ambos CMFs > 1.0
0.4785	Aditivo	No hay superposición
0.7000	Efecto Dominante	Superposición Total
0.6538	Residuos Comunes	Superposición Parcial

Nota: Autoría propia

Se determina que ambos grupos y CMF combinados se aplican para accidentes totales y específicos, por lo que se seleccionó el método de efecto dominante de residuos comunes, el valor del CMF combinado (2) es de (0.6538) como se muestra en la Tabla 66.

Evaluación de métodos para cálculo de CMF combinado – Grupos 3 y 4

El valor del CMF combinado para la instalación de las contramedidas del grupo 2 es de (0.757 y es más alto en comparación con el CMF combinado para la aplicación de las contramedidas del grupo 4 (0.717). Ver Tabla 67

Tabla 67

Valor de CMF combinado (1)– Grupos 3 y 4

CMF Combinado	Tipo de accidente Grupo 2	Severidad del choque de KABCO	Elemento Propuesto
0.7573	Despiste fuera de la carretera	Todo	Franjas Tachas
CMF Combinado	Tipo de accidente Grupo 4	Severidad del choque de KABCO	Elemento Propuesto
0.717	Nocturno	Todo Todo	Reflectividad Delineador

Nota: Autoría propia

Tabla 68

Valor de CMF combinado (2)– Grupos 2 y 4

VALOR	METODO	CRITERIO
0.5430	Multiplicativo	Ambos CMFs > 1.0
0.4743	Aditivo	No hay superposición
0.7170	Efecto Dominante	Superposición Total
0.6454	Residuos Comunes	Superposición Parcial

Nota: Autoría propia

Se determina que ambos grupos y CMF combinados se aplican a accidentes Totales y específicos, por lo que se seleccionó el método de Efecto dominante de residuos comunes, el valor del CMF combinado (2) es de (0.6454) como se muestra en la Tabla 68.

Evaluación de métodos para cálculo de CMF combinado - Final

El valor del CMF combinado Final para la instalación de las contramedidas totales

se obtendrá del análisis de los CMF combinados (2), Ver Tabla 69.

Tabla 69

Resumen de los métodos para calcular el CMF combinado (2)

Tipo de accidente Grupo 1 y 2	Severidad del choque de KABCO	Elemento Propuesto	CMF Combinado (2)	Combinado Final - CMF Final
Todo	Todo	Barrera Chevron Informativa Prev/Regl	0.654	
Tipo de accidente Grupo 3 y 4	Severidad del choque de KABCO	Elemento Propuesto	CMF Combinado (2)	0.573
Despiste fuera de la carretera	Todo	Franjas Tachas Reflectividad Delineador	0.645	

Nota: Autoría propia

Se seleccionó el método de efecto dominante de residuos comunes, el valor del CMF combinado Final es de (0.573) como se muestra en la Tabla 69. Aplicando este CMF al número de predicción de accidentes de la Tabla 38, se observa una reducción de 23 a 13 accidentes 43% de reducción.

Tabla 70

Resumen total de los métodos para calcular el CMF

CMF - Utilizados			Combinado (1)			Combinado (2)			Combinado Final	
Identificación de CMF	CMF	Elemento Propuesto	Grupos	Método Utilizado	CMF Combinado (1)	Grupos	Método Utilizado	CMF Combinado (2)	Método Utilizado	CMF Combinado Final
39	0.93	Barrera	Grupo 1	Residuos Comunes	0.7785	Grupo 1	Residuos Comunes	0.6538	Residuos Comunes	0.57
2440	0.78	Chevron								
74	0.71	Prev/Regl	Grupo 2	Efecto Dominante	0.700	Grupo 2				
71	0.70	Informativa								
98	0.94	Franjas	Grupo 3	Residuos Comunes	0.7573	Grupo 3	Residuos Comunes	0.6454		
10613	0.725	Tachas								
6843	0.717	Reflectividad	Grupo 4	Efecto Dominante	0.717	Grupo 4				
10304	0.971	Delineador								

Nota: Autoría propia

Tabla 71

Distribución prevista del tipo de accidente (IHSDM) – Post-Test

Tipo de Accidente Vehicular	Npredicted rs (FI) (choques/año)	Proporción de Tipo de colisión (FI)	Npredicted rs (DOP) (choques/año)	Proporción de Tipo de colisión (DOP)	Npronostico rs (total) (choques/año)	Proporción de colisión Tipo (total)
VEHICULO ÚNICO						
Colisión con animal	0.16	3.80%	1.67	18.40%	1.62	12.10%
Colisión con bicicleta	0.02	0.40%	0.01	0.10%	0.03	0.20%
Colisión con peatón	0.03	0.70%	0.01	0.10%	0.04	0.30%
Volcado	0.16	3.70%	0.14	1.50%	0.33	2.50%
Despiste	2.34	54.50%	4.58	50.50%	6.96	52.10%
Colisión con vehiculo	0.03	0.70%	0.26	2.90%	0.28	2.10%
Total accidentes un vehiculo	2.74	63.80%	6.67	73.50%	9.26	69.30%
MULTIPLE VEHICULO						
Colisión de ángulo	0.43	10.00%	0.65	7.20%	1.14	8.50%
Colisión frontal	0.15	3.40%	0.03	0.30%	0.21	1.60%
Colisión trasera	0.70	16.40%	1.11	12.20%	1.90	14.20%
Colisión lateral	0.16	3.80%	0.34	3.80%	0.49	3.70%
Colisión de varios vehiculos	0.11	2.60%	0.27	3.00%	0.36	2.70%
Total choques multiples vehiculos	1.552	36.20%	2.403	26.50%	4.100	30.70%
Total	4.29		9.07		13.36	

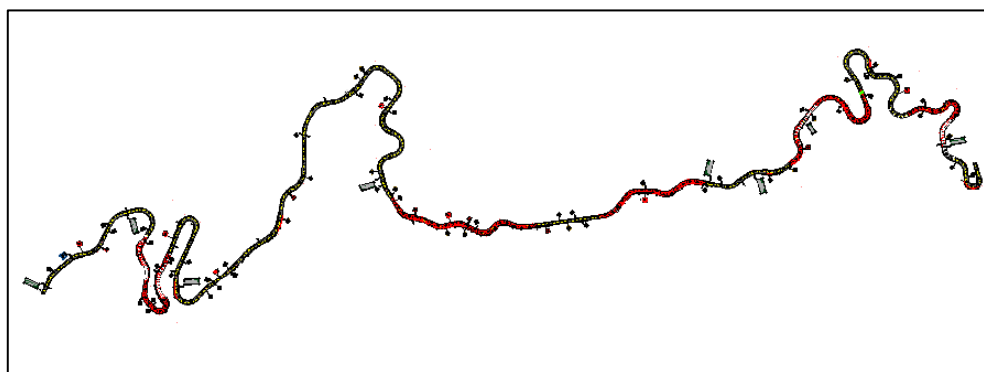
Nota: Autoría propia

3.3.4.2. Zonas de alta probabilidad de accidentes

Mediante el uso del módulo CPM del software IHSDM como herramienta complementaria a la evaluación realizada, se pudo identificar 5 zonas que presentan una alta probabilidad de accidentes, a los cuales se ha considerado mejorar la seguridad vial mediante dispositivos y elementos que ayuden a reducir la severidad y fatalidad de los accidentes.

Figura 59

Tramo km 32+000 – km 37+000



Nota: Autoría propia

Tabla 72

Resumen de propuestas de mejora por zonas.

		ZONAS DE ALTA CONCENTRACION DE ACCIDENTES				
		ZONA	ZONA	ZONA	ZONA	ZONA
		1	2	3	4	5
		32+450	34+570	35+150	35+720	36+620
		32+880	35+000	35+480	36+200	36+860
1	INFORMATIVA	x	x	x	x	x
2	REGLAMENTARIA	x			x	x
3	PREVENTIVAS				x	
4	BARRERA DE SEGURIDAD	x	x	x	x	x
5	BANDAS TRANSVERSALES	x			x	x
6	TACHAS RETROREFLECTIVAS	x	x	x	x	x
7	TACHONES DELINEADORES	x	x	x	x	x
8	DESPEJE LATERAL	x	x	x	x	x
9	CHEVRON					x
10	REDUCTORES				x	
11	DELINEADORES				x	
12	REFLECTIVIDAD	x	x	x	x	x

Nota: Autoría propia

a) Zona de alta probabilidad de accidentes 01 (Km 32+450 – KM 32+870)

Se ha considerado como propuesta de solución los siguientes puntos:

- **Señales informativas:** Servirán para advertir a los conductores la presencia de una zona de curvas peligrosas y mantenerlos alertas.
- **Señales reglamentarias:** Se busca la minimización de la velocidad, en referencia con condiciones geométricas.
- **Barreras de seguridad:** Se utilizarán para proteger a los usuarios en aquellas zonas de grandes desniveles y debido a la sinuosidad de la topografía.
- **Bandas transversales:** Serán implementadas en la zona de aproximación de curvas sinuosas, para permitir una reducción gradual de la velocidad de los vehículos.
- **Tachas retroreflectivas:** Serán utilizados en serie a lo largo de la vía en el eje central y bordes, para indicar su alineamiento y que se vuelva una carretera auto explicativa.
- **Tachones delineadores:** Empleados para la mejora de la seguridad en conducción, generando una significativa reducción de la velocidad.
- **Despeje lateral:** Se proyectan para mejorar la visión de los conductores en zonas donde la topografía impide cumplir con la distancia mínima de visibilidad.
- **Reflectancia:** Servirá para mejorar la distancia y tiempo de percepción de la señalización horizontal en la vía.

Figura 60

Zona de alta probabilidad de accidentes 01 (Km 32+450 – KM 32+870)



Nota: Autoría propia

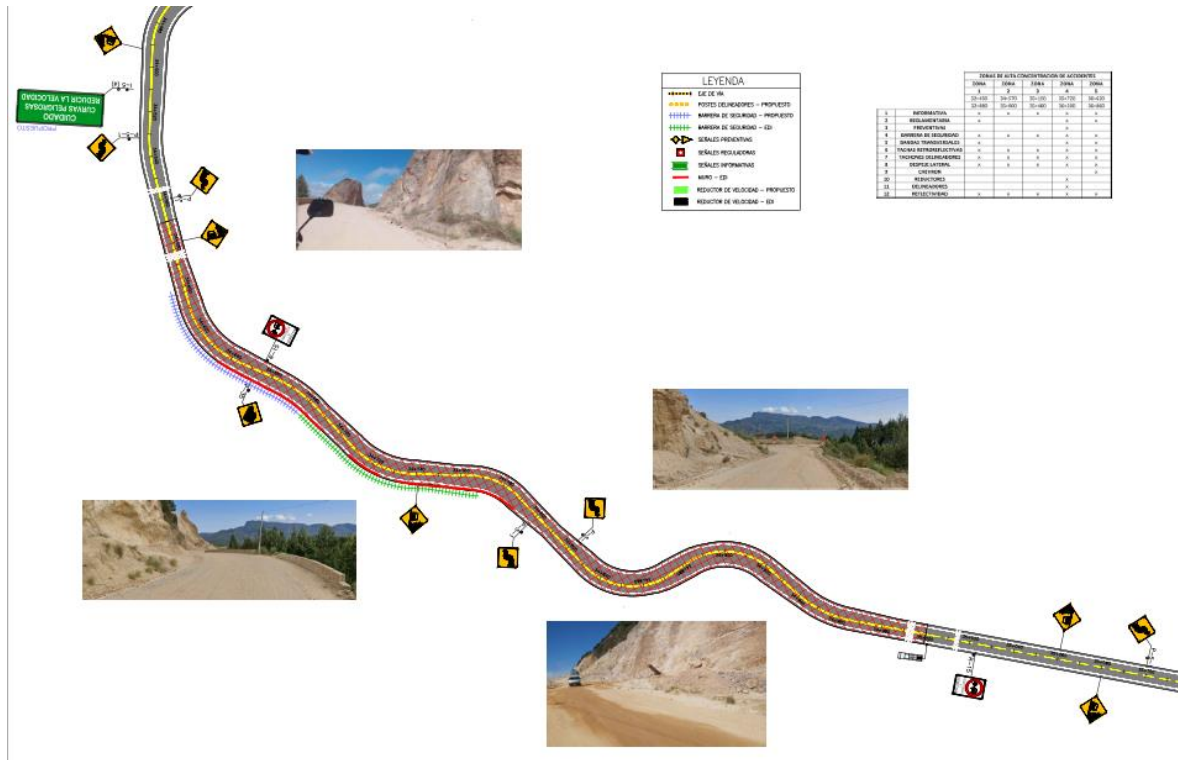
b) Zona de alta probabilidad de accidentes 02 (Km 34+530 – KM 35+000)

Se ha considerado como propuesta de solución los siguientes puntos:

- **Señales informativas:** Servirán para advertir a los conductores la presencia de una zona de curvas peligrosas y mantenerlos alertas.
- **Barreras de seguridad:** Se utilizarán para proteger a los usuarios en aquellas zonas de grandes desniveles y debido a la sinuosidad de la topografía.
- **Bandas transversales:** Serán implementadas en la zona de aproximación de curvas sinuosas, para permitir una reducción gradual de la velocidad de los vehículos.
- **Tachas retroreflectivas:** Se utilizan para mejora de la seguridad, para advertir al conductor que se aproxima a un lugar en el que es aconsejable una disminución de velocidad; al sobrepasar sobre ellos brindan efectos sonoros o vibratorios que sirven de guía y alerta para los usuarios de la carretera.
- **Tachones delineadores:** Empleados para la mejora de la seguridad en conducción, generando una significativa reducción de la velocidad.
- **Despeje lateral:** Se proyectan para mejorar la visión de los conductores en zonas donde la topografía impide cumplir con la distancia mínima de visibilidad.
- **Reflectancia:** Servirá para mejorar la distancia y tiempo de percepción de la señalización horizontal en la vía.

Figura 61

Zona de alta probabilidad de accidentes 02 (Km 34+530 – KM 35+000)



Nota: Autoría propia

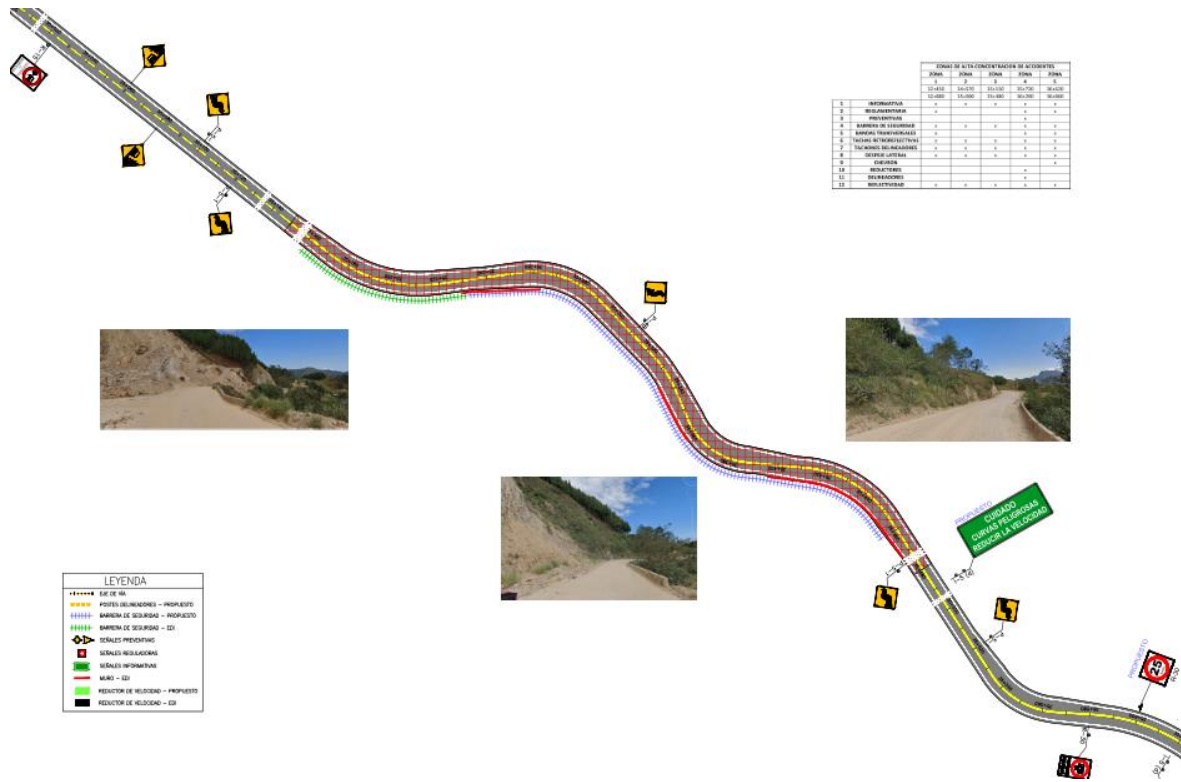
c) **Zona de alta probabilidad de accidentes 03 (Km 35+150 – KM 35+480)**

Se ha considerado como propuesta de solución los siguientes puntos:

- **Señales informativas:** Servirán para advertir a los conductores la presencia de una zona de curvas peligrosas y mantenerlos alertas.
- **Señales reglamentarias:** Se busca la minimización de la velocidad, en referencia con condiciones geométricas.
- **Barreras de seguridad:** Se utilizarán para proteger a los usuarios en aquellas zonas de grandes desniveles y debido a la sinuosidad de la topografía.
- **Bandas transversales:** Serán implementadas en la zona de aproximación de curvas sinuosas, para permitir una reducción gradual de la velocidad de los vehículos.
- **Tachas retroreflectivas:** Serán utilizados en serie a lo largo de la vía en el eje central y bordes, para indicar su alineamiento y que se vuelva una carretera auto explicativa.
- **Tachones delineadores:** Empleados para la mejora de la seguridad en conducción, generando una significativa reducción de la velocidad.
- **Despeje lateral:** Se proyectan para mejorar la visión de los conductores en zonas donde la topografía impide cumplir con la distancia mínima de visibilidad.
- **Reflectancia:** Servirá para mejorar la distancia y tiempo de percepción de la señalización horizontal en la vía.

Figura 62

Zona de alta probabilidad de accidentes 03 (Km 35+150 – KM 35+480)



Nota: Autoría propia

d) Zona de alta probabilidad de accidentes 04 (Km 35+720 – KM 36+200)

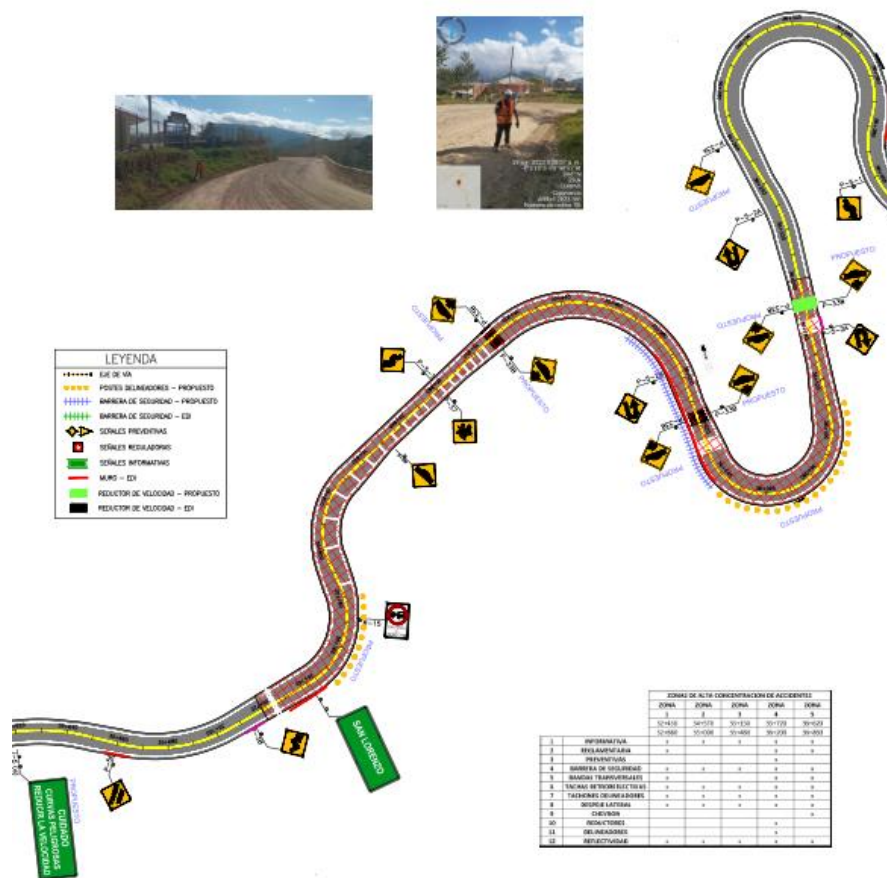
Se ha considerado como propuesta de solución los siguientes puntos:

- **Señales informativas:** Servirán para advertir a los conductores la presencia de una zona de curvas peligrosas y mantenerlos alertas.
- **Señales preventivas:** Se empleará para advertir a los conductores de la proximidad de un reductor de velocidad.
- **Señales reglamentarias:** Se busca la minimización de la velocidad, en referencia con condiciones geométricas.
- **Barreras de seguridad:** Se utilizarán para proteger a los usuarios en aquellas zonas de grandes desniveles y debido a la sinuosidad de la topografía.
- **Reductores de velocidad:** Reducir y mantener la velocidad en ciertos tramos de la vía.
- **Bandas transversales:** Serán implementadas en la zona de aproximación de curvas sinuosas, para permitir una reducción gradual de la velocidad de los vehículos.
- **Tachas retroreflectivas:** Serán utilizados en serie a lo largo de la vía en el eje central y bordes, para indicar su alineamiento y que se vuelva una carretera auto explicativa.
- **Tachones delineadores:** Empleados para la mejora de la seguridad en conducción, generando una significativa reducción de la velocidad.
- **Postes delineadores:** Se utilizarán para delinear los bordes de la carretera y son ayudas indiscutibles en la conducción nocturna
- **Despeje lateral:** Se proyectan para mejorar la visión de los conductores en zonas donde la topografía impide cumplir con la distancia mínima de visibilidad.

- **Reflectancia:** Servirá para mejorar la distancia y tiempo de percepción de la señalización horizontal en la vía.

Figura 63

Zona de alta probabilidad de accidentes 04 (Km 35+720 – KM 36+200)



Nota: Autoría propia

e) Zona de alta probabilidad de accidentes 05 (Km 36+610 – KM 36+880)

Se ha considerado como propuesta de solución los siguientes puntos:

- **Señales informativas:** Servirán para advertir a los conductores la presencia de una zona de curvas peligrosas y mantenerlos alertas.
- **Señales reglamentarias:** Se busca la minimización de la velocidad, en referencia con condiciones geométricas.
- **Chevron delineador:** Se usarán para guiar al conductor sobre el sentido de una curva pronunciada.
- **Barreras de seguridad:** Se utilizarán para proteger a los usuarios en aquellas zonas de grandes desniveles y debido a la sinuosidad de la topografía.
- **Bandas transversales:** Serán implementadas en la zona de aproximación de curvas sinuosas, para permitir una reducción gradual de la velocidad de los vehículos.
- **Tachas retroreflectivas:** Serán utilizados en serie a lo largo de la vía en el eje central y bordes, para indicar su alineamiento y que se vuelva una carretera auto explicativa.
- **Tachones delineadores:** Empleados para la mejora de la seguridad en conducción, generando una significativa reducción de la velocidad.
- **Despeje lateral:** Se proyectan para mejorar la visión de los conductores en zonas donde la topografía impide cumplir con la distancia mínima de visibilidad.
- **Reflectancia:** Servirá para mejorar la distancia y tiempo de percepción de la señalización horizontal en la vía.

Figura 64

Zona de alta probabilidad de accidentes 05 (Km 36+610 – KM 36+880)



Nota: Autoría propia

3.4. Objetivo general

En este estudio, se llevó a cabo una comparación integral entre la evaluación Pre-test y la evaluación Post-test con el objetivo de determinar la efectividad de las contramedidas propuestas, basadas en los factores de Crash Modification Factor (CMF), en la reducción de la frecuencia de accidentes. En la etapa Pre-test, se realizó un análisis exhaustivo de la seguridad vial en la carretera bajo estudio utilizando métodos y enfoques tradicionales, sin la implementación del software IHSDM. En la etapa Post-test, se procedió a implementar las contramedidas recomendadas, utilizando los valores de CMF obtenidos. Posteriormente, se llevó a cabo una evaluación completa y detallada utilizando el software IHSDM.

La comparación de los resultados obtenidos en ambos momentos permitirá determinar con precisión si ha habido una reducción significativa en la frecuencia de accidentes como resultado directo de las medidas implementadas. Este enfoque comparativo integral asegurará una evaluación rigurosa de la efectividad de las contramedidas y el módulo CPM del software IHSDM en la seguridad vial de la carretera en estudio.

Tabla 73

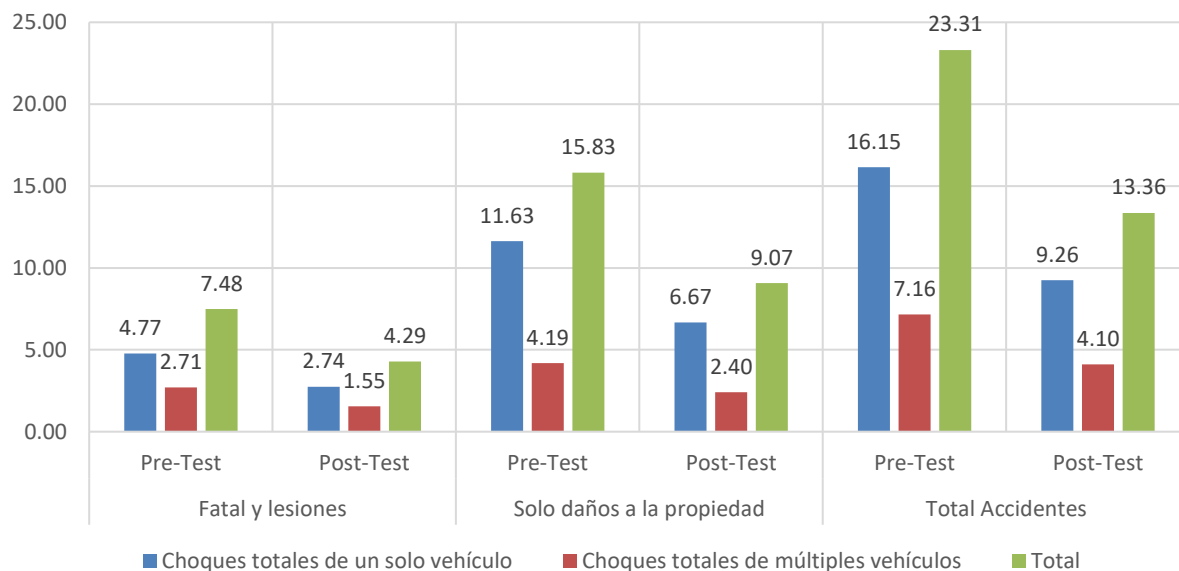
Resumen Pre-Test y Post-Test

Tipo de Accidente	Fatal y lesiones		Solo daños a la propiedad		Total Accidentes	
	Pre-Test	Post-Test	Pre-Test	Post-Test	Pre-Test	Post-Test
Choques totales de un solo vehículo	4.77	2.74	11.63	6.67	16.15	9.26
Choques totales de múltiples vehículos	2.71	1.55	4.19	2.40	7.16	4.10
Total	7.48	4.29	15.83	9.07	23.31	13.36

Nota: Autoría propia

Figura 65

Comparación Pre-Test y Post-Test



Nota: Autoría propia

Seguidamente se lleva a cabo una evaluación exhaustiva de los dos métodos de análisis: el enfoque tradicional y el método propuesto basado en el software IHSDM. Esta evaluación se realiza mediante la elaboración de un cuadro comparativo que refleja los resultados obtenidos en ambas metodologías. Dicho cuadro se construirá siguiendo criterios y directrices recomendados por la normativa internacional en materia de seguridad vial.

La comparación abarcará aspectos cruciales como la identificación de zonas críticas, la cuantificación de riesgos y la eficacia de las contramedidas implementadas. A través de este análisis comparativo, se buscará demostrar de manera objetiva las ventajas y mejoras sustanciales que el método propuesto aporta en términos de comprensión y mitigación de los riesgos viales en comparación con las prácticas tradicionales.

Tabla 74

Comparación de análisis de seguridad vial.

ITEM	CRITERIO DE EVALUACIÓN COMPARATIVA	ANÁLISIS - EDI APROBADO	ANÁLISIS PROPUESTA - TESIS
1	Visita a campo, registro fotográfico y filmico	Si se realizó Se realizó la visita a campo.	Si se realizó Se realizó la visita a campo.
2	Solicitar a las entidades el registro de accidentes de transito	Si se realizó Se solicito, ninguna de las entidades dio respuesta acerca de una estadística de los accidentes ocurridos.	Si se realizó Se solicito, ninguna de las entidades dio respuesta acerca de una estadística de los accidentes ocurridos.
3	Entrevista a pobladores y visita a zonas de ocurrencia de accidentes (PCA) o (TCA)	Si se realizó Se realizó un inventario de las zonas de accidentes en base a la ubicación de las "capillas" donde fallecieron en accidentes de tránsito.	Si se realizó Se realizó un inventario de las zonas de accidentes en base a la ubicación de las "capillas" donde fallecieron en accidentes de tránsito.
4	Recolección y análisis de datos de accidentes	Si se realizó Se realizó una evaluación a nivel nacional de la accidentalidad, en base a un reporte de los años.	Si se realizó Se realizó una evaluación a nivel nacional, provincial, departamental y local de la accidentalidad, en base a reportes del observatorio entre los años 2021 al 2023.
5	Registro y análisis de las características físicas actuales de la vía	Si se realizó Se identifico aquellos factores que pueden afectar a la seguridad vial.	Si se realizó Se identifico aquellos factores que pueden afectar a la seguridad vial.
6	Registro y análisis de las características físicas de la vía proyectada	No se realizó ---	Si se realizó Se identifico aquellos factores que pueden afectar a la seguridad vial
7	Predicción de zonas de alta probabilidad de accidentes	No se realizó ---	Si se realizó Se utilizo el software IHSDM para identificar aquellas zonas de la vía que presentaban una mayor probabilidad de ocurrencia de accidentes
8	Diagnostico integrado considerando los PCA/TCA o Zona de Alta Probabilidad de Accidentes.	No se realizó ---	Si se realizó Se realizo una evaluación de aquellas características que provocan el incremento en la tasa de accidentalidad
9	Medidas para reducir y prevenir accidentes de transito	Si Se consideró una solución general a todo el proyecto	Si se realizó Se desarrollo una solución integral e independiente a cada zona que representa riesgo o inseguridad vial, adicionando elementos de seguridad.
10	Estimación de la reducción de accidentes, considerando las propuestas de mejora	No se realizó ---	Si se realizó Se evaluó la efectividad en la reducción de la probabilidad de los accidentes, tras la implementación de factores de modificación de accidentes (CMF) en cada zona evaluada

Los resultados obtenidos demuestran que la utilización del módulo CPM del IHSDM, al reducir significativamente la probabilidad de accidentes, no solo mejora el análisis de seguridad vial, sino que también allana el camino hacia un enfoque más proactivo y eficiente en la mitigación de riesgos en nuestras carreteras, beneficiando tanto a los usuarios de la vía como a la sociedad en su conjunto.

Evaluación Costo – Beneficio

El MSV 2017, menciona como paso 4: Priorización de proyectos, mediante una evaluación económica que justifique la implementación de ciertas medidas, se mencionan tres métodos de priorización:

- Según la medida de efectividad económica
- Según un análisis de beneficio-costos incremental
- Según el método de optimización

No es propósito ni objetivo de esta investigación realizar una evaluación costo-beneficio ni determinar si el proyecto está económicamente justificado al reducir la estimación de la frecuencia de accidente o la gravedad de estos como resultado de la implementación de una(s) contramedida(s).

Sin embargo, se presenta una comparación del presupuesto designado para los trabajos de Señalización de Seguridad Vial tanto del expediente (EDI) y la propuesta de esta investigación. Ver Anexo 09

Tabla 75

Metrado y presupuesto (EDI Km 32 al Km 37)

ITEM	PARTIDAS	UNIDAD	METRADO TOTAL	PRECIO S/.	PARCIAL S/.
800	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL				
801.A	SEÑALES PREVENTIVAS 0.60m x 0.60m	u	68.00	308.21	20,958.28
802.A	SEÑALES REGLAMENTARIAS	u	2.00	338.91	677.82
803.C	SEÑALES INFORMATIVAS	m2	1.20	606.37	727.64
804.A1	POSTES DE SOPORTE DE SEÑALES	u	70.00	125.39	8,777.30
805.A	TACHA RETROREFLECTIVA	u	38.00	12.18	462.84
810.A	MARCAS EN EL PAVIMENTO	m2	10,986.80	8.35	91,739.80
820.A	BARRERAS DE SEGURIDAD	m	380.00	300.00	114,000.00
830.A	POSTE DE KILOMETRAJE	u	6.00	145.86	875.16
855.A	RESALTOS	m	18.00	626.91	11,284.38
					249,503.22

Nota: (EDI Aprobado).

Tabla 76

Metrado y presupuesto (Propuesto Km 32 al Km 37)

ITEM	PARTIDAS	UNIDAD	METRADO TOTAL	PRECIO S/.	PARCIAL S/.
800	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL				
801.A	SEÑALES PREVENTIVAS 0.60m x 0.60m	u	72.00	308.21	22,191.12
802.A	SEÑALES REGLAMENTARIAS	u	7.00	338.91	2,372.37
803.C	SEÑALES INFORMATIVAS	m2	11.40	606.37	6,912.62
804.A1	POSTES DE SOPORTE DE SEÑALES	u	101.00	125.39	12,664.39
805.A	TACHA RETROREFLECTIVA	u	1,254.00	12.18	15,273.72
810.A	MARCAS EN EL PAVIMENTO	m2	11,218.63	8.35	93,675.54
820.A	BARRERAS DE SEGURIDAD	m	735.00	300.00	220,500.00
830.A	POSTE DE KILOMETRAJE	u	6.00	145.86	875.16
855.A	RESALTOS	m	27.00	626.91	16,926.57
856.A	CHEVRONES	u	22.00	361.52	7,953.44
857.A	POSTES DELINEADORES	u	31.00	176.23	5,463.13
					404,808.06

Nota: (Elaboración propia).

3.5. Inferencia Estadística

Contrastación de Hipótesis

Para la contrastación de la hipótesis general se utilizó el software SPSS v25, para medir la influencia de la aplicación del módulo CPM del software IHSDM en la mejora del análisis de seguridad vial, se obtuvo la frecuencia de accidentes (Pre-Test y Post-Test), se plantea la siguiente validación:

Hipótesis Nula (H₀):

- La aplicación del módulo CPM del software IHSDM no tendrá ningún efecto en la mejora del análisis de la seguridad vial.

Hipótesis Alterna (H_a):

- La aplicación del módulo CPM del software IHSDM ayudará a mejorar significativamente el análisis de la seguridad vial.

Prueba de Normalidad

Para la prueba de normalidad se plantea las siguientes hipótesis:

H₀: Hipótesis Nula – Los datos de la muestra, Si siguen una distribución normal

H_a: Hipótesis Alterna – Los datos de la muestra, No siguen una distribución normal

Nivel de significancia (α)

Sig. = 0.05, significa que asumiremos un 5% de error

Regla de decisión

Si p-valor del ensayo $< \alpha = 0.05$ entonces se rechazara la Hipótesis nula

Si p-valor del ensayo $\geq \alpha = 0.05$ entonces se aceptara la Hipótesis nula

Tabla 77

Pre-Test y Post-Test de la muestra variable dependiente

Año de Análisis	VARIABLE DEPENDIENTE PRE-TEST	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE POST-TEST
	ANALISIS DE LA SEGURIDAD VIAL EN LA ETAPA DE DISEÑO (APROBADO) Número total de choques durante un año de la utilización de Software X		ANALISIS DE LA SEGURIDAD VIAL EN LA ETAPA DE DISEÑO (PROPUESTO) Número total de choques durante un año de la utilización de Software Y
2024	7.32	"EL MÓDULO (CPM) DEL SOFTWARE IHSDM"	4.20
2025	7.74		4.44
2026	8.25		4.73
Total	23.31		13.36

Tabla 78

Resumen de procesamiento de casos

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Pre-Test IHSDM	3	100,0%	0	0,0%	3	100,0%
Post-Test IHSDM	3	100,0%	0	0,0%	3	100,0%

Tabla 79
Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pre-Test IHSDM	,192	3	.	,997	3	,893
Post-Test IHSDM	,194	3	.	,996	3	,885

a. Corrección de significación de Lilliefors

Para validar si la muestra sigue una distribución normal, se aplicó el test de Shapiro Wilk por que la cantidad de los datos es menor a 30

Aplicando la regla de decisión se tiene:

$$\text{Pre-Test: } 0.893 > 0.05$$

$$\text{Post-Test: } 0.885 > 0.05$$

Donde el nivel de significancia (sig.) es mayor a 0.05, entonces se acepta la (H₀) Hipótesis nula, se indica que los datos de la muestra siguen una distribución normal.

Elección de la prueba:

En esta investigación, la elección de la prueba T de Student para muestras relacionadas se justifica por la naturaleza de los datos recopilados y los objetivos del estudio. Al comparar el análisis de seguridad vial antes y después de aplicar el módulo CPM del software IHSDM, los datos son relacionados, ya que provienen del mismo grupo de muestras. La prueba T de muestras relacionadas es apropiada para este diseño, permitiendo evaluar si la mejora observada es estadísticamente significativa. Esta elección asegura que los resultados reflejen si el uso del módulo CPM efectivamente impacta de manera positiva en la seguridad vial en el diseño de carreteras, respaldando así la hipótesis planteada.

Contrastación de hipótesis

Tabla 80

Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desv. estándar	Media de error estándar
Par 1	Pre-Test IHSDM	7,77000	3	,465725	,268887
	Post-Test IHSDM	4,45333	3	,262980	,151831

Se puede observar cómo después de la implementación del módulo CPM del software IHSDM la media de la frecuencia de accidentes disminuye.

Tabla 81

Correlaciones de muestras emparejadas

		N	Correlación	Significación	
				P de un factor	P de dos factores
Par 1	Pre-Test IHSDM & Post-Test IHSDM	3	1,000	,001	,003

Tabla 82

Prueba de muestras emparejadas

		Media	Desv. estándar	Diferencias emparejadas		t	gl	Significación		
				Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia			P de un factor	P de dos factores	
				Inferior	Superior					
Par 1	Pre-Test IHSDM & Post-Test IHSDM	3,316667	,202752	,117059	2,813003	3,820330	28,333	2	<.001	,001

Regla de decisión

Si P-valor del ensayo $< \alpha = 0.05$, entonces se rechazara la Hipótesis nula

Si P-valor del ensayo $\geq \alpha = 0.05$, entonces se aceptara la Hipótesis nula

La significancia obtenida fue de $0.001 < 0.05$, lo que significa que hay una diferencia significativa en las medias en la frecuencia de accidentes de tránsito antes y después de la implementación del módulo CPM del software IHSDM, por lo cual se concluye que el tratamiento SI tiene efectos significativos, ya que en promedio los accidentes se reducen en 42.7%

Tabla 83

Tamaños de efecto de muestras emparejadas

		Standardizer ^a	Estimación	Intervalo de confianza al 95%	
			de puntos	Inferior	Superior
Par 1	Pre-Test IHSDM - d de Cohen	,202752	16,358	2,541	31,452
	Post-Test IHSDM corrección de Hedges	,359368	9,229	1,434	17,745

Tabla 84

Descriptivos

Muestra	Test	Estadístico
Pre-Test IHSDM	Media	7.7700
	Mediana	7.7400
	Varianza	0.2170
	Desv. estándar	0.4657
Post-Test IHSDM	Media	4.4533
	Mediana	4.4350
	Varianza	0.0690
	Desv. estándar	0.2630

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Se describen los resultados descritos en el Capítulo III de la presente investigación:

Los resultados de las pruebas estadísticas respaldan la hipótesis alternativa, lo que implica que la aplicación del módulo CPM del software IHSDM ha tenido un efecto significativo y positivo en la mejora del análisis de la seguridad vial en la etapa de diseño de la carretera Cutervo – Chiple Km 32 al Km 37. Estos hallazgos sugieren que el uso de esta herramienta tecnológica puede ser una contribución valiosa para la seguridad vial en el diseño de carreteras.

Como resultado obtenido del análisis del diseño aprobado (EDI) esto nos revela el incumplimiento de ciertos parámetros geométricos en comparación con la normativa actual vigente DG-2018, obteniendo los siguientes porcentajes de incumplimiento; 14.3% (radios mínimos); 25.7% (coordinación de curvas sucesivas); 87.0% (tangentes entre curvas “S”); 75.0% (tangentes entre curvas “O”); 34.3% (visibilidad curvas izquierda); 37.1% (visibilidad curvas derecha); 19.0% (parámetro “K”); 22.2% (curvas cóncavas); 16.7% (curvas convexas) y 4.50% (pendiente máxima). Lo que se traduce en (33%) de influencia del incumplimiento normativo en la seguridad vial.

En esta investigación, siguiendo el enfoque planteado por (Barbosa Samir, 2014), se utilizó el módulo de predicción de accidentes CPM del IHSDM con el propósito de identificar los puntos con mayor probabilidad de accidentes, basándose en datos históricos e inventarios de la geometría y estructuras complementarias de la vía. El objetivo primordial

fue buscar soluciones efectivas para reducir al mínimo la probabilidad y gravedad de los accidentes. Mediante la aplicación del mismo método de cálculo predictivo, en el presente estudio se obtuvo un estimado de 23 accidentes de tránsito para un período de 3 años (2024 al 2026). Estos accidentes se encontraron distribuidos en 5 zonas de alta probabilidad de ocurrencia, lo que destaca la relevancia de implementar métodos tecnológicos para complementar y mejorar las evaluaciones que los especialistas realizan.

De la misma manera que (Guevara & Norabuena, 2019), mediante el análisis de efectividad de las mejoras de seguridad vial propuestas con el método predictivo del HSM se obtuvo una reducción del 56% de la frecuencia de accidentes, en comparación con el resultado obtenido en la presente investigación, la cual fue de 42.7%, así como la investigación realizada por (Estrada & Soto, 2021), en el departamento de Cajamarca donde se obtuvo una reducción del 78% los accidentes de tránsito.

En esta investigación se propone el análisis comparativo de 4 métodos propuestos por la FHWA para el cálculo del efecto combinado de múltiples contramedidas (multiplicativo, aditivo, efecto dominante y residuos comunes dominantes), a diferencia de las investigaciones citadas anteriormente las cuales utilizan el método multiplicativo del HSM 2010, lo cual en ciertos casos subestima o sobreestima la magnitud de la eficacia de la combinación de múltiples CMF.

En el presente estudio se opta por la solución a corto plazo / bajo costo (mejora de la señalización) debido a las limitaciones, como la presencia de taludes altos de roca, zonas de deslizamiento de material, terraplenes o rellenos altos, obras de arte y estructuras ya construidas como alcantarillas y muros, que dificultan o hacen inviable las mejoras en el

diseño geométrico, comparando con el trabajo de (Guillermo A, 2018), en donde la investigación propone la aplicación de medidas de bajo costo, los cuales son herramientas técnicas simples y eficaces que pueden aplicarse para reducir el riesgo de ocurrencia de accidentes de tránsito.

Del análisis de la lista de chequeo Anexo 03, del Manual de Seguridad Vial correspondientes a una ASV se determinó en la revisión de los documentos del expediente (planos e informes), algunas observaciones a los parámetros de inseguridad vial en el diseño geométrico y señalización existente, los principales identificados son:

- Se observó en la información del expediente la falta de señales preventivas y la colocación de un reductor de velocidad en el km 36+200 cerca al colegio.
- Se ha comprobado que en algunas partes del tramo en estudio no se cumple con la visibilidad requerida por normativa. Ver las Tablas 47 y 48
- Se pudo verificar que ciertos elementos del alineamiento horizontal y vertical no cumplen con los valores mínimos según normativa. Ver Tablas 43 al 46
- El diseño aprobado solamente contempla tachas retroreflectivas en las curvas donde se proyectan barreras de seguridad.

Comparando el análisis realizado y aprobado (EDI), se comentan las siguientes propuestas para mejorar el análisis de seguridad vial

- El diseño aprobado (EDI) no incluye en su evaluación un capítulo dedicado al registro y análisis de las características físicas de la vía proyectada, la cual, si fue incluida en la presente investigación, donde se pudo identificar aquellos elementos de diseño que no cumplían con los estándares normativos vigentes.

- El diseño aprobado (EDI) no realizó un análisis de estimación o predicción de aquellas zonas de la vía que tienen una mayor probabilidad de ocurrencia de accidentes, este análisis si fue incluido en la presente investigación mediante el uso del módulo CPM del software IHSDM identificando 05 zonas de alta probabilidad de accidentes.
- El diseño aprobado (EDI) no incluye un diagnóstico integrado de la seguridad vial que considere aquellas zonas más vulnerables a la ocurrencia de accidente, este análisis si fue implementado en la propuesta de esta investigación donde se realizó un comparativo entre las zonas identificadas por el IHSDM y los elementos de incumplimiento normativo.
- El diseño aprobado (EDI) únicamente contempla una propuesta general para reducir y prevenir accidentes de tránsito mediante dispositivos de señalización sin considerar las particularidades de cada zona de riesgo identificada por el IHSDM. En contraste, en esta investigación se ha desarrollado una solución integral y personalizada para cada zona de alta probabilidad de accidentes detectada por el IHSDM. Se han añadido elementos de seguridad específicos y adaptados a las necesidades y características de cada tramo de la carretera, lo que garantiza una mayor eficacia en la prevención de accidentes y en la protección de los usuarios viales.
- El diseño aprobado (EDI) no incluyó una estimación sobre la reducción de accidentes, ya que tampoco se llevó a cabo un análisis de la probabilidad de ocurrencia de accidentes ni se identificaron las zonas vulnerables. En contraste, en la presente investigación se realizó una evaluación exhaustiva de la efectividad

en la reducción de la probabilidad de accidentes, mediante la implementación de contramedidas específicas en cada zona evaluada. Los resultados revelaron un factor de modificación de accidentes (CMF) de 0.573, el cual se ingresó en el software IHSDM para calcular la reducción estimada de accidentes, la cual arrojó un impacto positivo del 42.7%.

Limitaciones

Una de las limitaciones que se obtuvo en la presente investigación fue la imposibilidad de calcular el Factor de Calibración (Cr) debido a la falta de acceso a los reportes de accidentes de tránsito solicitados a la comisaría de Cutervo, específicamente en el tramo de estudio. Cabe destacar que, en otras investigaciones, como el estudio realizado por (Estrada & Soto, 2021) en el departamento de Cajamarca, se logró obtener el valor del Factor de Calibración, el cual fue de $Cr = 1.07$.

No forma parte de esta investigación evaluar la gestión de riesgos de seguridad vial en vías concesionadas, ni analizar desde un punto de vista contractual las responsabilidades del Concedente como del Concesionario, las investigaciones acerca de cláusulas de los contratos, transferencias de riesgos o conocer quien se encuentra en mejor posición para asumirlo, puede ser tema para futuras investigaciones.

Otra limitación de esta investigación radica en que no se ha llevado a cabo una evaluación costo-beneficio ni se ha determinado si el proyecto está económicamente justificado al implementar las contramedidas propuestas. Si bien se realiza una comparación del presupuesto asignado para los trabajos de Señalización de Seguridad Vial entre el expediente (EDI) y la propuesta de esta investigación, no se profundiza en el análisis de los

costos asociados con la implementación de las mejoras de seguridad vial. Esta limitación abre la oportunidad para que futuras investigaciones exploren la viabilidad económica de las soluciones propuestas.

Es relevante mencionar que, al desarrollar esta investigación, se utilizó información proveniente de valores de Crash Modification Factor (CMF) obtenidos de clearinghouse. Esto se debe a que, en el contexto peruano, aún no existen estudios ni publicaciones que cuantifiquen de manera específica el beneficio de la reducción de accidentes mediante la aplicación de contramedidas locales. Esta carencia de datos locales representa una limitación en la capacidad de esta investigación para ofrecer un análisis completamente ajustado a las particularidades de la región. No obstante, la elección de los valores de CMF de clearinghouse se realizó de manera cuidadosa, teniendo en cuenta las similitudes en condiciones y características viales cuando fue posible, y se proporciona un marco de referencia valioso para futuras investigaciones y adaptaciones a la realidad local.

Implicancia teórica: Los resultados obtenidos en esta investigación, al evaluar la seguridad vial mediante la aplicación del módulo CPM del software IHSDM en el diseño de carreteras, aportan nuevos conocimientos a la teoría de la ingeniería y la seguridad vial. La incorporación de un enfoque predictivo y la identificación de zonas de alta probabilidad de accidentes mediante el uso del software IHSDM complementa y enriquece los enfoques tradicionales de evaluación de la seguridad vial. Esto implica que la teoría de diseño y planificación de carreteras puede beneficiarse de una mayor objetividad al considerar factores específicos que influyen en la probabilidad o reducción de accidentes. Además, esta investigación proporciona un ejemplo práctico de cómo la implementación de herramientas

avanzadas de análisis de seguridad vial puede mejorar la toma de decisiones en el diseño de infraestructuras viales.

Implicancia metodológica: La metodología desarrollada en esta investigación proporciona una herramienta eficaz para identificar zonas de alta probabilidad de accidentes en el diseño de carreteras. La implementación de estas nuevas herramientas tecnológicas en la metodología actual puede servir como un enfoque sólido para futuros estudios de seguridad vial en otras carreteras rurales, permitiendo una evaluación más detallada de los riesgos y posibles mejoras en la seguridad vial, así como el análisis y evaluación de un método apropiado para agrupar y estimar la efectividad de la aplicación de múltiples contramedidas para la obtención del porcentaje de reducción de accidentes CMF combinado.

Implicancia práctica: La investigación ofrece beneficios prácticos y aplicables en el campo de la ingeniería vial y la planificación de infraestructuras de transporte. Al contar con una metodología integral y basada en datos que identifica zonas de alta probabilidad de accidentes, los profesionales encargados de la seguridad vial podrán tomar decisiones más informadas y precisas al diseñar medidas preventivas y mejoras en la carretera al implementar contramedidas específicas en cada zona de riesgo identificada por el IHSDM, lo que conlleva a una disminución significativa en la ocurrencia de accidentes y una mejora en las evaluaciones de seguridad vial en la etapa de diseño de nuevas carreteras rurales.

Implicancia social: La aplicación del módulo CPM del software IHSDM es de gran importancia para identificar zonas de alta probabilidad de accidentes y proponer mejoras específicas, esta investigación busca contribuir a la reducción de accidentes de tránsito y, por ende, a la disminución de lesiones y pérdidas de vidas en las carreteras. Al reducir la

ocurrencia de accidentes, se previenen tragedias y se promueve un entorno vial más seguro para todos. Esto, a su vez, genera un impacto positivo en la calidad de vida de la comunidad local y de los viajeros que utilizan la carretera Cutervo – Chiple.

4.2. Conclusiones

En referencia con el **objetivo general**, Mediante la utilización de este software avanzado, hemos logrado una comprensión más profunda y precisa de los riesgos de accidentes en el diseño de carreteras. La capacidad del IHSDM para modelar y simular diversos escenarios ha permitido una identificación temprana de las zonas críticas y ha facilitado la cuantificación de la probabilidad de accidentes. Al reducir esta probabilidad a través de la implementación de contramedidas específicas, hemos fortalecido de manera efectiva la seguridad vial en el proceso de diseño. Los resultados obtenidos demuestran que la utilización del IHSDM, al reducir significativamente la probabilidad de accidentes, no solo mejora el análisis de seguridad vial, sino que también allana el camino hacia un enfoque más proactivo y eficiente en la mitigación de riesgos en nuestras carreteras, beneficiando tanto a los usuarios de la vía como a la sociedad en su conjunto.

En cuanto al cumplimiento del **objetivo específico 1**, este estudio ha demostrado que el diseño geométrico de la carretera aprobada incumple con ciertos parámetros de la normativa vigente y que influyen en un 33.0 % en la seguridad vial del diseño de la carretera Cutervo – Chiple entre los Km 32 al Km 37. Los resultados resaltan la necesidad de una revisión y propuestas de mejora para garantizar una infraestructura vial segura y funcional, por lo que se acepta la hipótesis planteada en la investigación.

En cuanto al **objetivo específico 2**, se realizó una primera evaluación (Pre-Test) aplicando el módulo CPM del software IHSDM, obteniendo como resultado para un periodo de 3 años una predicción de 23.31 accidentes (promedio de 7.55 accidentes/año), también se puede establecer luego de la aplicación IHSDM que existen 5 zonas que presentan una alta tasa de accidentes, los cuales se han encontrado entre los siguientes kilómetros: (Km 32+450 al Km 32+880), (Km 34+570 al Km 35+000), (Km 35+150 al Km 35+480), (Km 35+720 al Km 36+200) y (Km 36+620 al Km 36+860), la identificación de estas zonas conlleva a realizar una evaluación independiente e integral en todo el tramo de estudio, por lo que se acepta la hipótesis planteada en la investigación.

En referencia con el **objetivo específico 3**, se establecen las siguientes contramedidas como propuesta de mejora para limitar la generación de accidentes de tránsito; Señalización vertical y horizontal; barreras de seguridad; bandas transversales; tachas retroreflectivas; tachones delineadores; despeje lateral; reductores de velocidad; chevrones; postes delineadores y reflectividad de la señalización en general. Luego de la evaluación y selección de los métodos apropiados para estimar la efectividad de la implementación de múltiples contramedidas, se obtuvo un valor de CMF combinado= 0.57, el cual fue utilizado para realizar una segunda evaluación (Post-Test) con el módulo CPM del software IHSDM en la cual se aprecia una reducción del 42.7% en la frecuencia de accidentes, por lo que se acepta la hipótesis planteada en la investigación.

4.3. Recomendaciones

Se recomienda a los ingenieros viales y los organismos encargados de la planificación y diseño de carreteras que consideren la implementación de nuevas tecnologías

como el módulo CPM del software IHSDM como parte integral de sus evaluaciones de seguridad vial en la etapa de diseño. La aplicación de esta herramienta permitirá identificar las zonas críticas de mayor probabilidad de accidentes, lo que facilitará la toma de decisiones informadas para implementar contramedidas específicas y mejorar significativamente la seguridad de las carreteras.

A raíz de los hallazgos que indican que el diseño geométrico de la carretera aprobada (EDI) no cumple con ciertos parámetros de la normativa vigente, se recomienda a las autoridades y profesionales responsables de la planificación y diseño de carreteras una evaluación continua y exhaustiva de la seguridad vial en vías existentes y la elaboración de un expediente de Saldo de Obra, que considere los criterios actuales de análisis de la seguridad vial.

Se recomienda a las entidades encargadas de la elaboración de los TDR que incluyan como un requerimiento técnico para la elaboración del expediente, el uso de métodos actualizados, herramientas tecnológicas y el uso de un software especializado de análisis de seguridad vial, que respalden las opiniones y decisiones de los profesionales, complementando y proporcionando un sustento sólido que ayude a fortalecer los expedientes, así como presentar propuestas concretas y efectivas para mejorar la seguridad vial, incluida por el consultor / proyectista en su diseño.

Se recomienda a los consultores, diseñadores y proyectistas que incluyan dentro de su metodología de evaluación de seguridad vial, la aplicación de herramientas tecnológicas como el software IHSDM el cual viene siendo implementado en otros países, fomentando la

competitividad profesional y brindando al país un diseño vial que contemple y reduzca los futuros siniestros viales.

Se recomienda el uso del software IHSDM como herramienta complementaria para realizar Auditorías de Seguridad Vial (ASV) e Inspecciones de Seguridad Vial (ISV), esto permitirá detectar áreas de riesgo y realizar intervenciones oportunas para mejorar la seguridad en puntos críticos y reducir la frecuencia de accidentes.

Se recomienda que las entidades y profesionales responsables utilicen el portal del Observatorio Nacional de Seguridad Vial (ONSV) para recopilar, analizar y difundir datos de siniestros viales. Esto proporcionará a los especialistas una base de datos confiable y actualizada que será una referencia sólida para futuras investigaciones y análisis. Además, contar con factores de calibración específicos para cada vía estudiada mejorará la precisión en las evaluaciones de seguridad vial, fomentando decisiones informadas y eficaces para mejorar la infraestructura vial y reducir los accidentes.

Se recomienda implementar programas de capacitación y formación para ingenieros viales y profesionales involucrados en la seguridad vial. Es esencial que estén familiarizados con el uso y las ventajas de nuevas tecnologías como el software IHSDM y el módulo CPM para una correcta aplicación en la etapa de diseño de carreteras. Asimismo, se debe fomentar el conocimiento sobre los factores de modificación de accidentes (CMF) y su utilización para calcular la efectividad combinada de las contramedidas propuestas y promover las investigaciones de (CMF) locales.

Se recomienda fortalecer activamente la promoción y el respaldo a la investigación en todas las etapas académicas. Las investigaciones desempeñan un papel esencial en el

avance del conocimiento, la innovación y la resolución de desafíos. Esta investigación logró un alcance significativo en la comprensión y abordaje del tema. Sin embargo, debido a la complejidad y evolución constante en este ámbito, se sugiere fuertemente la continuidad de estudios futuros para una mayor profundización. Nuevas investigaciones ampliarán la base de conocimientos, explorarán aspectos inexplorados y seguirán impulsando el desarrollo e innovación en esta área crucial.

Basados en los resultados de la entrevista con Ingenieros Especialistas en diseño de carreteras y seguridad vial (ver Anexo 11), se recomienda una valiosa oportunidad de promover la capacitación y difusión de nuevas tecnologías como el software IHSDM entre estos profesionales. Aquellos que mostraron interés en aprender a utilizar la herramienta podrían beneficiarse de programas de formación especializados. Además, para aquellos ingenieros que ya realizan la predicción de accidentes, se sugiere integrar el módulo CPM del software IHSDM en sus prácticas regulares de evaluación de seguridad vial. Cabe destacar que esta entrevista no está validada, por lo que se recomienda realizar estudios más exhaustivos para corroborar y profundizar en estas sugerencias.

Referencias

- Aguirre, M. (2021). *Propuesta de mejora en la red semafórica para el ordenamiento vehicular y peatonal de la Av. José de Lama – Sullana* [Informe de pregrado]. Universidad Privada Antenor Orrego.
https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/8510/3/REP_INCI_JOSE.ECHE_P_RISCILA.PALACIOS_ANALISIS.SEGURIDAD.VIAL.AVENIDA.PROLONGACION.GRAU.PIURA.pdf
- Barbosa, M. (2014). *Aplicación del módulo de predicción de accidentes (CPM) del software IHSDM a la vía Puerto Araujo – Landázuri entre el PR26 al PR30* [Informe de pregrado]. Universidad Pontificia Bolivariana Bucaramanga
<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/10084>
- Guillermo, A. (2018). *Mejoras en la seguridad vial con medidas de bajo costo*. [Informe de pregrado]. Pontificia Universidad Católica del Perú
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13044>
- Guevara, P. y Norabuena, J. (2019). *Análisis y Propuesta de Mejora de la Seguridad Vial en la carretera Panamericana Norte, tramo Variante de Pasamayo del km 55 al km 70 aplicando la Metodología del Manual de Seguridad Vial*. [Informe de pregrado]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/626485>
- Arévalo, J. (2020). *Análisis de la importancia del modelo de consistencia de velocidad en curvas cerradas de una carretera rural* [Informe de pregrado]. Universidad Nacional de Chimborazo.
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7219>
- Atauchi, F. y Quispe, D. (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* [Informe de pregrado]. Universidad Andina del Cusco.
<https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/3361>
- Bautista, J. (2021). *Análisis de la seguridad vial desde el diseño geométrico de la carretera Canchaque – Huancabamba* [Informe de pregrado]. Universidad de Piura.
<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/5083>
- Carrio, A. (2022). *Análisis de consistencia de las características geométricas para la seguridad vial de la carretera Cajamarca - C.P. Candopampa de acuerdo con las normas de diseño geométrico de Carreteras DG-2018* [Informe de pregrado]. Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5161>
- Chavarry, C. y Príncipe, G. (2021). Manual de seguridad vial para aumentar los niveles de infraestructura en las carreteras del Perú. *Pro Sciences: Revista De Producción, Ciencias E Investigación*, 5(38), 179-196. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol5iss38.2021pp179-196>

- Chungas, M. (2019). *Evaluación integral de la seguridad vial de la carretera Namora - Matara en función a sus parámetros de diseño y señalización* [Informe de pregrado]. Universidad Nacional de Cajamarca. <http://190.116.36.86/handle/20.500.14074/2980>
- CMF (25 de abril del 2023). *The Crash Modification Factors Clearinghouse provides a searchable database of CMFs along with guidance and resources on using CMFs in road safety practice.* Crash Modification Factors Clearinghouse. <https://www.cmfclearinghouse.org/index.php>
- Cubas, A. (2022). *Influencia de las características geométricas de la carretera San Juan – Chotén en la seguridad vial-Cajamarca* [Informe de pregrado]. Universidad Privada Antenor Orrego. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/8684>
- EDI Aprobado. *Formulación de estudios de preinversión (factibilidad) e inversión (expediente técnico) del proyecto “Rehabilitación y mejoramiento de la carretera PE3N longitudinal de la sierra norte, tramo: Cochabamba – Cutervo – Santo Domingo de la Capilla – Chiple* [Informe técnico]. Fondo Solidaridad Cajamarca y Los Andes de Cajamarca.
- El Comercio (2023). *Contraloría: existen 1879 obras públicas paralizadas a nivel nacional.* Editorial El Comercio. <https://elcomercio.pe/economia/peru/contraloria-existen-1879-obras-publicas-paralizadas-a-nivel-nacional-noticia/>
- Estrada, L. y Soto, S. (2021). *Análisis de la seguridad vial en la Av. Atahualpa, que une los distritos de Cajamarca y Baños del Inca, aplicando la metodología de inspección de seguridad vial y el método predictivo del manual HSM 2010, para la reducción de accidentes de tránsito en el año 2021* [Informe de pregrado]. Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/28235>
- FHA (24 de septiembre del 2022). *Highway Safety Manual.* Federal Highway Administration. <https://highways.dot.gov/safety/data-analysis-tools/highway-safety-manual>
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). (2022). *Alabama's West South Boulevard Redesign Safety Assessment.* U.S. Department of Transportation. <https://highways.dot.gov/safety/data-analysis-tools/rsdp/safety-data-case-studies>
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). (2023). *North Dakota's US 85 Expansion Environmental Impact Statement.* U.S. Department of Transportation. <https://highways.dot.gov/safety/data-analysis-tools/rsdp/safety-data-case-studies>
- Floréz, E.; Moreno, E. y Quintero, A. (2021). *Influencia de parámetros geométricos en la velocidad de los vehículos en carretera dos carriles de montaña. Caso de estudio en Pamplona-Colombia.* *Revista de estudios de transporte*, 22 (1), 1 – 21. [ARE](#)
- Generalitat Valenciana (2018). *Guía para la redacción del anejo de seguridad vial* [Informe técnico]. Generalitat Valenciana. <https://politicaterritorial.gva.es/documents/20088661/73471420/Guía+para+la+redacción+del+anejo+de+seguridad+vial/d4edbc12-0d31-4023-8a5b-6f50f437d578>

- Gobierno del Perú (2022). *Boletín estadístico de siniestralidad vial, 2022*. Gobierno del Perú. <https://www.onsv.gob.pe/post/boletin-estadistico-de-siniestralidad-vial-2022/>
- Gobierno del Perú (2022). *Informe de víctimas fatales en siniestros de tránsito e identificación de puntos de alta siniestralidad en la Región Cajamarca*. Gobierno del Perú. <https://www.onsv.gob.pe/post/informe-de-victimas-fatales-en-siniestros-de-transito-e-identificacion-de-puntos-de-alta-siniestralidad-en-la-region-cajamarca/>
- Gobierno del Perú (2023). *Reporte de Obras Paralizadas en el territorio nacional a diciembre 2022* [Informe técnico]. Gobierno del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/contraloria/informes-publicaciones/3868032-reporte-de-obras-paralizadas-en-el-territorio-nacional-a-diciembre-2022>
- Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, P. (2018). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill. <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/handle/54000/1292>
- Isuiza, M. D. (2021). *Análisis de la regulación en materia de seguridad vial en contratos de concesiones: hacia una asignación de responsabilidad al concesionario*. [Informe de postgrado]. Universidad del Pacífico. https://repositorio.up.edu.pe/bitstream/handle/11354/3396/Daza%2C%20Melissa_T%20abajo%20de%20investigaci%C3%B3n_Maestr%C3%ADa_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Horna, A. A. (2015). Desde la idea hasta la sustentación: 7 pasos para una tesis exitosa. http://students.aiu.edu/submissions/profiles/resources/onlineBook/R3d7A8_7%20pasos%20para%20elaborar%20una%20Tesis2015.pdf
- Huarhua, E. y Orcon, E. (2020). *Análisis de la seguridad vial en el tramo conformado por la Av. Abancay, Av. De la Raza, Av. Humberto Vidal Unda y Av. Tomasa Tito Condemayta usando el método del manual de seguridad vial peruano msv-2017* [Informe de pregrado]. Universidad Andina del Cusco. <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/3828>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2023). *Política Nacional Multisectorial de Seguridad Vial 2023 – 2030*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/campanas/18265-politica-nacional-multisectorial-de-seguridad-vial-2023-2030>
- Miranda, J. (2021). *Gestión vial rural y seguridad vial en el Instituto Vial Provincial de San Martín – 2020* [Informe de pregrado]. Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/67751>
- MTC (2017). *Manual de seguridad vial 2017* [Informe técnico]. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_2%20SV-2017.pdf

- MTC (2018). *Manual de carreteras: diseño geométrico DG – 2018* [Informe técnico]. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf
- OMS (2021). *Plan mundial para el decenio de acción para la seguridad vial 2021-2030*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/publications/m/item/global-plan-for-the-decade-of-action-for-road-safety-2021-2030>
- ONSV (31 de marzo del 2021). *Seguridad vial*. Observatorio Nacional de Seguridad Vial. <https://www.onsv.gob.pe>
- OSITRAN (2021). *Longitudinal de la sierra tramo 2: ciudad de Dios – Cajamarca – Chiple – Cajamarca – Trujillo – Dv. Chilete – Emp. PE3N* [Informe técnico]. OSITRAN. <https://www.ositran.gob.pe/anterior/wp-content/uploads/2020/07/id-longitudinal-sierra-t2-2021.pdf>
- Pérez, D. y Yauyo, J. (2020). *Replanteo físico y operacional de la rotonda monitor ubicada en el distrito de Santiago de Surco para mejorar su eficiencia y seguridad vial* [Informe de pregrado]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/653423/PEREZ_VD.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Pérez, J. (2019). Accidentabilidad y rediseño de la carretera poroy - urubamba, aplicando el modelo de predicción de accidentes en vías rurales del manual norteamericano. *Yachay - Revista Científica Cultural*, 7(01), 339–346. <https://doi.org/10.36881/yachay.v7i01.82>
- Pérez, Y. (2013). *Uso del módulo de predicción de accidentes (CPM) del IHSDM para evaluación de seguridad en segmentos de carreteras de dos carriles*, 18(2), 87-95. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5364516>
- IHSDM, *Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM): Overview* <https://highways.dot.gov/research/safety/interactive-highway-safety-design-model/interactive-highway-safety-design-model-ihsdm-overview>
- Sologuren, H. (2018). Implicancias de la revisión del expediente técnico de obra contemplado en el decreto supremo n.º 344-2018-ef, reglamento de la ley n.º 30225, ley de contrataciones del estado. *Ius Et Tribunalis*, 1(1), 1 – 12. <https://doi.org/10.18259/iet.2018007>
- Valverde, G. (2021). *Propuesta conceptual y diseño institucional para la atención de la seguridad vial en Perú* [Informe técnico]. IDB. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3082012/Informe%20Final%20Estudio%20Atención%20de%20la%20Seguridad%20Vial%20en%20el%20Perú.pdf.pdf>
- Vargas, P. (2018). *Evaluación de la accidentabilidad en la carretera nacional pe- 28 f, aplicando el modelo de predicción de accidentes para vías rurales de dos carriles - Highway Safety Manual HSM 2010 y propuesta de solución* [Informe de pregrado]. Universidad Andina del Cusco. <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/1961>
- Vassallo, F. (2020). *Avances en Seguridad vial: analizando la efectividad de los límites de velocidad y la incidencia del sector turístico* [Informe de posgrado]. Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/97768>

- Velásquez, V. y Arévalo, J. (2020). *Análisis de la importancia del modelo de consistencia de velocidad en curvas cerradas de una carretera rural* [Informe de pregrado]. Universidad Nacional de Chimborazo. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7219>
- Velásquez, V. y Guaranga, O. (2022). *Análisis de la importancia del modelo de consistencia de velocidad en curvas cerradas en la carretera Penipe – Baños* [Informe de pregrado]. Universidad Nacional de Chimborazo. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8901>
- Villacorta, J. (2018). *Los accidentes de tránsito y su relación con las características geométricas de la av. Héroes del Cenepa desde la av. Independencia hasta la av. Vía de evitamiento sur en la ciudad de Cajamarca* [Informe de pregrado]. Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1983/LOS%20ACCIDENTE%20DE%20TRÁNSITO%20Y%20SU%20RELACIÓN%20Y%20SUS%20CARACTERÍSTICAS%20GEOMETRICAS%20CON%20LA%20AV.%20HÉROES%20DE%20CENEPa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wang, L. (2020). Roundabout Safety Benefit-Cost Analysis in Nevada. *Revista dissertations*, 1 (1), 1 – 12. <https://www.proquest.com/openview/bea5e1b5edb9c751330905d1099d0a65/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Yanpeng, W.; Jin, X.; Xingliang, L; Zhanji, Z.; Heshan, Z. y Chengyu, W. (2022). Analysis on Risk Characteristics of Traffic Accidents in Small-Spacing Expressway Interchange. *Revista de Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19 (16), 1 – 12. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/16/9938>
- Zambrano, F. T. (2019). *Ejecución de expedientes técnicos con deficiencias en la construcción de obras de infraestructura pública – Perú*. [Informe de postgrado]. Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/42469/Taquire_ZIF.pdf?sequence=1&isAllowed=y