



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**LOCALIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS
DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN LA VÍA PUNO - ILAVE
ENTRE LOS AÑOS 2021 – 2022 Y PROPUESTA DE MEDIDAS
PREVENTIVAS**

TESIS

PRESENTADA POR:

CRISTIAN BUNIN QUISPE HUANACUNI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

LOCALIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS
PUNTOS CRÍTICOS DE ACCIDENTES DE
TRÁNSITO EN LA VÍA PUNO - ILAVE ENT
RE LOS AÑOS 2021 – 2022 Y PROPUEST
A DE MEDIDAS PREVENTIVAS

AUTOR

CRISTIAN BUNIN QUISPE HUANACUNI

RECUENTO DE PALABRAS

35232 Words

RECUENTO DE CARACTERES

178691 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

201 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

11.6MB

FECHA DE ENTREGA

May 6, 2024 9:09 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 6, 2024 9:12 AM GMT-5

● 11% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)


Ing. Samuel Huanacuni Cáceres
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 2007557

VºBº

06 MAYO 2024
Ing. Jaime Medina Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 910545
SUBDIRECTOR DE INVESTIGACION
FPC

Resumen



DEDICATORIA

La presente investigación se dedica a expresar mi reconocimiento y gratitud a mis padres Mario Quispe y Beatriz Huanacuni que me brindaron su incondicional apoyo en todo este camino, a quienes espero enorgullecer cada día y de algún modo devolver lo mucho que han hecho por mí, y también de manera muy especial a mis hermanas Yesica, Yaneth y Nohely por su comprensión, apoyo y complicidad.

Cristian Bunin Quispe Huanacuni



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme la oportunidad de lograr este objetivo en mi trayectoria profesional.

A mi madre, por su confianza, apoyo incondicional y complicidad a lo largo de mi vida, que han sido fundamentales para alcanzar mis metas.

A mi padre, por su confianza y apoyo durante mis años de formación, y por su contribución esencial en la realización de mis metas.

Expreso mi gratitud hacia mi asesor de tesis Dr. Samuel Huaquisto Caceres, por su paciencia y las valiosas orientaciones proporcionadas a lo largo del desarrollo y realización de esta investigación.

Cristian Bunin Quispe Huanacuni



ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|--|-----------|
| DEDICATORIA | |
| AGRADECIMIENTOS | |
| ÍNDICE GENERAL | |
| ÍNDICE DE TABLAS | |
| ÍNDICE DE FIGURAS | |
| ÍNDICE DE ACRÓNIMOS | |
| RESUMEN | 17 |
| ABSTRACT..... | 18 |
| CAPÍTULO I | |
| INTRODUCCIÓN | |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 19 |
| 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 21 |
| 1.2.1 Pregunta general:..... | 21 |
| 1.2.2 Pregunta específica: | 21 |
| 1.3 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN..... | 22 |
| 1.3.1 Objetivo general: | 22 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 22 |
| CAPÍTULO II | |
| REVISIÓN DE LITERATURA | |
| 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... | 23 |
| 2.2 MARCO TEÓRICO | 28 |
| 2.2.1 Accidente de transito..... | 28 |
| 2.2.1.1 Accidente de tránsito simples..... | 29 |



| | |
|---|----|
| 2.2.1.2 Accidente de tránsito múltiples..... | 30 |
| 2.2.1.3 Accidente vehicular en cadena..... | 31 |
| 2.2.1.4 Accidente de tránsito especiales..... | 31 |
| 2.2.2 Tipos de accidentes de tránsito | 32 |
| 2.2.2.1 Choque | 32 |
| 2.2.2.2 Colisión | 33 |
| 2.2.2.3 Volcadura | 34 |
| 2.2.2.4 Despiste | 34 |
| 2.2.2.5 Atropello | 35 |
| 2.2.3 Factores que influyen en los accidentes de tránsito | 36 |
| 2.2.3.1 Factor Humano..... | 37 |
| 2.2.3.2 Factor vehículo..... | 38 |
| 2.2.3.3 Factor vía..... | 38 |
| 2.2.3.4 Medio ambiente..... | 39 |
| 2.2.4 Seguridad vial..... | 39 |
| 2.2.5 Puntos críticos | 40 |
| 2.2.6 Localización de los puntos críticos de accidentes de tránsito | 41 |
| 2.2.6.1 Método del número o frecuencia de accidentes:..... | 41 |
| 2.2.6.2 Método de la tasa de accidentes..... | 45 |
| 2.2.6.3 Método del número – tasa | 49 |
| 2.2.6.4 Método del control de calidad de la tasa | 54 |
| 2.2.7 Diseño geométrico de carreteras | 56 |
| 2.2.7.1 Clasificación por demanda..... | 57 |
| 2.2.7.2 Clasificación por orografía..... | 58 |
| 2.2.7.3 Velocidad de diseño | 59 |



| | |
|--|----|
| 2.2.7.4 Distancia de velocidad de parada | 61 |
| 2.2.7.5 Diseño geométrico horizontal | 63 |
| 2.2.7.6 Diseño geométrico de la sección transversal | 68 |
| 2.2.8 Rugosidad del pavimento | 72 |
| 2.2.8.1 IRI según normas Internacionales | 75 |
| 2.2.8.2 Rugosímetro Merlín | 76 |
| 2.2.9 Dispositivos de control de tránsito | 77 |
| 2.2.9.1 Clasificación de marcas en la superficie de rodadura | 85 |

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

| | |
|---|-----------|
| 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN | 89 |
| 3.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN..... | 89 |
| 3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN | 89 |
| 3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO | 90 |
| 3.4.1 Población..... | 90 |
| 3.4.2 Muestra..... | 90 |
| 3.5 DATOS GENERALES DEL TRAMO DE INVESTIGACIÓN | 91 |
| 3.5.1 Ubicación política | 92 |
| 3.5.2 Ubicación geográfica | 92 |
| 3.5.3 Área de influencia del estudio..... | 93 |
| 3.6 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS | 93 |
| 3.6.1 Información de flujo vehicular..... | 93 |
| 3.6.2 Registro de accidentes de tránsito..... | 97 |
| 3.6.3 Estudio de velocidad en puntos críticos | 102 |
| 3.6.4 Datos de elementos geométricos de los puntos críticos | 104 |



| | | |
|---------|---|-----|
| 3.6.5 | Datos de la rugosidad del pavimento de los puntos críticos | 106 |
| 3.6.5.1 | Método de ejecución del ensayo con el instrumento Merlin..... | 106 |
| 3.6.6 | Datos de los dispositivos de control de tránsito de los puntos críticos . | 110 |

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | | |
|------------|---|------------|
| 4.1 | LOCALIZACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO..... | 112 |
| 4.1.1 | Localización de los puntos críticos de accidentes de tránsito | 112 |
| 4.1.1.1 | Método del número de frecuencia de accidentes | 112 |
| 4.1.1.2 | Método de tasa de accidentes | 116 |
| 4.1.1.3 | Método del número – tasa de accidentes..... | 121 |
| 4.1.1.4 | Método de control de calidad de tasa | 123 |
| 4.1.2 | Discusión de la localización de los puntos críticos | 128 |
| 4.2 | EVALUACIÓN DEL DISEÑO GEOMÉTRICO EN LOS PUNTOS CRÍTICOS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO..... | 129 |
| 4.2.1 | Discusión de la evaluación del diseño geométrico | 151 |
| 4.3 | EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO EN LOS PUNTOS CRÍTICOS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO | 151 |
| 4.3.1 | Discusión de la evaluación de la rugosidad del pavimento..... | 156 |
| 4.4 | EVALUACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL EN LOS PUNTOS CRÍTICOS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO | 157 |
| 4.4.1 | Discusión de la evaluación de los dispositivos de control de tránsito .. | 168 |
| 4.5 | PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS | 169 |
| 4.5.1 | Generalidades | 169 |
| 4.5.2 | Propuesta de diseño en tramo recto..... | 170 |
| 4.5.2.1 | Respecto al diseño geométrico | 170 |



| | | |
|--------------------|--|------------|
| 4.5.2.2 | Respecto a la rugosidad del pavimento..... | 170 |
| 4.5.2.3 | Respecto a los dispositivos de control de tránsito..... | 171 |
| 4.5.3 | Propuesta de diseño geométrico en tramo curvo..... | 172 |
| 4.5.4 | Propuesta económica para pavimento reciclado en tramo con baches.. | 182 |
| V. | CONCLUSIONES..... | 188 |
| VI. | RECOMENDACIONES | 190 |
| VII. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 191 |
| ANEXOS..... | | 199 |

Área: Transportes

Tema: Accidentes de tránsito

Línea de investigación: Transportes y gestión vial

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 17 de mayo del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|----------|--|
| Tabla 1 | Valores de k en según nivel de confianza 45 |
| Tabla 2 | Coefficiente de fricción longitudinal (1)..... 62 |
| Tabla 3 | Coefficiente de fricción longitudinal (2)..... 63 |
| Tabla 4 | Longitudes en los tramos tangente..... 64 |
| Tabla 5 | Radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras..... 66 |
| Tabla 6 | Longitud de anchos mínimos de calzada en tangente 69 |
| Tabla 7 | Longitud de ancho de berma..... 70 |
| Tabla 8 | Valores de peralte máximo 71 |
| Tabla 9 | Criterio para peralte mínimo 72 |
| Tabla 10 | Valores aceptables de rugosidad IRI (m/km) de acuerdo con el tipo de carretera..... 74 |
| Tabla 11 | Correlación de distancia entre la demarcación y la brecha..... 84 |
| Tabla 12 | Separación de postes delineadores..... 87 |
| Tabla 13 | Espaciamiento de delineadores “CHEVRON” 88 |
| Tabla 14 | Puntos críticos de estudio (P)..... 91 |
| Tabla 15 | Coordenadas geográficas 92 |
| Tabla 16 | Ubicación de estaciones de aforo vehicular..... 94 |
| Tabla 17 | Flujo vehicular mensual de la unidad de peaje Ilave 95 |
| Tabla 18 | Registro de accidentes de tránsito entre los años 2021 y 2022 en la vía Puno - Ilave 97 |
| Tabla 19 | Accidentes de tránsito de acuerdo al tipo de vehículo..... 98 |
| Tabla 20 | Tipos de accidentes de tránsito en la vía Puno - Ilave 99 |
| Tabla 21 | Causas de accidentes de tránsito en la vía Puno - Ilave..... 100 |



| | | |
|----------|--|-----|
| Tabla 22 | Gravedad de accidentes de tránsito en la vía Puno - Ilave..... | 101 |
| Tabla 23 | Resumen de velocidad percentil 85 en tramo recto | 103 |
| Tabla 24 | Resumen de velocidad percentil 85 en tramo curvo | 104 |
| Tabla 25 | Valores de la frecuencia (N_i), frecuencia media (N_m), desvío estándar (N_σ) y frecuencia límite (N_{lim})..... | 114 |
| Tabla 26 | Verificación del punto crítico método del número de frecuencia para los años de estudio según el criterio del nivel de confianza al 95% ($K = 1.645$) | 115 |
| Tabla 27 | Valores de la tasa (T_i), tasa media (T_m), desvío estándar (T_σ) y valor límite de la tasa (T_{lim}) | 118 |
| Tabla 28 | Verificación del punto crítico método tasa de accidente para los años de estudio según el criterio del nivel de confianza al 95% ($K = 1.645$) | 120 |
| Tabla 29 | Verificación de los puntos críticos para los años de estudio según el criterio del nivel de confianza al 95% ($K = 1.645$) | 122 |
| Tabla 30 | Valores de la tasa (T_i), tasa media (T_m), cantidad de tránsito (t_i) y tasa crítica (T_c)..... | 125 |
| Tabla 31 | Verificación del punto crítico según método control de calidad de tasa ... | 126 |
| Tabla 32 | Puntos críticos (PC) de la vía Puno - Ilave | 128 |
| Tabla 33 | Resumen de la evaluación de los elementos geométricos de puntos críticos | 150 |
| Tabla 34 | Lecturas de campo del instrumento Merlin | 152 |
| Tabla 35 | Determinación del IRI en los puntos críticos de la vía Puno – Ilave..... | 155 |
| Tabla 36 | Verificación del IRI in situ según el requerimiento de norma MTC (2013) | 156 |
| Tabla 37 | Inventario vial de señalizaciones en los puntos críticos de accidentes de tránsito..... | 167 |



| | | |
|----------|--|-----|
| Tabla 38 | Resumen de propuesta de elementos geométricos en curvas críticas de accidentes de tránsito | 181 |
| Tabla 39 | Análisis de los precios al 50% de material reciclado..... | 183 |
| Tabla 40 | Presupuesto de la carpeta asfáltica reciclada | 184 |
| Tabla 41 | Análisis de costos unitarios de demarcación en el pavimento..... | 184 |
| Tabla 42 | Análisis de costos unitarios de pintura en pavimento | 185 |
| Tabla 43 | Análisis de costos unitarios de tacha retrorreflectiva..... | 186 |
| Tabla 44 | Propuesta económica para la reparación del pavimento | 187 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1 Elementos que inciden en los accidentes de tránsito | 20 |
| Figura 2 Accidente de tránsito vehicular en la vía Puno – Ilave | 29 |
| Figura 3 Accidente de tránsito - choque vehicular | 32 |
| Figura 4 Accidente de tránsito - colisión vehicular | 33 |
| Figura 5 Accidente de tránsito - volcadura vehicular | 34 |
| Figura 6 Accidente de tránsito - despiste vehicular | 35 |
| Figura 7 Accidente de tránsito - atropello | 36 |
| Figura 8 Intervalos de velocidad de diseño según la categorización de la carretera, basados en la demanda y características topográficas. | 60 |
| Figura 9 Simbología y elementos de la curva circular | 65 |
| Figura 10 Sección transversal típica en carretera de dos carriles | 69 |
| Figura 11 Escala de rugosidad IRI (m/km) | 73 |
| Figura 12 Instrumento - bicicleta Merlin | 77 |
| Figura 13 Señales que indican prohibiciones de movimientos y cambios de dirección | 78 |
| Figura 14 Señalizaciones preventivas – en curvas horizontales | 80 |
| Figura 15 Señales informativas de servicios generales | 81 |
| Figura 16 Ejemplo de patrón de líneas discontinuas “p” | 84 |
| Figura 17 Ejemplo de tramo con prohibición de adelantamiento | 85 |
| Figura 18 Tacha retrorreflectiva u “ojo de gato” | 86 |
| Figura 19 Ejemplo de retrorreflectivo en postes delineadores | 86 |
| Figura 20 Señal de delineador de curva (P-61) - “CHEVRON” | 87 |
| Figura 21 Ejemplo de ubicación de delineadores “CHEVRON” | 88 |
| Figura 22 Delimitación de tramo de investigación | 92 |
| Figura 23 Estaciones de aforo vehicular | 94 |
| Figura 24 Flujo vehicular por mes Puno - Ilave | 96 |
| Figura 25 Flujo vehicular por año Puno - Ilave | 96 |
| Figura 26 Total de accidentes de tránsito en la vía Puno - Ilave | 98 |
| Figura 27 Accidentes de tránsito según tipo de vehículo | 99 |
| Figura 28 Tipos de accidentes de tránsito en la vía Puno - Ilave | 100 |



| | | |
|-----------|--|-----|
| Figura 29 | Causas de accidentes de tránsito en la vía Puno - Ilave..... | 101 |
| Figura 30 | Gravedad de accidentes de tránsito en la vía Puno - Ilave..... | 102 |
| Figura 31 | Levantamiento topográfico en el tramo curvo | 105 |
| Figura 32 | Levantamiento topográfico en el tramo recto | 105 |
| Figura 33 | Tablero Merlin para las mediciones a escala | 107 |
| Figura 34 | Hoja de campo para la medición de la rugosidad con Merlín..... | 108 |
| Figura 35 | Recorrido del instrumento Merlin para el registro de datos | 109 |
| Figura 36 | Toma de datos en hoja milimétrica con ayuda del instrumento Merlin..... | 109 |
| Figura 37 | Ensayo para la determinación de la rugosidad del pavimento..... | 110 |
| Figura 38 | Tramo 1: Km 1364+000 - Km 1365+000..... | 130 |
| Figura 39 | Tramo 3: Km 1366+000 - Km 1367+000..... | 131 |
| Figura 40 | Tramo 5: Km 1368+000 - Km 1369+000..... | 132 |
| Figura 41 | Tramo 7: Km 1370+000 - Km 1371+000..... | 133 |
| Figura 42 | Tramo 8: Km 1371+000 - Km 1372+000..... | 134 |
| Figura 43 | Tramo 9: Km 1372+000 - Km 1373+000..... | 135 |
| Figura 44 | Tramo 10: Km 1373+000 - Km 1374+000..... | 136 |
| Figura 45 | Tramo 12: Km 1375+000 - Km 1376+000..... | 137 |
| Figura 46 | Tramo 13: Km 1376+000 - Km 1377+000..... | 138 |
| Figura 47 | Tramo 16: Km 1379+000 - Km 1380+000..... | 139 |
| Figura 48 | Tramo 17: Km 1380+000 - Km 1381+000..... | 140 |
| Figura 49 | Tramo 21: Km 1384+000 - Km 1385+000..... | 141 |
| Figura 50 | Tramo 23: Km 1386+000 - Km 1387+000..... | 142 |
| Figura 51 | Tramo 24: Km 1387+000 - Km 1388+000..... | 143 |
| Figura 52 | Tramo 25: Km 1388+000 - Km 1389+000..... | 144 |
| Figura 53 | Tramo 29: Km 1392+000 - Km 1393+000..... | 145 |
| Figura 54 | Tramo 33: Km 1396+000 - Km 1397+000..... | 146 |
| Figura 55 | Tramo 37: Km 1400+000 - Km 1401+000..... | 147 |
| Figura 56 | Tramo 40: Km 1403+000 - Km 1404+000..... | 148 |
| Figura 57 | Tramo 42: Km 1405+000 - Km 1406+000..... | 149 |
| Figura 58 | Histograma de la distribución de frecuencias | 153 |
| Figura 59 | Calzada desgastada a falta de mantenimiento en el Km 1364+050..... | 157 |
| Figura 60 | Curva peligrosa a falta de tachas y postes delineadores en el Km 1371+330 | 158 |
| Figura 61 | Ausencia de reductor de velocidad en el Km 1372+300 | 158 |



| | | |
|-----------|---|-----|
| Figura 62 | Curva peligrosa a falta de tachas y postes delineadores en el Km 1373+200 | 159 |
| Figura 63 | Curva peligrosa a falta de tachas y postes delineadores en el Km 1376+460 | 159 |
| Figura 64 | Ausencia de señalizaciones y reductores de velocidad en el Km 1379+360 | 160 |
| Figura 65 | Ausencia de reductor de velocidad en el Km 1384+780 | 160 |
| Figura 66 | Señalización inadecuada en el Km 1386+860 | 161 |
| Figura 67 | Reductor de velocidad inapropiadamente localizado en el Km 1387+500 | 162 |
| Figura 68 | Reductor de velocidad en estado defectuoso en el Km 1387+530 | 162 |
| Figura 69 | Calzada desgastada a falta de mantenimiento en el Km 1387+670 | 163 |
| Figura 70 | Calzada con presencia de baches en el Km 1388+200 | 163 |
| Figura 71 | Reductor de velocidad en estado defectuoso en el Km 1392+210 | 164 |
| Figura 72 | Ausencia de reductores de velocidad en el Km 1396+800 | 164 |
| Figura 73 | Ausencia de reductores de velocidad en el Km 1400+670 | 165 |
| Figura 74 | Ausencia de señalizaciones y reductores de velocidad en el Km 1405 | 165 |
| Figura 75 | Señales de restricción inadecuadas en la vía | 166 |
| Figura 76 | Elementos de curva para el rediseño | 174 |
| Figura 77 | Alineamiento de rectas tangentes a la curva de estudio | 175 |
| Figura 78 | Longitud de transición del peralte en curva | 179 |
| Figura 79 | Sobreancho calculado de la vía | 180 |
| Figura 80 | Presencia de baches en el ingreso a llave | 182 |
| Figura 81 | Presencia de baches en Plateria | 182 |



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

| | |
|------------|--|
| PC: | Punto Crítico |
| IRI: | Índice de Rugosidad Internacional |
| TCA: | Tramo de concentración de accidente |
| MTC: | Ministerio de Transportes y Comunicaciones |
| SCT: | Secretaría de Comunicaciones y Transportes |
| MITMA: | Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana |
| DG-2018: | Diseño Geométrico de carreteras 2018 |
| DGST-2018: | Dirección General de Servicios Técnicos 2018 |
| IMDA: | Índice Medio Diario Anual |
| IMDS: | Índice Medio Diario Semanal |
| DIVOPUS: | División de Orden Público y Seguridad |
| PNP: | Policía Nacional del Perú |
| INEI: | Instituto Nacional de Estadística e Informática |
| SV: | Seguridad Vial |



RESUMEN

Debido a la frecuente ocurrencia de accidentes de tránsito registrados en la vía Puno – Ilave y la falta de evaluación de la incidencia de la vía en estos accidentes por parte de los reportes policiales, esta investigación tiene como objetivo localizar y evaluar los puntos críticos de accidentes de tránsito en la vía Puno – Ilave entre los años 2021-2022 y proponer medidas preventivas. La investigación es de tipo cuantitativa, no experimental, con un nivel descriptivo y tiene como población de estudio la vía Puno – Ilave, con una muestra de 20 puntos críticos. Según los reportes policiales, entre los años 2021 y 2022, se registraron un total de 153 accidentes de tránsito en esta vía, utilizando el método de control de calidad de la tasa de accidentes, se localizaron 5 puntos críticos de alta peligrosidad. En cuanto a los elementos geométricos en tramos curvos: el 30% no cumplen con el radio ni con peralte requerido, el 100% no cumple con el ancho mínimo de la calzada ni de la berma, y todas las curvas carecen de sobreebancho. En los tramos rectos: el 73% no cumple con la tangente máxima, y el 100% no cumple con el ancho mínimo de la calzada ni de la berma según la norma DG-2018. Respecto al estado del pavimento, en todos los puntos críticos el Índice de Rugosidad Internacional es menor de 4m/km, lo cual se consideran permisibles según las especificaciones de la norma EG-2013. Sin embargo, en relación con los dispositivos de control de tránsito, se observa la ausencia de señalización adecuada para el control de velocidades, carencia de tachas reflectivas y una notable falta de reductores de velocidad en zonas urbanas.

Palabras clave: Accidentes de tránsito, Diseño geométrico, Dispositivos de control, Rugosidad del pavimento, Puntos críticos.



ABSTRACT

Due to the frequent occurrence of traffic accidents recorded on the Puno - Ilave road and the lack of evaluation of the incidence of the road in these accidents by police reports, this research aims to locate and evaluate the critical points of traffic accidents on the Puno - Ilave road between the years 2021-2022 and propose preventive measures. The research is quantitative, non-experimental, with a descriptive level and has as study population the Puno - Ilave road, with a sample of 20 critical points. According to police reports, between the years 2021 and 2022, a total of 153 traffic accidents were recorded on this road, using the quality control method of the accident rate, 5 critical points of high danger were located. Regarding geometric elements in curved sections: 30% do not comply with the required radius or cant, 100% do not comply with the minimum width of the roadway or berm, and all curves lack over-width. In the straight sections: 73% do not comply with the maximum tangent, and 100% do not comply with the minimum width of the roadway or berm according to the DG-2018 standard. Regarding pavement condition, at all critical points the International Roughness Index is less than 4m/km, which is considered permissible according to the specifications of the EG-2013 standard. However, in relation to traffic control devices, there is an absence of adequate signage for speed control, lack of reflective stripes and a notable lack of speed bumps in urban areas.

Keywords: Traffic accidents, Geometric design, Control devices, Pavement roughness, Critical points.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

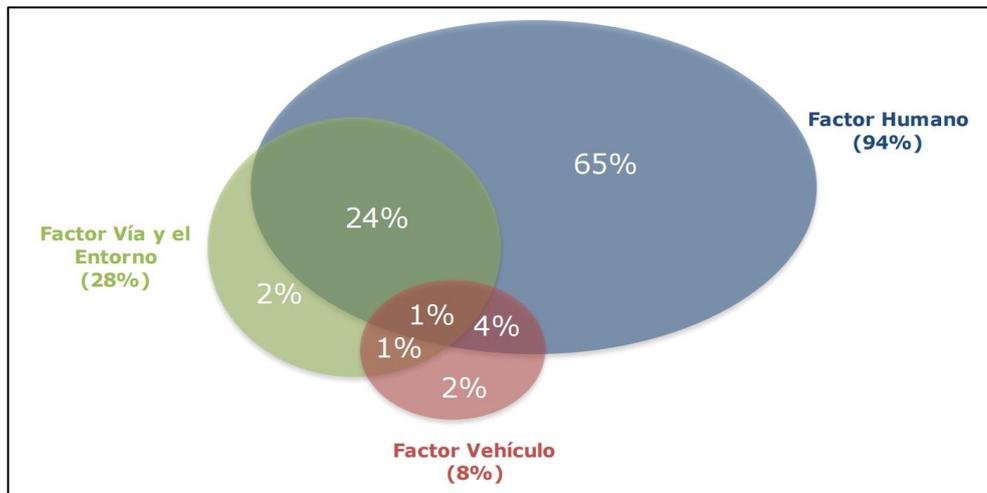
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según la Organización Mundial de la Salud (2023), cada año cerca de 1,19 millones de individuos pierden la vida debido a los accidentes de tránsito, esto implica que cada dos minutos fallece una persona debido a accidentes viales. Adicionalmente, entre 20 y 50 millones de personas sufren lesiones no fatales, varias de las cuales resultan en discapacidades permanentes. La probabilidad de fallecimiento para peatones impactados de frente por un vehículo aumenta drásticamente (por ejemplo, al incrementar la velocidad de 50 km/h a 65 km/h, el riesgo se multiplica por 4,5). Por ello, la OMS propone medidas efectivas que incluyen el desarrollo de infraestructuras viales más seguras y la integración de componentes de seguridad vial en la organización del uso de las carreteras y el transporte.

De acuerdo con el MTC (2017), los accidentes de tránsito en el Perú y a nivel mundial siguen aumentando. Se prevé que, si no se toman medidas de prevención inmediatas, el número de víctimas por incidentes de tráfico aumentarán y se convertirán en la quinta causa principal de defunción para el año 2030, a pesar de que actualmente ocupa el séptimo lugar. Según los estudios, hay tres factores principales que influyen en los incidentes de tránsito: factor humano, factor vía y entorno, y factor de vehículo.

Figura 1

Elementos que inciden en los accidentes de tránsito



Nota: Según el Manual de Seguridad Vial (2017, p. 45)

Por lo tanto, es importante ser cuidadoso al recopilar datos estadísticos, ya que en el Perú, la policía generalmente no registra la incidencia de la vía en la ocurrencia de un accidente, a menos que sea muy visible. Esta situación conduce a una sobrevaloración de la contribución de la imprudencia de las personas en la generación de accidentes. Por consiguiente, las estadísticas a nivel nacional a menudo reflejan una contribución desproporcionadamente alta por parte del usuario en comparación con la de la vía o el vehículo.

Según el Anuario Estadístico de Policial - PNP (2021), en el periodo 2021, el país experimentó un total de 74,624 accidentes de tránsito, lo cual representa un incremento del 30.02% en comparación con el año pasado. También se pudo evaluar el comportamiento de la influencia de los accidentes vehiculares en el departamento de Puno, se observa un aumento de accidentes de 602 a 1,266 casos, que representa el 110.30% de incremento.



A lo largo de los años, estos incidentes han cobrado la vida de numerosas personas. Por esta razón, es crucial evaluar las posibles causas de accidentes, tales como: el diseño geométrico, la rugosidad del pavimento y los dispositivos de control de tránsito en la carretera, para así proponer acciones preventivas. De acuerdo con las regulaciones actuales; el diseño geométrico, estado de la vía y las señalizaciones deben cumplir con parámetros adecuados para garantizar una maniobrabilidad y tiempo de respuesta apropiados.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Pregunta general:

¿Cuáles son los puntos críticos de accidentes de tránsito en la vía Puno - Ilave durante los años 2021-2022, y qué medidas preventivas podrían implementarse para mejorar la seguridad vial en estos tramos?

1.2.2 Pregunta específica:

- ¿Cuáles son las características del diseño geométrico en los puntos críticos de accidentes de tránsito en la vía Puno – Ilave durante el período 2021-2022?
- ¿Cuál es el estado de la rugosidad del pavimento en los puntos críticos de accidentes de tránsito en la vía Puno – Ilave durante los años 2021-2022?
- ¿Qué deficiencias presentan los dispositivos de control de tránsito en los puntos críticos de accidentes en la vía Puno – Ilave durante los años 2021-2022?



1.3 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general:

Localizar y evaluar los puntos críticos de accidentes de tránsito en la vía Puno – Ilave entre los años 2021-2022 y proponer medidas preventivas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar el diseño geométrico en los puntos críticos de accidentes de tránsito en la vía Puno – Ilave entre los años 2021-2022.
- Evaluar la rugosidad del pavimento en los puntos críticos de accidentes de tránsito en la vía Puno – Ilave entre los años 2021-2022.
- Evaluar las deficiencias de los dispositivos de control en los puntos críticos de accidentes de tránsito en la vía Puno – Ilave entre los años 2021-2022.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Cadengo et al. (2020) realizaron una investigación titulada “Clasificación de las carreteras según su riesgo de siniestralidad vial considerando la interacción de sus elementos físicos, geométricos y operacionales”, en colaboración con el Instituto Mexicano del Transporte, indican que en una vía establecida, la rapidez con la que operan los vehículos no es independiente, sino que está considerablemente influenciada por las características estructurales de la carretera, particularmente por la sección transversal, que influye en las necesidades de los conductores y peatones sobre la funcionalidad de la carretera. En consecuencia, cada componente de la vía respecto al diseño geométrico (como la alineación horizontal y vertical, sección transversal y su coherencia) junto con los dispositivos de seguridad vial, deben estar en armonía con el propósito de la vía, lo que a su vez define la velocidad que los conductores consideran adecuada. Además, se pueden generar accidentes por "exceso de velocidad" si la infraestructura vial no cuenta con una regulación efectiva de la velocidad y sus características inducen a los conductores a superar la velocidad de diseño. De acuerdo con el estudio realizado, se concluyó que las características geométricas de la vía analizada no satisfacen las condiciones establecidas en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras DGST-2018.

Asprilla et al. (2017), en su artículo "Señalización y seguridad vial en buses de tránsito rápido: el transmilenio en Bogotá", citan el Manual de Señalización Vial de Colombia de 2015, el cual establece que las señales de tráfico deben cumplir con cuatro criterios esenciales: visibilidad, legibilidad, comprensibilidad y credibilidad. No obstante, el estudio revela que la distancia de visibilidad de las señalizaciones verticales no cumple



con las especificaciones del manual y presenta deficiencias significativas. En cuanto a las señalizaciones horizontales, se detecta una legibilidad insuficiente o inexistente en las marcas de cebras y las líneas divisorias de carriles. Además, la distribución de fondos por parte de las organizaciones responsables del mantenimiento y rehabilitación no ha priorizado la señalización vial, lo que ha contribuido al incremento de accidentes. Esto subraya la urgencia de implementar políticas públicas que enfatizen la importancia de la señalización como un elemento fundamental para la seguridad vial.

Reyes (2021), en su tesis que tiene como objetivo fundamental establecer la influencia de la señalización vial en los accidentes de tránsito, distrito de Huancayo – Junín 2019. Empleó un diseño no experimental y aplicado de carácter explicativo. Para el estudio, se seleccionó intencionalmente una muestra no probabilística compuesta por 36 encuestados de una población total de 60 individuos, incluyendo tanto conductores como peatones. Los resultados del estudio indicaron que la señalización vial fue un factor directo y significativo en el 72% de los accidentes de tránsito registrados en el distrito de Huancayo-Junín en 2019. Adicionalmente, se encontró que variables relacionadas con el tránsito vehicular, como el número de vehículos, las velocidades, las densidades y los flujos de tráfico, tuvieron una influencia significativa en el 34% de los accidentes durante el mismo periodo y región.

Málaga (2010), indica en su artículo "Medidas y estrategias para la prevención y control de los accidentes de tránsito: experiencia peruana por niveles de prevención", que la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 2007, en el Perú se registraron 3,510 víctimas mortales relacionadas con la siniestralidad de los accidentes de tránsito, de las cuales el 78% eran hombres. Además, de los 49,857 heridos registrados, el 78% correspondían a peatones, el 10% a pasajeros y el 8% a conductores. El 70% de los accidentes tuvieron lugar en la ciudad del Callao. Un estudio descriptivo que analizó



529,567 incidentes reveló que existían 12.1 víctimas mortales por cada 100,000 personas, siendo que las colisiones representaron el 57.2% de los incidentes, seguidos por los atropellos a peatones con un 29.1%, las caídas de pasajeros con un 3.5% y los vuelcos de vehículos con un 2.9%. Este mismo estudio señaló que la velocidad excesiva es la mayor causa de accidentes de tránsito, acompañado de la negligencia y el consumo de bebidas alcohólicas. Es imprescindible mejorar la caracterización del problema relacionado con los accidentes de tránsito con el propósito de establecer normas rígidas y efectivas en este ámbito. El establecimiento de líneas de base para las políticas que se pondrán en marcha es vital, y se aconseja que se lleven a cabo nuevas evaluaciones con el uso de estudios de evaluación económica y pruebas científicas. Es significativo señalar que, salvo el estudio realizado en el distrito limeño de La Victoria, hasta la actualidad no se ha llevado a cabo ninguna evaluación a nivel nacional o local en Perú para determinar el impacto de estos factores en la cantidad de accidentes de tránsito.

Cusi (2021), en su tesis que tiene como objetivo fundamental examinar los efectos de los dispositivos de control y de la geometría de las vías urbanas, de conformidad con las normas vigentes, en los tramos de carretera de circunvalación de Cusco en los que se produce el mayor número de incidentes de tráfico. La metodología aplicada en esta investigación se basó en un enfoque cuantitativo de nivel de investigación explicativo y se implementó mediante un diseño no experimental de carácter longitudinal. Se empleó una herramienta metodológica basada en formularios de recopilación de datos, en la que los tramos de carretera sirvieron de población de la investigación y las partes concretas con una elevada frecuencia de accidentes de tráfico sirvieron de muestra de estudio. El proceso de investigación comprendió cuatro fases esenciales en el ámbito de la ingeniería. En primer lugar, se llevó a cabo la recopilación de información, que incluyó el registro de incidentes y un estudio del flujo vehicular en la vía, realizado en tres estaciones



diferentes. Los resultados mostraron un Índice Medio Diario Anual (IMDA) promedio de 12,016 vehículos por día en 2016 y de 27,750 vehículos por día en 2019. En segundo lugar, se realizó un análisis preliminar para identificar los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) mediante cinco métodos distintos. La tercera etapa consistió en la realización de un estudio topográfico en los TCA para evaluar sus propiedades geométricas de conformidad con las normas DG-2018 del MTC y los dispositivos de control del tráfico. Tras la identificación y evaluación de los TCA, se formularon recomendaciones de mejora con el objetivo de potenciar las condiciones de vida de los usuarios. La identificación y evaluación de los siete TCA a lo largo de la vía de evitamiento se llevó a cabo de manera precisa. No obstante, las características geométricas en comparación con el Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas no cumplen con las especificaciones. Además, en cuanto a los dispositivos de control en los TCA, se observa su ausencia, lo cual contribuye a la ocurrencia de accidentes de tránsito, desde leves hasta letales, en estos puntos críticos.

Arias (2019), menciona que en la presente tesis tiene como objetivo analizar las propiedades geométricas de la carretera Puno – Laraqueri que influyen en los accidentes de tránsito, contrastándolas con los parámetros establecidos en la normativa actual. En la etapa inicial, se realizó la caracterización de los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) y se recopilaron datos sobre los accidentes registrados entre 2017 y 2018 en los kilómetros 00+000 al 40+000. Utilizando enfoques sugeridos por la Transportation Research Board (TRB) de Estados Unidos, se identificaron 7 TCA. Posteriormente, se llevó a cabo una comparación entre la calzada, berma, peralte y radio de curva de acuerdo con las normas determinadas en el Diseño Geométrico DG-2018, que establece medidas mínimas de 7.20 metros para la calzada, 2.0 metros para la berma, un radio mínimo de 230 metros, y un peralte de rango de 2% a 8%. Se evidenció un incumplimiento de las



especificaciones de la longitud de la calzada y de la berma en todos los tramos examinados, así como una falta de cumplimiento del radio mínimo en la zona del kilómetro 29+000. Estos resultados indican una correlación directa entre las características geométricas y los accidentes, lo que condujo a replantear dichos elementos geométricos.

Chambi & Suaña (2017), en su tesis mencionan que el objetivo de su estudio es localizar, examinar y sugerir métodos preventivos para los tramos de la carretera Puno-Juliaca donde los accidentes de tráfico son más frecuentes. Una parte de la red de carreteras que tiene una posibilidad de accidente mucho mayor que el promedio de tramos con características comparables se denomina tramo de concentración de accidentes. Para identificar estas zonas de alta peligrosidad se utilizaron varias técnicas y procedimientos analíticos, entre ellos el método del número de accidentes, tasa de accidentes, tasa numérica, control de calidad de la tasa y el índice de peligrosidad. Cada método fue evaluado y analizado, concluyendo que el método del control de calidad de la tasa resultó ser el más apropiado. A continuación, en cumplimiento de la normativa vigente, se confirmaron las mediciones realizadas sobre el terreno en relación con los componentes geométricos y los dispositivos de control del tráfico. Se propusieron medidas preventivas y se determinó su relación con zonas de alta concurrencia de accidentes de tráfico.

Pampamallco & Huaquisto (2020), en su tesis indican que el objetivo de su estudio es evitar los accidentes de tránsito vehicular en las zonas críticas de la vía Juliaca – Marangani mediante la creación de una estrategia de prevención. Este plan fue desarrollado después de examinar, de acuerdo con las normativas actuales, el diseño geométrico de la vía y los dispositivos de control de tráfico. Los tramos críticos son segmentos de la infraestructura vial donde se experimenta un número significativamente alto de accidentes de tráfico, superando notablemente el promedio de tramos con



características similares. Para determinar los puntos de alta siniestralidad de la ruta Juliaca - Marangani se emplearon numerosas técnicas y procedimientos analíticos, como el índice de siniestralidad, el método de la tasa de accidentes, el método del número de accidentes por tramo, el método de control de calidad de la tasa y el método del número de accidentes. La información facilitada por las numerosas comisarías de policía encargadas de la carretera se evaluó y examinó mediante estas técnicas. Se concluyó que el método del control de calidad de la tasa resultó ser el más efectivo para esta identificación. Como resultado, se identificaron 12 tramos críticos en la carretera Juliaca – Marangani. Posteriormente, se compararon las características descubiertas sobre el terreno con las especificadas en las guías de diseño geométrico y con las señales que cumplían los requisitos más recientes. En última instancia, el objetivo de la estrategia de mitigación era reducir el número de accidentes de tráfico. Se espera que las organizaciones necesarias, incluida PROVIAS - Nacional, responsable del mantenimiento de la ruta Juliaca - Marangani, encuentren beneficiosa esta información.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Accidente de tránsito

Según el MTC (2009), indica que el accidente de tránsito es incidente en causar daños personales o materiales y es resultado directo de la circulación de vehículos (p. 8).

Según la Policía Nacional del Perú (2020), menciona que un accidente de tránsito es un suceso culposo que ocurre de forma repentina y casual, aunque es predecible y prevenible, y tiene lugar en una vía de tráfico vehicular. Este evento involucra factores de tráfico, incluyendo al menos una unidad vehicular en

circulación, y como consecuencia dejando en perjuicios materiales, lesiones o la muerte a los usuarios de la vía.

Figura 2

Accidente de tránsito vehicular en la vía Puno – Ilave



Fuente: La República, 18 de agosto del 2022

2.2.1.1 Accidente de tránsito simples.

De acuerdo a Ortiz (2015), afirma que un accidente de tránsito simple es cuando interviene un solo vehículo en circulación sobre una vía y en el que está relacionada directamente o indirectamente con el factor humano, entre estas tenemos:

- **Choque:** Es el impacto de un vehículo en desplazamiento contra un objeto estático, estas pueden ser: una o varias personas en reposo, vehículo estático, una casa, árbol, etc. (Ortiz, 2015, p. 4).

Choque: Es el encuentro de una unidad vehicular en circulación y otro vehículo u objeto estático (Reyes, 2021, p. 50).

Choque: Se refiere al tipo de accidente de tránsito en el que ocurre una colisión entre un vehículo en movimiento y otro objeto, que puede



ser otro vehículo, ya sea estacionado o en movimiento, o un animal. (PNP, 2020, p. 14).

- **Volcadura:** Sucede cuando el conductor de un vehículo en circulación pierde el control de este, produciendo que el vehículo se invierta o se dé una o más vueltas (Ortiz, 2015, p. 4).
- **Despiste:** Consiste en la salida o abandono de un vehículo en circulación de la calzada por pérdida de control del conductor (Ortiz, 2015, p. 4).

2.2.1.2 Accidente de tránsito múltiples.

Según la Policía Nacional del Perú (2020), indica que un accidente de tránsito múltiple es cuando existe la participación de al menos dos vehículos en desplazamiento o de un vehículo en circulación y un peatón, entre estas tenemos:

- **Choque de impacto múltiple:** Se trata de accidentes en los que están involucrados al menos dos vehículos en desplazamiento o un vehículo en desplazamiento y un peatón (PNP, 2020, p. 27).

Colisión: Es el impacto de por lo menos dos vehículos en desplazamiento, entre las que se pueden considerar son: frontal, embiste, por alcance y lateral (Ortiz, 2015, p. 7).

Colisión: Es el impacto que suscita entre dos o más vehículos en circulación (Reyes, 2021, p. 50).

- **Atropello:** Es cuando uno o más peatones son atropellados por un vehículo en circulación, por el tamaño y el nivel de protección entre un coche y un peatón hacen que estos incidentes sean frecuentemente



mortales, entre estas tenemos: atropello por proyección, volteo, aplastamiento, compresión y arrastramiento (Ortiz, 2015, p. 7).

- **Caída de pasajero:** Consiste en que uno o varios pasajeros que se encuentran dentro de un vehículo sufren una caída mientras el vehículo está en movimiento, esto puede ocurrir dependiendo de los factores incidentes como: la conducta del conductor y del pasajero, el estado del vehículo y las condiciones de la vía (Ortiz, 2015, p. 7).

2.2.1.3 Accidente vehicular en cadena.

Según el manual de normas de la Policía Nacional del Perú (2020), menciona que los accidentes vehiculares en cadena son las colisiones donde estén implicados más de tres automóviles, los que provoquen que un vehículo colisione con otro, que a su vez golpea a otro, y así sucesivamente, creando una cadena de colisiones, todo esto se produce en la misma vía de circulación (p. 13).

2.2.1.4 Accidente de tránsito especiales.

De acuerdo a Cubillaz et al. (2015), indican que estos accidentes ocurren por factores ambientales, como son: caída de materiales de los taludes, desbordamientos en la vía, el clima (presencia de lluvias, granizada o nieve en la vía), entre otros (p. 21).

2.2.2 Tipos de accidentes de tránsito

2.2.2.1 Choque

De acuerdo a la Policía Nacional del Perú (2020), se refiere al impacto de un automóvil en circulación contra un objeto estático, entre ellas podemos encontrar:

- **Choque frontal**, es el impacto de la parte delantera del vehículo contra un objeto estático, ocasionando un accidente grave según la velocidad de circulación.
- **Choque lateral o trasera**, es el impacto que se produce por rozamiento o por impacto al retroceso del vehículo en movimiento, ocasionando un accidente de tránsito severo según la velocidad de circulación (p. 25).

Figura 3

Accidente de tránsito - choque vehicular



Nota: Extraído de Pachamama Radio, 10 de junio del 2018

2.2.2.2 Colisión

Según Ortiz (2015), menciona que es el impacto entre más de dos vehículos en pleno movimiento, entre las que se pueden considerar son:

- **Colisión frontal**, es el resultado de la colisión de dos vehículos que circulan en sentidos opuestos.
- **Colisión por embiste**, es en el caso de que un automóvil impacta directamente su parte delantera contra la parte lateral del otro automóvil que se desliza en sentido perpendicular.
- **Colisión por alcance**, es el impacto que se produce entre dos unidades vehiculares que transitan en el mismo sentido, colisionando la parte trasera del otro vehículo que se encuentra delante de él.
- **Colisión lateral**, es el impacto entre dos unidades vehiculares que transitan en el mismo sentido, impactando la zona lateral del otro vehículo (p. 7).

Figura 4

Accidente de tránsito - colisión vehicular



Nota: Extraído de Onda Azul, 27 de diciembre del 2023

2.2.2.3 Volcadura

Arias (2019), menciona que la volcadura sucede cuando el conductor de un vehículo en circulación pierde el control de este, produciendo que el vehículo se invierta o se dé una o más vueltas, entre ellas se tiene:

- **Volcadura tipo tonel**, es la volcadura de la unidad de transporte donde el vehículo se vuelca sobre su costado girando sobre su eje longitudinal.
- **Volcadura tipo campana**, es la volcadura de la unidad de transporte donde el vehículo se voltea completamente, generando más de una vuelta (p. 27).

Figura 5

Accidente de tránsito - volcadura vehicular



Nota: Extraído de RPP, 17 de febrero del 2027

2.2.2.4 Despiste

La Policía Nacional del Perú (2020), menciona que el despiste consiste en la salida o abandono de un vehículo en circulación de la calzada por pérdida de control del conductor, entre ellas tenemos:

- **Despiste parcial**, es cuando algunas de las ruedas del vehículo se salen de la vía en circulación.
- **Despiste total**, es cuando todas las ruedas del vehículo se salen de la vía en circulación (p. 26).

Figura 6

Accidente de tránsito - despiste vehicular



Nota: Extraído de Diario el Correo, 28 de mayo del 2021

2.2.2.5 Atropello

Ortiz (2015), indica que el atropello es cuando uno o varios peatones son impactados por un vehículo, por el tamaño y el nivel de protección entre un coche y un peatón hacen que estos incidentes sean frecuentemente mortales, entre estas tenemos:

- **Atropello por proyección**, es cuando un vehículo golpea a un peatón y este revota hacia la dirección del desplazamiento del automóvil, esto sucede cuando el vehículo impacta al peatón con suficiente fuerza como para lanzarlo hacia adelante en lugar de simplemente derribarlo.
- **Atropello por volteo**, esto ocurre cuando un vehículo impacta con un peatón con la fuerza suficiente como para hacerlos rodar sobre el capó o la parte superior del vehículo.

- **Atropello por aplastamiento**, es aquella en la que cualquiera de las llantas del vehículo pasa sobre el peatón.
- **Atropello por compresión**, es cuando un vehículo impacta sobre el peatón y un punto fijo, de tal manera que el peatón se encuentre entre el vehículo y el punto fijo.
- **Atropello por arrastramiento**, es aquella cuando un vehículo arrolla a un peatón y lo arrastra una cierta distancia después del impacto. Esto puede ocurrir cuando el vehículo engancha alguna parte del cuerpo o la vestimenta del peatón, lo que provoca que sea arrastrado junto con el vehículo (p. 8).

Figura 7

Accidente de tránsito - atropello



Nota: Extraído de Perú 21, 18 de agosto del 2013

2.2.3 Factores que influyen en los accidentes de tránsito

De acuerdo con la Policía Nacional del Perú (2020), indica que el hombre, la vía y el vehículo son los factores primordiales que interactúan y se relacionan entre sí para que ocurra un accidente de tránsito. Como también no deja de lado



el medio ambiente como un nuevo factor significativo para evaluar, diseñar y planificar (p. 20).

Según el MTC (2017), los principales factores contribuyentes a los accidentes de tránsito son: la infraestructura y/o vía, el vehículo y el usuario. Indicando también que un accidente de tránsito puede tener a dos o incluso a los tres factores como participante en mayor o menor incidencia. Esta característica hace difícil determinar quién es el culpable de una colisión, ya que un elemento podría identificarse erróneamente como la causa principal cuando se desconoce la incidencia de los demás factores (p. 44).

Según Irureta (2017), el sistema de transporte está conformado por tres elementos; el usuario (elemento humano), las máquinas (automotor) y ambiente (elemento vía o entorno). También compara el triángulo del fuego (calor, combustible y oxígeno) con el triángulo del accidente (hombre, vía y vehículo), indicando que los tres elementos son indispensables y suficientes para producir una llama (fuego) o un accidente de tránsito (p. 31).

2.2.3.1 Factor Humano

De acuerdo con el MTC (2017), este factor constituye una de las causas más comunes de los accidentes viales y va relacionada directamente con el estado o situación que se encuentre el conductor y/o peatón, según la condición se puede presentar por; enfermedades, fatiga, imprudencia o falta de experiencia del conductor y/o peatón (p. 45).

La Policía Nacional del Perú (2020) indica que el factor humano es el componente más crítico correspondiente a los accidentes viales y al mismo tiempo es uno de los más complicados de analizar (p. 20).

2.2.3.2 Factor vehículo

Según la Policía Nacional del Perú (2020), es el factor que tiene un rol en la incidencia de los accidentes de tránsito y va relacionado directamente con la falla mecánica y/o técnica del vehículo, entre ellas tenemos; un deficiente mantenimiento, frenos defectuosos, neumáticos gastados, fallas en los sistemas de iluminación, entre otros.

2.2.3.3 Factor vía

Según la Policía Nacional del Perú (2020), que los elementos de la vía (vereda, sardinel, berma, calzada, cuneta y entre otros) y el material de la superficie (pavimento regido, pavimento flexible, afirmado y otros), influyen en los accidentes de tráfico.

Según el MTC (2017), este factor se refiere a todas las condiciones de la infraestructura vial, influyendo directamente en los accidentes de tránsito, para los cuales se tiene los siguientes elementos:

- **Diseño de la vía:** Es el diseño geométrico de la carretera según necesidades establecidas, en los que intervienen características importantes como: elementos geométricos en planta (curvas circulares, curvas compuestas, tramos rectos, peralte y sobreebancho), elementos geométricos en perfil (pendiente, curvas verticales) y elementos geométricos de la sección transversal (calzada, bermas, bombeo, peralte, cuneta, taludes).
- **Estado del pavimento:** Es el estado de la superficie de la vía en las que con baches, grietas o zonas resbaladizas por la lluvia o el hielo (nieve o granizo) pueden hacer más probable que se produzca un

accidente de tránsito, sobre todo si los conductores pierden el control de sus vehículos.

- **Señalización de la vía:** Las señalizaciones viales son sistemas de comunicación visual que utiliza dispositivos de control, marcas y señales de tránsito, tanto horizontales como verticales para informar a conductores y peatones sobre los reglamentos de tránsito, el estado de las carreteras y otra información crucial relacionada con la seguridad vial. La señalización vial es esencial para dirigir el tráfico y prevenir accidentes.

2.2.3.4 Medio ambiente

Según la Policía Nacional del Perú (2020), indica que el factor del medio ambiente en la incidencia de los accidentes de tránsito alude a las condiciones ambientales y meteorológicas que influyen en la seguridad vial y aumentar el riesgo de accidentes. Estas condiciones pueden influir en la visibilidad, la adherencia de las ruedas del vehículo a la calzada y la capacidad de control de los conductores sobre sus vehículos, entre ellas tenemos; lluvias, granizos, nieve, niebla, viento, inundaciones, deslizamiento de tierra, polvo, entre otros (p. 24).

2.2.4 Seguridad vial

Según ISO 39001 (2012), es la seguridad que permite reducir y eliminar la incidencia de riesgos en accidentes de tránsito, por lo cual existen elementos y causas que se deben investigar para prevenirlas, de tal manera estas no puedan influir directamente en el fallecimiento o lesiones graves de los conductores y peatones de la vía.



Según la Policía Nacional de Colombia (2017), indica que la protección vial como disciplina aplicada, hace referencia a la indagación del bienestar general de una o varias personas, que es el resultado de numerosos factores influyentes, entre los cuales las capacidades y disposiciones de la persona desempeñan un papel importante. Según las estadísticas formales e informales que identifican la conducta humana como una de las mayores causas de los accidentes de tránsito.

Perez & Lastre (2014), mencionan que la seguridad vial son todas las circunstancias que posibilitan que las carreteras estén libres de daños o riesgos provocados por el desplazamiento de los automóviles. La seguridad vial está establecida en normas y mecanismos que reducen la probabilidad de que suceda los accidentes de tránsito. Su mayor objetivo es salvaguardar a las personas y los bienes eliminando o restringiendo los elementos de riesgo que aumentan la probabilidad de siniestralidad de los accidentes.

2.2.5 Puntos críticos

Guillermo (2018), muestra que todas las zonas que concentran anualmente un elevado número de incidentes se consideran como puntos críticos. Cada país tiene su propia definición para lo que constituye una siniestralidad de accidentes, que difiere en términos de cuántos accidentes deben ocurrir y la longitud del tramo a investigar.

Según Elvik et al. (2013), mencionan que los puntos negros de choque (puntos críticos) lo caracteriza como que el número previsto de colisiones es mayor debido a las variables de riesgo locales que en otras zonas comparables. Para encontrar tramos mal contruidos, deben realizarse comparaciones con el número previsto de colisiones en otros tramos similares. Es necesario detectar los elementos de riesgo específicos en los tramos, los cuales pueden ser responsables



de un aumento en la cantidad de colisiones anticipadas, y que pueden ser mitigados o alterados mediante mejoras en la planificación y diseño de las vías.

De acuerdo con Martínez & Olivares (2013), donde hace referencia al resumen estadístico anual de accidentes, que elaboran las autoridades competentes (PNP, INEI, entre otros), designan un punto de siniestralidad de accidentes de tráfico cuando los indicadores de peligrosidad, gravedad, mortalidad y tasas de imprudencia presentan valores notablemente elevados.

2.2.6 Localización de los puntos críticos de accidentes de tránsito

Berardo et al. (2008) proponen métodos para identificar puntos críticos en carreteras, utilizando métodos basados en el número o frecuencia de accidentes, la tasa de accidentes y el índice combinado de número y tasa de accidentes.

2.2.6.1 Método del número o frecuencia de accidentes:

Berardo et al. (2008), indican que el método del número o frecuencia de accidentes es más adecuado para ciudades pequeñas dentro de áreas urbanas, ya que no tiene en cuenta el elemento relacionado con el volumen de tráfico, el cual no tiene tanta importancia en el sistema vial para los cálculos de este método. Los lugares peligrosos identificados mediante esta metodología muestran un elevado número de incidentes de tránsito, por lo tanto, las soluciones aplicadas resultarán en una reducción significativa en comparación con el total de accidentes vehiculares.

Para aplicar el enfoque sugerido por Berardo et al. (2008), se recomienda segmentar la red de carreteras objeto de investigación en segmentos uniformes de un kilómetro de longitud y asignar a cada segmento el número de accidentes notificados. De este modo se puede



saber cuántos accidentes hay en cada sector por kilómetro. Finalmente, se clasifica como punto crítico de accidentes de tránsito a aquel cuyo número de incidentes por kilómetro sea mayor al promedio de los accidentes ocurridos en la vía, representado por un coeficiente de mayoración, siendo para el caso el coeficiente K.

a) Análisis del método

Berardo et al. (2008) describen que la metodología utilizada es directa y simple, basándose solamente en variables tales como el número de accidentes, la longitud de los segmentos estudiados y el coeficiente de mayoración. El factor k es esencial para ajustar la precisión del método, al incrementar el valor de k reduce el número de puntos críticos de accidentes de tránsito encontrados, mientras que disminuir el valor de k aumenta el número de estos puntos identificados.

b) Consistencia de los resultados

Como ya se ha indicado anteriormente, según Berardo et al. (2008) no está garantizada la fiabilidad de las conclusiones de este método, ya que la media muestral se utiliza para establecer el umbral mínimo de frecuencias, mediante el cual un tramo se considera riesgoso, en lugar de tener en cuenta un valor de frecuencia con una probabilidad de recurrencia determinada. Esto sugiere que el enfoque no identificará el mismo número de puntos críticos de accidentes de tránsito para dos muestras con la misma media, pero diferentes dispersiones.

Suponiendo que la distribución de frecuencias se ajusta a una distribución normal, de acuerdo con Berardo et al. (2008) indican que, si se elige un valor de frecuencia para calcular el límite inferior, el cual con



un alto grado de certeza rara vez se manifiesta en la muestra (en otras palabras, la probabilidad de que sucedan frecuencias de incidentes superiores a este valor según la expresión es de $1-S$), el nivel de confianza en los tramos identificados siempre se mantendrá constante.

Según Berardo et al. (2008) se obtienen resultados coherentes exigiendo que las frecuencias de accidentes en zonas peligrosas sean superiores o iguales que la frecuencia seleccionada en función de su posibilidad de suceso. Esto garantiza que constantemente se analice la misma zona bajo la curva de distribución normal.

c) Características del método

La caracterización de los puntos críticos de accidentes de tránsito por el método del número, según a Berardo et al. (2008) presenta los siguientes atributos peculiares:

- Los datos obtenidos pueden ser ajustados mediante el factor de mayoración k , lo que proporciona una mayor adaptabilidad en la utilización del método y en la interpretación de los resultados.
- No es necesario información del flujo vehicular, lo que significa que no toma en cuenta la interacción con el tráfico del tramo, siendo aplicable únicamente a tramos con volúmenes de tráfico similares. Por esta razón, no depende de la precisión de los conteos vehiculares en la zona de estudio.
- Es crucial mantener constante la distancia de los tramos a lo largo de la carretera en análisis, ya que la metodología es especialmente sensible a esta variable.



- No realiza una clasificación de los incidentes de tránsito según su siniestralidad (daños materiales, con víctimas o fatales).
- Los tramos detectados como peligrosos presentan un número significativo de incidentes de tránsito.
- Su aplicación es prácticamente intuitiva y, al depender de un número reducido de variables, su explicación resulta sencilla. Por lo tanto, realizar evaluaciones rápidas de los problemas de seguridad del tráfico en una ruta es una posibilidad interesante, sobre todo en ausencia de datos fiables sobre el tráfico.
- Utilizando un principio estadístico para establecer el umbral de frecuencia a partir del cual una zona se califica como riesgosa, se obtienen resultados coherentes.
- La confiabilidad de los resultados aumenta con la disponibilidad de registros de accidentes recopilados a lo largo de varios años.

d) Aplicación del método

De acuerdo con Berardo et al. (2008), primero se debe calcular la frecuencia de accidentes en un tramo específico y la frecuencia media de accidentes, mediante las siguientes fórmulas:

$$N_i = \frac{\text{Número de accidentes en el tramo } i}{\text{long. del tramo } i}$$

$$N_m = \frac{\sum \text{Accidentes en el tramos homogéneos}}{\sum \text{long. en tramos homogéneos}}$$

Donde:

N_i : Es la frecuencia de accidentes de un tramo.

N_m : Es la frecuencia media de accidentes.

Posteriormente, se determina la desviación estándar N_{σ} mediante la fórmula siguiente:

$$N_{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum(N_i - N_m)^2}{n - 1}}$$

Donde:

N_{σ} : Es la desviación estándar.

n : Es la cantidad de tramos considerados.

Finalmente, un punto crítico de accidente de tránsito será considerado cuando cumpla que:

$$N_i \geq N_{lim}$$

Siendo que:

$$N_{lim} = kN_{\sigma} + N_m$$

Donde k es un factor de mayoración y se obtiene de la siguiente tabla:

Tabla 1

Valores de k en según nivel de confianza

| Nivel de confianza | Valor de K |
|--------------------|------------|
| 0.999 | 3.575 |
| 0.995 | 3.077 |
| 0.95 | 1.645 |
| 0.9 | 1.282 |

Nota: Extraído de Identificación de TCA (Berardo et al. 2008, p. 41)

2.2.6.2 Método de la tasa de accidentes.

Berardo et al. (2008), indican que un estudio apoyado únicamente en la cantidad de siniestros puede generar interpretaciones incorrectas, especialmente cuando a lo largo de la vía hay variaciones significativas en



los volúmenes de tráfico. Dos tramos que presenten la misma cantidad de accidentes no deberían ser consideradas igualmente peligrosas si una de ellas tiene el doble de volumen de tráfico que la otra.

El método de la tasa de accidentes, de acuerdo con Berardo et al. (2008), tienen en cuenta la variable de volumen de tráfico para evaluar la siniestralidad de la zona. Por lo tanto, para su aplicación, se requiere no solo la ubicación y la cantidad de accidentes en la vía, sino también los datos de volumen de tránsito.

a) Consistencia de los resultados

Se aplican las mismas preocupaciones que anteriormente, ya que los criterios de detección de este método son comparables a los del método de frecuencia. Para obtener resultados más coherentes con esta metodología, se propone emplear algún parámetro estadístico (en esta evaluación se utiliza la distribución normal) para identificar el umbral de identificación del método (Berardo et al., 2008).

b) Características del método

Según Berardo et al. (2008), la localización de los puntos críticos de accidentes de tránsito a través del método de la tasa de accidentes muestra las siguientes características específicas:

- La adaptabilidad en la implementación y evaluación de los resultados se logra mediante el ajuste de los resultados a través del factor de mayoración k .
- Es crucial mantener constante la longitud de los tramos a lo largo de todo el camino, ya que esta variable afecta especialmente la sensibilidad del método.



- No realiza una clasificación de los accidentes según su gravedad (daños materiales, con víctimas, con fallecidos).
- A pesar de requerir una aplicación más sofisticada que la técnica numérica, disponer de suficientes datos sobre accidentes y de datos fiables sobre el volumen de tráfico suele arrojar resultados más satisfactorios.
- No requiere un periodo de registro de accidentes específico, pero la confiabilidad de los resultados tiende a aumentar con la disponibilidad de datos a lo largo de un periodo más extenso.
- La cantidad de accidentes y el número total de coches en el tramo muestran una correlación lineal. A diferencia de otros planteamientos que aumentan los requisitos de seguridad en proporción al volumen de tráfico, las carreteras de categoría superior deberían tener mejores niveles de seguridad.
- La uniformidad de los hallazgos se asegura al aplicar algún razonamiento estadístico para establecer el umbral de la tasa a partir del cual se determina tramo de alto peligro.

c) Aplicación del método

Para determinar la tasa de un tramo i cualquiera, de acuerdo con Berardo et al. (2008) se calcula según las siguientes fórmulas:

$$T_i = \frac{\text{Accidentes en el tramo}}{\text{IMDA} \times \text{N}^\circ \text{días} \times \text{Long. del tramo}} \times 10^6$$

Donde:

T_i : Es la tasa de accidentes de un tramo.

IMDA : Es el índice medio diario anual.



$$T_m = \frac{\sum \text{Accidentes}}{\text{IMDA}_{\text{medio}} \times N^{\circ} \text{días} \times \text{Long. del tramo}} \times 10^6$$

Donde:

T_m : Es la tasa de accidentes de un tramo.

IMDA : Es el índice medio diario anual.

$\sum \text{Accidentes}$: Es la sumatoria de accidentes en todo el año.

Posteriormente se determinará la desviación estándar de la tasa media empleando la siguiente fórmula.

$$T_{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (T_i - T_m)^2}{n - 1}}$$

Donde:

T_{σ} : Es la desviación estándar.

n : Es la cantidad de tramos considerados.

Finalmente, un punto crítico de accidente de tránsito será considerado cuando cumpla que:

$$T_i \geq T_{lim}$$

Siendo que:

$$T_{lim} = kT_{\sigma} + T_m$$

Esto implica que en zonas con poco tráfico, algunos accidentes pueden resultar en una tasa alta de incidencias y lo contrario en zonas de mucho tráfico. Por lo tanto, determinar puntos de riesgo solo con base en las tasas de accidentes puede ser erróneo, especialmente si se compara entre zonas de bajo y alto flujo vehicular.



2.2.6.3 Método del número – tasa

Berardo et al. (2008), indican que la metodología del número-tasa es aplicable a todas las ramificaciones de las calles, ya sean urbanos o rurales, independientemente de su exactitud o variación en los volúmenes de tráfico. Al localizar tramos de alta siniestralidad, resulta fundamental garantizar que la incidencia de accidentes en estas ubicaciones identificadas como riesgosas sea verdaderamente excepcionalmente alta. Una de las precauciones necesarias al depender únicamente de cifras y tasas de incidentes de tránsito es que estas pueden llevar a equivocaciones de localización cuando los volúmenes de tráfico experimentan variaciones a lo largo de la vía y de un amplio rango de datos.

Aunque un tramo con un número significativo de siniestros o con una tasa elevada por kilómetro podría parecer peligroso a primera vista, si la cantidad de tráfico en esa zona específica es considerablemente alta, la mortalidad de siniestros podría no considerarse anormal, lo que implica que el tramo no sería tan siniestro como podría sugerir la apariencia inicial (Berardo et al., 2008).

Esta estrategia se basa en la idea de que existe una certeza razonable de un patrón de accidentes irregulares, según Berardo et al. (2008) mencionan que, tanto el número de accidentes como la tasa de accidentes en una zona específica son considerablemente superiores a la media. Estos datos necesarios para implementar el método incluyen:

- Duración de intervalo de tiempo.
- Localización de los accidentes.
- Aforo vehicular.



- Categoría de la vía.

a) Identificación de tramos peligrosos

Este método identifica como sitios peligrosos aquellos tramos donde la frecuencia de incidentes es significativamente superior al promedio. En otras palabras, cualquier ubicación cuyos números y tasas de incidentes de tráfico superen ambos valores límite será clasificada como peligrosa (Berardo et al., 2008).

b) Análisis del método

Esta metodología requiere el cumplimiento concurrente de los requisitos del método de la tasa y el número de accidentes. Esta doble condición garantiza que el segmento peligroso presente una frecuencia de accidentes anormalmente alta, sobre todo cuando su exposición al tráfico es mínima, y reduce el número de lugares que cumplen el procedimiento (Berardo et al., 2008).

c) Sensibilidad a los factores de mayoración

Según Berardo et al. (2008), el factor de escala establece la desviación de la media con respecto a la cual se evalúa cada condición, de forma muy parecida a los enfoques de número y tasa. Aconsejan empezar con valores de k_N y k_T en 2. El enfoque de este método encuentra menos TCA cuando k aumenta, y lo contrario ocurre cuando k disminuye. Tanto para la cantidad como para la tasa, los factores de mayoración (k) son independientes.

d) Sensibilidad respecto a la longitud del tramo seleccionado

Como ya se indicó anteriormente, la longitud elegida para el tramo tiene un impacto significativo tanto en el método numérico como en el

enfoque de tasas. De acuerdo con Berardo et al. (2008) concluyen que el método muestra una menor sensibilidad a medida que aumenta la longitud de la sección ya que ambos métodos condicionan la detección del TCA a una desviación de su N_i o T_i respecto a sus valores medios (N_m y T_m). Adicionalmente, se tiene en cuenta que los valores de N_i y T_i muestran una menor variación a medida que aumenta la longitud de la sección.

e) Sensibilidad a la variación de los flujos vehiculares

La técnica sugiere una correlación directa entre el volumen de vehículos-kilómetro y la frecuencia de accidentes para la condición $T_i \geq kT \cdot T_m$, pero no entre el volumen de coches en el tramo y la condición $N_i \geq kN \cdot N_m$. El criterio $N_i \geq kN \cdot N_m$ podría no cumplirse para tránsitos bajos en una ruta con cambios significativos en los volúmenes de tráfico y suponiendo una conexión lineal entre accidentes y tráfico. La finalidad de esta estrategia es retirar de la lista de zonas peligrosas aquellos segmentos que, a pesar de tener índices altos, registran pocos accidentes (lo que indica bajo tráfico), mientras que se designan como peligrosas las áreas donde tanto el número como la tasa de accidentes son excepcionalmente altos en comparación con el sistema general (Berardo et al., 2008).

f) Consistencia de los resultados

Dado que la metodología del número-tasa o frecuencia-tasa combina los dos métodos previamente descritos, la confiabilidad de los resultados se basa en el criterio aplicado para determinar el umbral de detección en cada uno de estos enfoques (Berardo et al., 2008).



g) Características del método

La determinación de los puntos críticos de accidentes de tránsito a través del método del número-tasa de accidentes según Berardo et al. (2008), se caracteriza por los siguientes aspectos distintivos:

- Los resultados pueden ser ajustados mediante los factores de mayoración kN y kT , brindando versatilidad en su aplicación y en la evaluación de los resultados.
- Su objetivo es evitar la detección de tramos peligrosos en situaciones donde, debido a variaciones extensas en flujos vehiculares y número de incidentes, el valor N_i de tramos con poco tráfico no satisface el requisito $N_i \geq kN.Nm$. En resumen, busca un número mínimo de incidentes en tramos considerados peligrosos.
- Es necesario contar con los datos de aforo vehicular, lo que permite aplicarlo a zonas con distintos volúmenes de tráfico. La confiabilidad de los aforos de tránsito influye en los resultados.
- La distancia de los tramos debe permanecer constante a lo largo del camino, ya que es especialmente importante a esta variable.
- La implementación del método no es significativamente más compleja que la del método de la tasa. Sin embargo, suele arrojar resultados más satisfactorios cuando se dispone de estadísticas precisas sobre el volumen de tráfico y un registro de accidentes adecuado.
- No realiza distinciones entre accidentes de siniestralidad según su gravedad (daños, con víctimas o fatales).

- No requiere un periodo específico para el registro de accidentes; sin embargo, a medida que se dispone de datos más extensos, se aumenta la confiabilidad de los resultados.

h) Aplicación del método

Para determinar el número-tasa, se calcula a lo que indican Berardo et al. (2008) según las siguientes fórmulas:

- Según el método del número o frecuencia de accidentes:

$$N_i = \frac{\text{Número de accidentes en el tramo } i}{\text{long. del tramo } i}$$

$$N_m = \frac{\sum \text{Accidentes en el tramos homogéneos}}{\sum \text{long. en tramos homogéneos}}$$

Donde:

N_i : Es la frecuencia de accidentes de un tramo.

N_m : Es la frecuencia media de accidentes.

- Según el método de la tasa de accidente:

$$T_i = \frac{\text{Accidentes en el tramo}}{\text{IMDA} \times \text{N}^\circ \text{días} \times \text{Long. del tramo}} \times 10^6$$

$$T_m = \frac{\sum \text{Accidentes}}{\text{IMDA}_{\text{medio}} \times \text{N}^\circ \text{días} \times \text{Long. del tramo}} \times 10^6$$

Donde:

T_i : Es la tasa de accidentes de un tramo.

T_m : Es la tasa de accidentes de un tramo.

IMDA : Es el Índice medio diario anual.

$\sum \text{Accidentes}$: Es la sumatoria de accidentes en todo el año.

- Según el método del número-tasa toma en cuenta que un tramo es un punto crítico de accidentes de tránsito cuando:

$$N_i \geq k_N \times N_m \quad \wedge \quad T_i \geq k_t \times T_m$$

2.2.6.4 Método del control de calidad de la tasa

Berardo et al. (2008), indican que el método de control de calidad de la tasa se aplica ampliamente en estudios de tráfico, adaptándose a cualquier volumen de tráfico y tipo de vía. Utilizan pruebas estadísticas para verificar si la frecuencia de accidentes en un área específica difiere significativamente del promedio de áreas similares. Este análisis se sustenta en la teoría de que los accidentes se ajustan a un modelo matemático conocido como distribución de Poisson.

$$P(n) = \frac{e^{-\lambda m} \times (\lambda m)^n}{n!}$$

Donde:

P(n): Es la probabilidad de que sucedan n accidentes de tránsito en un lugar durante un intervalo de tiempo.

λ : Es la tasa de accidentes prevista.

m: Es la cantidad de vehículos en el período de estudio.

La finalidad del método es identificar un valor de "n" en la distribución cuya posibilidad de acontecimiento sea excepcionalmente baja (menor al 5%). Esto garantiza que los segmentos identificados como riesgoso no se deban a la casualidad, sino a un defecto significativo en la vía que provoque una concentración inusual de accidentes.

En la aplicación, es crucial establecer un extremo superior para monitorear la probabilidad de que un tramo de carretera registre una cantidad de accidentes igual o superior al valor de referencia. De acuerdo con Berardo et al. (2008) este cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$P(X \geq U) = P$$

Donde:

X: Es la cantidad registrada de accidentes.

U: Es el límite superior de control.

P: Es la probabilidad límite predeterminado.

La ecuación siguiente se utiliza para determinar el límite crítico del sistema:

$$P = \lambda + k \times \sqrt{\frac{\lambda}{m}} + \frac{0.5}{m}$$

El método empleado para evaluar la peligrosidad de un segmento de carretera se basa en determinar una tasa de accidentes crítica para cada tramo analizado. Aquellos segmentos cuya tasa de accidentes supera este límite serán designados como Tramos Críticos de Accidentes (TCA). La determinación de la tasa crítica se determina desde el punto de vista estadístico, utilizando la tasa promedio de accidentes de toda la red vial, ajustada según la categoría específica de la vía y el volumen de tráfico del tramo bajo estudio. La fórmula para el cálculo es el siguiente:

$$T_c = T_m + k \sqrt{\frac{T_m}{t_i}} + \frac{0.5}{t_i}$$

Donde:

Tc: Es la tasa crítica de accidentes para el tramo i, en millón de veh - km (MVK).

Tm: Es la tasa media de accidentes la red vial, correspondiente a la clasificación de la vía en análisis, se expresa (MVK).

$$T_m = \frac{\sum \text{Accidentes} \times 10^6}{\text{IMDA}_m \times N^\circ \text{días} \times \text{Long. carretera}}$$

t_i : Es la cantidad de tránsito en la zona de estudio durante el intervalo de análisis, expresado en MVK.

$$t_i = \frac{IMDA \times N^\circ \text{ días} \times Long. \text{ tramo}}{10^6}$$

k : Es una constante que refleja el nivel de confianza con el que se puede afirmar que las tasas de accidentes que superan la tasa crítica no son resultado de la casualidad. Se busca un nivel de confianza del 95%.

El método clasifica como siniestro aquella zona específica cuya tasa de accidentes sea igual o superior a la tasa crítica establecida para el sistema. Por los cuales existen puntos críticos de accidentes de tránsito solo si:

$$T_i \geq T_c$$

Además:

$$T_i = \frac{N^\circ \text{ de accidentes} \times 10^6}{IMDA \times N^\circ \text{ días} \times Long. \text{ tramo}}$$

2.2.7 Diseño geométrico de carreteras

Según el MTC (2018), la planta, el perfil y la sección transversal son las características geométricas de una carretera que deben estar relacionados de manera conveniente para asegurar el flujo continuo del tránsito vehicular, buscando preservar una velocidad constante de tráfico, acorde con las condiciones generales de la carretera.

De acuerdo con el manual SCT (2018), es el dimensionamiento que establece los valores específicos para los parámetros que definen cada elemento. Estas características, denominadas clasificación y dimensionamiento, se



representan en los planos como planta, perfil y sección, que pertenecen al alineamiento horizontal, vertical y sección transversal, respectivamente.

En el Perú según el MTC (2018) con manual de Diseño Geométrico, las carreteras se clasifican conforme a los siguientes criterios técnicos:

2.2.7.1 Clasificación por demanda

- **Autopista de primera clase:** Son carreteras que tienen un IMDA de más de 6,000 vehículos por día, y cada calzada tiene como mínimo dos carriles de al menos 3.60 metros de ancho, separados por un separador central mínimo de 6.00 metros.
- **Autopista de segunda clase:** Estas carreteras tienen un IMDA que oscila entre 6,000 y 4,001 vehículos por día. Tienen calzadas que están delimitadas por una barrera central, que puede tener entre 6.00 y 1.00 metros, en ese caso se colocará un dispositivo de contención de vehículos. Cada calzada tiene que tener dos o más carriles de al menos 3.60 metros de ancho.
- **Carreteras de primera clase:** Se trata de carreteras que tienen un IMDA que oscila entre 4,000 y 2,001 vehículos por día, esta carretera consta de dos carriles con un ancho mínimo de 3.60 metros.
- **Carreteras de segunda clase:** Se trata de carreteras que tienen un IMDA que oscila entre 2,000 y 400 vehículos al día, esta carretera consta de dos carriles con un ancho mínimo de 3.30 metros.
- **Carreteras de tercera clase:** Se trata de carreteras con un IMDA inferior a 400 vehículos por día, esta carretera consta de dos carriles que tienen una anchura mínima de 3.00 metros, y de manera

excepcional, puede haber carriles de hasta 2.50 metros siempre en cuando tenga el sustento técnico correspondiente.

- **Trochas carrozables:** Se trata de carreteras transitables con un IMDA menor a 200 vehículos por día, que escasean de las características geométricas de una carretera. La longitud de sus calzadas debe tener un ancho mínimo de 4.00 metros; si no es así, deben construirse plataformas de cruce, o ensanches, al menos cada 500 metros. La carretera puede tener una superficie pavimentada o sin pavimentar.

En México según el SCT (2018) con manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, las carreteras se clasifican de la siguiente manera:

- **Autopista o multicarril:** Son carreteras de tipo “ET, A”, con uno o más carriles por dirección y con un control de acceso total o parcial.
- **Carreteras de dos carriles o multicarril:** Son carreteras de tipo “B”, con uno o varios carriles por dirección y con un control de acceso total o parcial.
- **Carreteras de dos carriles:** Son carreteras de tipo “C”, con uno por dirección y con un control de acceso parcial.
- **Camino rural:** Son carreteras de tipo “D”, con uno por dirección de y con un control de acceso parcial.

2.2.7.2 Clasificación por orografía

- **Terreno plano (tipo 1):** Sus pendientes longitudinales suelen ser inferiores al 3%, mientras que sus pendientes transversales al eje de la carretera son inferiores o iguales al 10%.



- **Terreno ondulado (tipo 2):** Sus pendientes longitudinales oscilan entre el 3% y el 6%, mientras que sus pendientes transversales al eje de la carretera van del 11% al 50%.
- **Terreno accidentado (tipo 3):** Sus pendientes longitudinales principales se sitúan entre el 6% y el 8%, mientras que sus pendientes transversales al eje de la carretera oscilan entre el 51% y el 100%.
- **Terreno escarpado (tipo 4):** Sus inusuales pendientes longitudinales superan el 8%, mientras que las transversales al eje de la carretera son superiores al 100%.

2.2.7.3 Velocidad de diseño

De acuerdo con SCT (2018), es la velocidad máxima que permite una circulación segura de los vehículos en una carretera, y se emplea para definir sus características geométricas, como los grados de curvatura, las longitudes críticas de las pendientes longitudinales, las distancias de visibilidad necesarias para parar, adelantar o encontrarse con otro vehículo, así como las sobreelevaciones en las curvas, entre otros aspectos.

Según el manual de carreteras del MTC (2018), la velocidad de diseño se caracteriza como la máxima que puede sostenerse de manera segura y confortable en una sección determinada de la vía, siempre que las condiciones ambientales y operacionales sean óptimas y se adhieran a las normativas y parámetros técnicos de diseño preestablecidos.

- **Velocidad de diseño del tramo homogéneo:** De acuerdo a la clasificación de la demanda o la orografía de la carretera a desarrollar establecen la velocidad de diseño de la carretera. Esta velocidad de

diseño puede establecerse para cada parte homogénea dentro del rango representado en la figura (MTC, 2018, p. 96).

Figura 8

Intervalos de velocidad de diseño según la categorización de la carretera, basados en la demanda y características topográficas.

| Clasificación | Orografía | Velocidad de diseño en 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: Según DG-2018 del MTC (p. 97)

- **Velocidad de operación:** De acuerdo con el manual de diseño geométrico del MTC (2018), se define como la máxima velocidad autorizada para la circulación de vehículos en una sección determinada de una vía, basándose en la velocidad de diseño y evaluando las condiciones presentes de flujo vehicular, la calidad del pavimento, el clima, las conexiones con otras carreteras y la vinculación con los terrenos adyacentes (p. 100).

Velocidad de operación: De acuerdo con el manual de proyecto geométrico de carreteras del SCT (2018), define que la velocidad de operación es la velocidad más alta a la que un vehículo puede

desplazarse de manera segura en un tramo de una carretera, considerando las condiciones ideales de tráfico y clima (p. 17).

De acuerdo con el MTC (2018), el percentil 85 de la velocidad se utiliza para obtener una estimación precisa de la velocidad de operación, representando la velocidad a la que circula el 85% de los vehículos. Al estudiar la velocidad de operación en diferentes tramos de la vía, es posible crear un gráfico que vincule la velocidad de operación con la distancia.

2.2.7.4 Distancia de velocidad de parada

Según el MTC (2018), Se refiere a la distancia de parada segura requerida para que un vehículo, desplazándose a la velocidad de diseño establecida, alcance un estado de detención total antes de encontrarse con un obstáculo fijo en su trayectoria, considerando factores como la respuesta del conductor y las condiciones de frenado del vehículo.

$$D_p = 0.278 \times V \times t_p + 0.039 \frac{V^2}{a}$$

Dónde:

D_p : Es la distancia de parada expresado en (m).

V : Es la velocidad de diseño expresado en (km/h).

t_p : Es el tiempo de percepción + reacción en (s).

a : Es la deceleración expresada en m/s^2 .

La misma normativa técnica sugiere incluir en el cálculo un tiempo de percepción y reacción estimada en 2.5 segundos, junto con una tasa de desaceleración vehicular de $3.4 m/s^2$, para asegurar una evaluación precisa y segura de la distancia de frenado necesaria bajo condiciones operativas estándar.

Según el SCT (2018), la distancia de visibilidad de parada se calcula sumando la distancia de reacción del conductor y la distancia de frenado del vehículo.

$$D_p = \frac{V}{3.6} t + \frac{V^2}{254f_l}$$

Dónde:

D_p : Corresponde a la distancia de parada expresado en (m).

V : Representa a la velocidad de diseño expresado en (km/h).

t : Es el tiempo de percepción + reacción en (s).

f_l : Es coeficiente de fricción longitudinal.

La misma norma, recomienda considerar el tiempo de percepción + reacción en 2.5 segundos y un coeficiente de fricción según la tabla.

Tabla 2

Coefficiente de fricción longitudinal (1)

| V | f_l |
|-----|-------|
| 30 | 0.346 |
| 40 | 0.346 |
| 50 | 0.324 |
| 60 | 0.308 |
| 70 | 0.295 |
| 80 | 0.285 |
| 90 | 0.276 |
| 100 | 0.269 |
| 110 | 0.261 |

Nota: Según SCT 2018 (p. 20)

Según el MITMA (2020), se refiere a la longitud total que recorre un vehículo desde que detecta un obstáculo inesperado hasta que se detiene completamente. Esta distancia incluye el trayecto recorrido durante los

tiempos de percepción y reacción del conductor, así como el tiempo que toma frenar el vehículo.

$$D_p = \frac{V \times t_p}{3.6} + \frac{V^2}{254(f_l + i)}$$

Dónde:

D_p : Corresponde a la distancia de parada expresado en (m).

V : Representa a la velocidad de diseño expresado en (km/h).

t_p : Es el tiempo de percepción + reacción en (s).

f_l : Es coeficiente de fricción longitudinal.

i : Es la inclinación de la rasante en (tanto por uno).

La misma norma, recomienda considerar el tiempo de percepción + reacción en 2 segundos y un coeficiente de fricción según la tabla.

Tabla 3

Coefficiente de fricción longitudinal (2)

| V | f_l |
|-----|-------|
| 40 | 0.432 |
| 50 | 0.411 |
| 60 | 0.390 |
| 70 | 0.369 |
| 80 | 0.348 |
| 90 | 0.334 |
| 100 | 0.320 |
| 110 | 0.306 |
| 120 | 0.291 |

Nota: Según MITMA 2020 (p. 21)

2.2.7.5 Diseño geométrico horizontal

Conforme al manual de carreteras del MTC (2018), el diseño geométrico horizontal, también referido como alineamiento horizontal,

incorpora segmentos de alineación recta y curvas circulares de variados radios de curvatura. Este diseño facilita una transición fluida entre tramos rectos y curvos, así como entre curvas circulares de distintos radios, optimizando la seguridad y la comodidad en la conducción.

- **Tramos en tangente:**

Los tramos tangentes en carreteras se refieren a las secciones rectas o rectilíneas de una carretera que conectan curvas. Estos segmentos rectos son importantes en el diseño y la construcción de carreteras, ya que proporcionan una transición suave entre las secciones curvas (MTC, 2018, p. 127).

De acuerdo con el MITMA (2020), para mejorar la adaptación y comodidad en la conducción, es recomendable minimizar la longitud de las secciones rectas de las carreteras. Además, con el fin de prevenir problemas como el cansancio, la exposición solar y el exceso de velocidad, se sugiere limitar la extensión máxima de estos tramos rectos.

Tabla 4

Longitudes en los tramos 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: Según DG-2018 del MTC (p. 127)

De la tabla, se puede especificar lo siguiente:

Lmín.s: Es la distancia mínima (m) para trazados en forma de “S”
(alineación recta entre alineamientos con radios de curvatura de
sentido opuesto).

Lmín.o: Es la distancia mínima (m) para (alineación recta entre
alineamientos con radios de curvatura del mismo sentido).

Lmáx : Es la distancia máxima deseable (m).

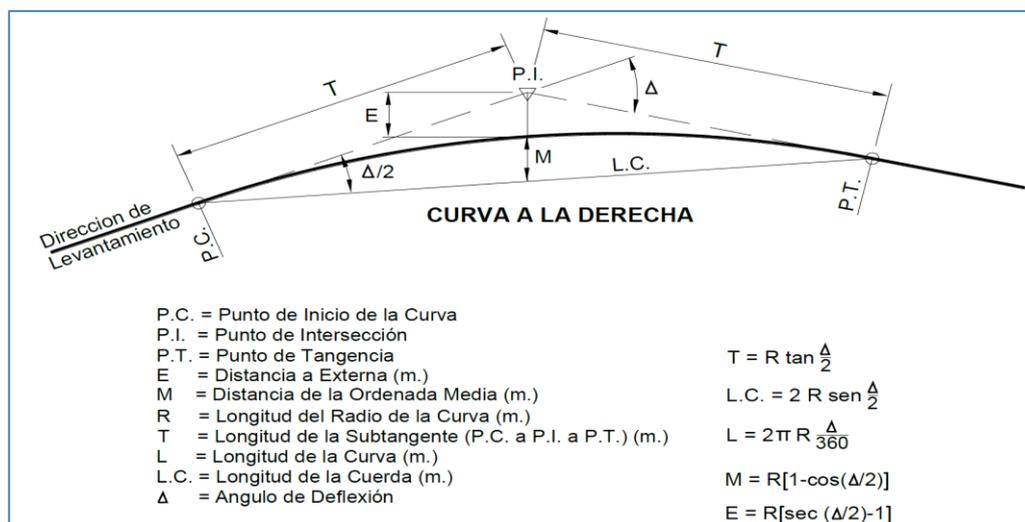
V : Corresponde a la velocidad de diseño (km/h).

- **Curvas circulares:**

Según el MTC (2018), las curvas horizontales circulares en las
carreteras se definen técnicamente como segmentos de arco circulares,
consistentes en un único radio constante, que conectan dos alineaciones
tangenciales adyacentes, representando así la proyección horizontal del
trazado de la carretera. Estas curvas facilitan una transición fluida entre
dos tramos lineales consecutivos en el diseño vial.

Figura 9

Simbología y elementos de la curva circular



Nota: Según DG-2018 del MTC (p. 128)



- **Radios mínimos:**

Según el MTC (2018), los radios mínimos para curvas horizontales representan los menores radios que se pueden transitar de manera segura y cómoda a la velocidad de diseño y con el máximo peralte permitido, para los cuales se puede emplear la fórmula siguiente para su cálculo:

$$R_{mín} = \frac{V^2}{127(P_{máx} + f_{máx})}$$

Donde:

$R_{mín}$: Radio mínimo

V : Velocidad de diseño

$P_{máx}$: Peralte máximo asociado a V (en tanto por uno).

$f_{máx}$: Coeficiente de fricción transversal máximo asociado a V .

Tabla 5

Radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras

| Ubicación de la vía | Velocidad de diseño | P máx. (%) | f máx. | Radio mín. calculado (m) | Radio mín. redondeado (m) |
|-----------------------------------|---------------------|------------|----------|--------------------------|---------------------------|
| Área rural | 30 | 4 | 0,17 | 33,7 | 35 |
| | 40 | 4 | 0,17 | 60 | 60 |
| | 50 | 4 | 0,16 | 98,4 | 100 |
| | 60 | 4 | 0,15 | 149,2 | 150 |
| | 70 | 4 | 0,14 | 214,3 | 215 |
| | 80 | 4 | 0,14 | 280 | 280 |
| | 90 | 4 | 0,13 | 375,2 | 375 |
| | 100 | 4 | 0,12 | 835,2 | 495 |
| | 110 | 4 | 0,11 | 1,108,9 | 635 |
| | 120 | 4 | 0,19 | 872,2 | 875 |
| | 130 | 4 | 0,08 | 1108,9 | 1110 |
| Área rural (con peligro de hielo) | 30 | 6 | 0,17 | 30,8 | 30 |
| | 40 | 6 | 0,17 | 54,8 | 55 |
| | 50 | 6 | 0,16 | 89,5 | 90 |
| | 60 | 6 | 0,15 | 135 | 135 |
| | 70 | 6 | 0,14 | 192,9 | 195 |
| | 80 | 6 | 0,14 | 252,9 | 255 |
| | 90 | 6 | 0,13 | 335,9 | 335 |
| | 100 | 6 | 0,12 | 437,4 | 440 |
| | 110 | 6 | 0,11 | 560,4 | 560 |
| 120 | 6 | 0,09 | 755,9 | 755 | |



| Ubicación de la vía | Velocidad de diseño | P máx. (%) | f máx. | Radio mín. calculado (m) | Radio mín. redondeado (m) |
|--------------------------------------|---------------------|------------|--------|--------------------------|---------------------------|
| | 130 | 6 | 0,08 | 950,5 | 950 |
| Área rural (plano u ondulada) | 30 | 8 | 0,17 | 28,3 | 30 |
| | 40 | 8 | 0,17 | 50,4 | 50 |
| | 50 | 8 | 0,16 | 82 | 85 |
| | 60 | 8 | 0,15 | 123,2 | 125 |
| | 70 | 8 | 0,14 | 175,4 | 175 |
| | 80 | 8 | 0,14 | 229,1 | 230 |
| | 90 | 8 | 0,13 | 303,7 | 305 |
| | 100 | 8 | 0,12 | 393,7 | 395 |
| | 110 | 8 | 0,11 | 501,5 | 500 |
| | 120 | 8 | 0,09 | 667 | 670 |
| | 130 | 8 | 0,08 | 831,7 | 835 |
| Área rural (accidentada o escarpada) | 30 | 12 | 0,17 | 24,4 | 25 |
| | 40 | 12 | 0,17 | 43,4 | 45 |
| | 50 | 12 | 0,16 | 70,3 | 70 |
| | 60 | 12 | 0,15 | 105 | 105 |
| | 70 | 12 | 0,14 | 148,4 | 150 |
| | 80 | 12 | 0,14 | 193,8 | 195 |
| | 90 | 12 | 0,13 | 255,1 | 255 |
| | 100 | 12 | 0,12 | 328,1 | 330 |
| | 110 | 12 | 0,11 | 414,2 | 415 |
| | 120 | 12 | 0,09 | 539,9 | 540 |
| | 130 | 12 | 0,08 | 665,4 | 665 |

Nota: Según DG-2018 del MTC (p. 129)

- **Sobreancho:**

Según el MTC (2018), representa el incremento del ancho de la calzada en las secciones curvas para ajustar la superficie adicional que necesitan los vehículos. En tramos de la vía con curvas de radios pequeños y medianos, resulta crucial que la carretera incorpore un sobreancho, ajustándose al tipo de vehículos predominantes en la zona. Este sobreancho tiene como objetivo asegurar la existencia de espacios libres suficientes, contemplando las holguras necesarias entre vehículos que se interceptan en calzadas de diferentes direcciones o sobrepasan en calzadas unidireccionales, así como entre los vehículos y los bordes de las calzadas. El sobreancho necesario representa el incremento en el espacio ocupado transversalmente por las unidades vehiculares al transitar por las curvas.



Es esencial indicar que la implementación del sobreancho no debe afectar la reducción del ancho de la berma.

El incremento del ancho de la calzada se ajustará de acuerdo con el tipo de vehículo predominante, el radio de la curva y la velocidad establecida para el diseño. Este ajuste se calculará utilizando la fórmula siguiente:

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

Dónde:

Sa : Es el sobreancho, en (m)

n : Es el número de carriles

R : Es el radio de curvatura circular, en (m)

L : Es la distancia entre eje posterior y parte frontal del vehículo (m)

V : Es la velocidad de diseño, en (km/h)

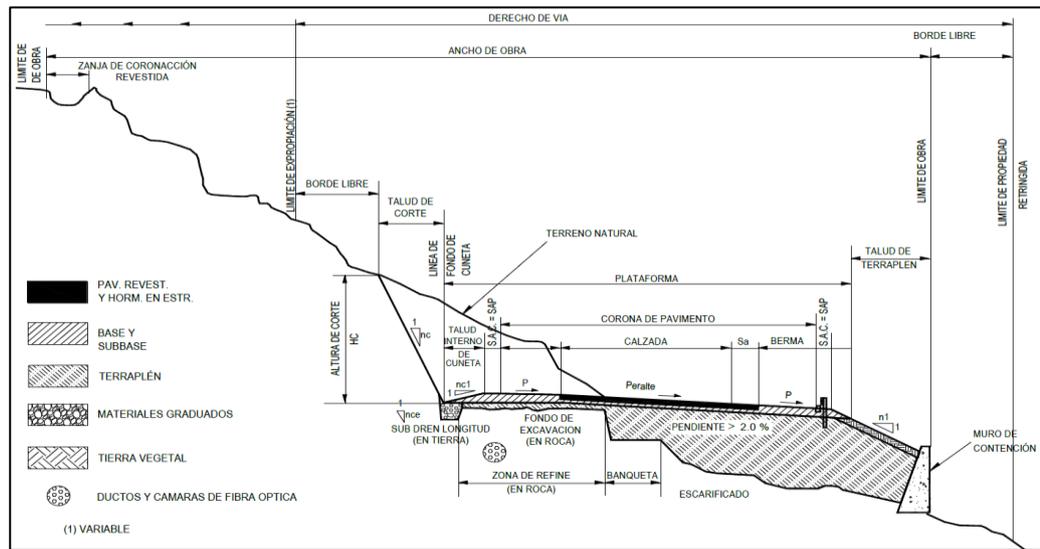
Nota: Se debe de considerar como una medida mínima de 0.40 m de sobreancho para aumentar su protección.

2.2.7.6 Diseño geométrico de la sección transversal

Según el MTC (2018), la sección transversal constituye una representación técnica que muestra los componentes de la infraestructura vial mediante un corte vertical perpendicular al alineamiento horizontal. Esta representación es crucial para la especificación precisa y el acotamiento de los componentes estructurales en cada punto de la sección, permitiendo además su armoniosa integración con las características del entorno natural adyacente.

Figura 10

Sección transversal típica en carretera de dos carriles



Nota: Según DG-2018 del MTC (p. 185)

- **Calzada o superficie de rodadura**

Según el MTC (2018), es la sección de la vía elegida para el flujo vehicular, formada por uno o más carriles, descartando la berma. Los carriles se organizan para permitir el movimiento de vehículos en línea y en una dirección de tráfico específica.

Tabla 6

Longitud de 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 |
| 30 km/h | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 6.00 | 6.00 |
| 40 km/h | | | | | | | | | | | | | | | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | |
| 50 km/h | | | | | | | | | | | 7.20 | 7.20 | | | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | |
| 60 km/h | | | | | | | 7.20 | 7.20 | 7.20 | 7.20 | 7.20 | 7.20 | 7.20 | 7.20 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | | |
| 70 km/h | | | 7.20 | 7.20 | | | 7.20 | 7.20 | 7.20 | 7.20 | 7.20 | 7.20 | 7.20 | 7.20 | 6.00 | | 6.00 | 6.00 | | |
| 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 | | | 6.00 | 6.00 | | |
| 90 km/h | 7.20 | 7.20 | 7.20 | | | | 7.20 | 7.20 | 7.20 | 7.20 | | | 7.20 | | | | 6.00 | 6.00 | | |
| 100 km/h | 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: Orografía: Plano (1), Ondulado (2), Accidentado (3) y Escarpado (4). Extraído, DG-2018 (p. 191)

Según Zegeer y Council (como se cita en MTC, 2017), indican que estudios de seguridad vial han demostrado que al incrementar la amplitud de los carriles hasta aproximadamente 3.7 metros, se observa una disminución en la frecuencia de accidentes (p. 94).

- **Bermas**

Según el MTC (2018), los espacios laterales de las carreteras, conocidos como bermas, están diseñados para proveer un área extra para situaciones de emergencia, paradas breves, y en ciertas ocasiones, para el tránsito de peatones y bicicletas. Estas zonas son fundamentales para aumentar la seguridad en las vías, ya que permiten a los vehículos que han perdido el control reincorporarse de manera segura y contribuyen al adecuado drenaje de la carretera.

Tabla 7

Longitud de ancho de berma

| 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 |
| 30 km/h | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.50 | 0.50 |
| 40 km/h | | | | | | | | | | | | | | | 1.20 | | 1.20 | 0.90 | 0.50 | |
| 50 km/h | | | | | | | | | | | 2.60 | 2.60 | | | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 0.90 | 0.90 | |
| 60 km/h | | | | | 3.00 | 3.00 | 2.60 | 2.60 | 3.00 | 3.00 | 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: Orografía: Plano (1), Ondulado (2), Accidentado (3) y Escarpado (4). Extraído, DG-2018 (p. 193)

- **Peralte**

Según el MTC (2018), el peralte en una carretera se refiere a la inclinación transversal de la superficie de rodadura en una curva, diseñada

para equilibrar la fuerza centrífuga que actúa sobre los vehículos cuando atraviesan la curva, mejorando así su estabilidad y reduciendo el riesgo de deslizamiento o volcadura.

Tabla 8

Valores de peralte máximo

| Zona de intervención | Peralte Máximo (p) | |
|---|--------------------|--------|
| | Absoluto | Normal |
| Atravesamiento de zonas urbanas | 6% | 4% |
| Zona rural (T. Plano, Ondulado o Accidentado) | 8% | 6% |
| Zona rural (T. Accidentado o Escarpado) | 12% | 8% |
| Zona rural con peligro de hielo | 8% | 6% |

Nota: Según DG-2018 del MTC (p. 196)

Con el objetivo de calcular el peralte para equilibrar la fuerza centrífuga y prevenir deslizamientos o volcaduras, se empleará la fórmula siguiente:

$$p = \frac{V^2}{127R} - f$$

Dónde:

p : Es el peralte máximo vinculado a la velocidad.

V : Es la velocidad de diseño, en (km/h)

R : Es el radio mínimo absoluto, en (m)

f : Es el coeficiente de fricción lateral máximo asociado a la V.

El peralte mínimo establecido será del 2% para los radios y velocidades de diseño especificados en la tabla correspondiente, ajustándose a las normativas técnicas aplicables.

Tabla 9

Criterio para peralte mínimo

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

Nota: Según DG-2018 del MTC (p. 197)

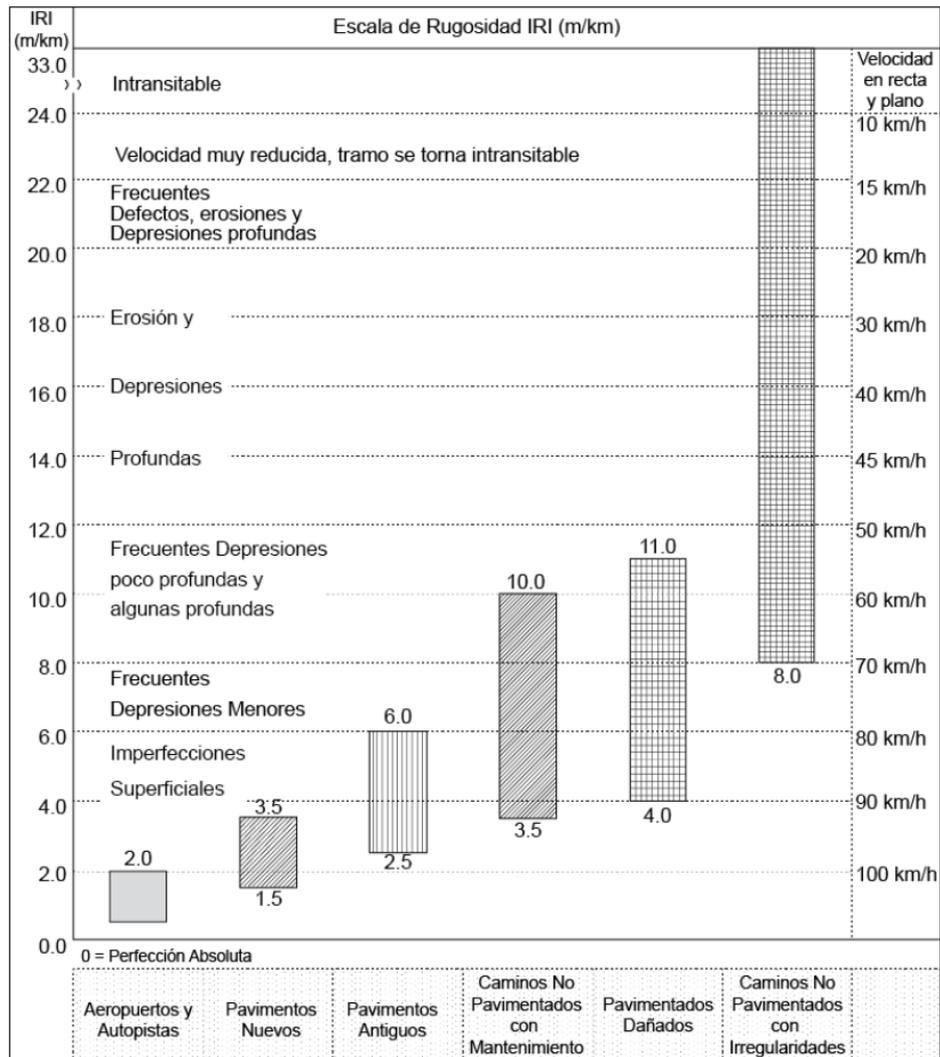
2.2.8 Rugosidad del pavimento

De acuerdo con la normativa mexicana SCT (2011), la rugosidad del pavimento se evalúa utilizando el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), el cual se emplea como un estándar de medición para evaluar el estado óptimo de la capa de rodadura de una vía. Este parámetro también es útil para determinar el estado de conservación de la infraestructura vial.

Según el MTC (2014), la rugosidad del pavimento se describe a las irregularidades presentes en la superficie de la carretera. Estas irregularidades pueden variar en tamaño, desde pequeñas texturas hasta deformaciones más grandes, como baches o hendiduras. En la actualidad, las irregularidades de la superficie de un pavimento se evalúan mediante el IRI. Este índice cuantifica la irregularidad de la superficie del pavimento, reflejando la desviación de los perfiles longitudinales de una carretera pavimentada en comparación con un plano teórico ideal.

Figura 11

Escala de rugosidad IRI (m/km)



Nota: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, MTC-2014 (p. 158)

Tabla 10*Valores aceptables de rugosidad IRI (m/km) de acuerdo con el tipo de carretera*

| Tipo de Carretera | Rugosidad característica inicial pavimento nuevo IRI (m/km) | Rugosidad característica inicial pavimento reforzado IRI (m/km) | Rugosidad característica durante periodo de servicio IRI (m/km) | Obs. |
|--|--|--|--|---|
| Autopistas: IMDA > 6000 veh./día, de calzadas separadas, c/u con 2 o + carriles. | 2.00 | 2.50 | 3.50 | Rugosidad característica, para una confiabilidad de 98% |
| Carreteras Duales o Multicarril: IMDA entre 6000 y 4001 veh./día, de calzadas separadas, c/u con 2 o + carriles. | 2.00 | 2.50 | 3.50 | Rugosidad característica, para una confiabilidad de 95% |
| Carreteras de Primera Clase: IMDA entre 4000 y 2001 veh./día, de una calzada de 2 carriles. | 2.50 | 3.00 | 4.00 | Rugosidad característica, para una confiabilidad de 95% |
| Carreteras de Segunda Clase: IMDA entre 2000 y 401 veh./día, de una calzada de 2 carriles. | 2.50 | 3.00 | 4.00 | Rugosidad característica, para una confiabilidad de 90% |
| Carreteras de Tercera Clase: IMDA entre 400 y 201 veh./día, de una calzada de 2 carriles. | 3.00 | 3.50 | 4.50 | Rugosidad característica, para una confiabilidad de 90% |
| Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: IMDA ≤ 200 veh./día, de una calzada. | 3.00 | 3.50 | 4.50 | Rugosidad característica, para una confiabilidad de 85% |

Nota: Según EG-2013 del MTC (p. 724)



2.2.8.1 IRI según normas Internacionales

- Norma mexicana

De acuerdo con la normativa de la SCT (2011), los concesionarios estarán sujetos a inspecciones semestrales. Según la condición del pavimento flexible en relación con el IRI, se establece que un valor mínimo aceptable es de 2.81 m/km, mientras que valores superiores a 5 m/km se consideran deficientes y sujetos a rechazo.

- Norma chilena

Según la normativa del MOP (2010) especificada en el volumen N°5, la evaluación del IRI lo realizará el contratista mediante control propio. Se considerará que la carpeta asfáltica del pavimento posee una rugosidad adecuada si el IRI es igual o inferior a 2 m/km, y se rechazará si este valor excede los 2.8 m/km.

- Norma española

Según la normativa del MITMA (2014), para la evaluación de la rugosidad de las superficies de rodadura, los valores máximos permitidos para la aceptación de obras en autopistas y autovías son un IRI medio de 1.69 m/km. Para otras categorías de vías, el límite aceptable se eleva a un IRI medio de 1.85 m/km.

- Número de accidentes según el IRI de la carretera

Según Lavaud (2011), menciona que cuando una carretera presenta un estado deficiente con una superficie irregular y grietas, el manejo del vehículo se ve complicada a causa de variaciones de velocidad y maniobras bruscas para esquivar los baches, esto podría provocar incidentes de tránsito. Un estudio elaborado en 2008 por el



Centro de transporte del sureste de la Universidad de Tennessee, en Estados Unidos, titulado " Efectos de las condiciones del pavimento asfáltico en los accidentes de tráfico en Tennessee utilizando el sistema de gestión de pavimentos" identificó correlaciones entre el número de accidentes y las condiciones de regularidad de la carpeta asfáltica. El estudio se llevó a cabo en las ciudades de Knoxville, Memphis, Nashville y Chattanooga en el año 2006. Se evaluaron parámetros como el IRI, PSI y el Tráfico Diario Promedio Anual (TDPA) en tramos de 0.1 millas (160 metros). Las conclusiones del estudio mostraron que un incremento en el IRI desde 1,56 m/km hasta un rango de 1,61 a 3,20 m/km condujo a un aumento de 1,65 veces en la frecuencia de accidentes.

2.2.8.2 Rugosímetro Merlín

Del Águila Rodríguez (1999), menciona que el rugosímetro Merlín también llamado bicicleta de Merlin (ver Figura 12) es un instrumento de medición del IRI de bajo costo, versátil, de fácil operación. Constituye una rueda frontal para facilitar el movimiento y permite su operación de manera vertical. En su parte posterior, posee dos soportes adosados a los lados: uno a la derecha para asegurar el equipo al suelo durante las pruebas y otro a la izquierda para apoyar el equipo cuando no se usa. Además, se extiende hacia atrás con 2 manijas que facilitan levantar y transportar el equipo, permitiendo que ruede sobre la rueda de manera similar a una carretilla.

Figura 12

Instrumento - bicicleta Merlin



Nota: Registro de datos con el instrumento Merlin en la vía Puno – Ilave

2.2.9 Dispositivos de control de tránsito

Según el MTC (2016a), los dispositivos de control de tránsito son herramientas, señales, dispositivos o sistemas utilizados en las carreteras y vías públicas para regular y dirigir el flujo de vehículos, peatones y otros usuarios de la vía. Estos dispositivos tienen como objetivo mejorar la seguridad vial, minimizar la probabilidad de accidentes viales y facilitar un flujo de tráfico más eficiente.

De acuerdo con el manual de dispositivos de control de tránsito del MTC (2016a), las señalizaciones de tránsito se dividen en:

a) Señales verticales

Las señales verticales son elementos colocados en los márgenes o encima de la vía, con el propósito de regular el tráfico, advertir y comunicar a los conductores mediante letras o símbolos estandarizados (MTC, 2016a).

Basándose en la función que cumplen, las señales verticales se dividen en tres categorías distintas:

- Señales reguladoras o de reglamentación

Su objetivo es proporcionar a los conductores y peatones de la vía información sobre preferencias, impedimentos, restricciones, responsabilidades y autorizaciones aplicables al uso de las carreteras. No cumplir con estas indicaciones puede considerarse una infracción que podría resultar en consecuencias legales (MTC, 2016a).

La instalación de las señales se determinará conforme al análisis del estudio de ingeniería vial correspondiente. Según el MTC (2016a) indica que en situaciones donde lo ameriten, las señales pueden ser instaladas ya sea en el lado izquierdo o en pódicos para facilitar su visualización y fomentar el respeto de las mismas en condiciones de tráfico específicas.

Figura 13

Señales que indican prohibiciones de movimientos y cambios de dirección



Nota: Manual de dispositivos de control del tránsito, MTC-2016a (p. 37)

Donde, según la figura.

(R-4) : Señalización de no entrar.

(R-6) : Señalización de prohibición de girar hacia la izquierda.



- (R-6a) : Prohibición de voltear a la izquierda con luz roja.
- (R-8) : Señalización de prohibición de girar a la derecha.
- (R-8a) : Prohibición de voltear a la derecha con luz roja.
- (R-10) : Señalización de prohibición de girar en “u”.
- (R-12) : Señalización de prohibición de intercambiar de carril.
- (R-16) : Señalización de prohibición de adelantar.
- (R-16a) : Señalización de fin de tramo de prohibido adelantar.

- **Señales de prevención**

Busca avisar a los conductores acerca de posibles peligros o circunstancias imprevistas que puedan estar presentes en la carretera o áreas cercanas, tanto de forma temporal como indefinida (MTC, 2016a).

Las señales deben ser colocadas de manera que los operadores de vehículos dispongan del tiempo necesario para llevar a cabo adecuadamente el proceso de percepción y respuesta, permitiéndoles detectar, identificar, tomar decisiones y ejecutar las maniobras de manera segura. Según el MTC (2016a), el espacio que separa la señal de advertencia del riesgo que señala debe calibrarse tomando en cuenta la velocidad máxima permitida o la correspondiente al percentil 85, los detalles particulares de la carretera, la complejidad de la operación a ejecutar y las variaciones de velocidad necesarias para ejecutar dicha maniobra de manera segura.

Figura 14

Señalizaciones preventivas – en curvas horizontales



Nota: Manual de dispositivos de control del tránsito, MTC-2016a (p. 46)

Donde, según la figura.

(P-1A) : Señalización de curva pronunciada a la derecha.

(P-1B) : Señalización de curva pronunciada a la izquierda.

(P-2A) : Señalización de curva a la derecha.

(P-2B) : Señalización de curva a la izquierda.

(P-3A) : Señalización de curva y contra-curva pronunciada a la derecha.

(P-3B) : Señalización de curva y contra-curva pronunciada a la izquierda.

(P-4A) : Señal curva y contra-curva a la derecha.

(P-4B) : Señalización de curva y contra-curva a la izquierda.

(P-5-1) : Señalización de camino sinuoso a la derecha.

(P-5-1A) : Señalización de camino sinuoso a la izquierda.

(P-5-2A) : Señalización de curva en “u” a la derecha.

(P-5-2B) : Señalización de curva en “u” a la izquierda.

- **Señales de información**

Su objetivo es orientar a los conductores y peatones, proporcionándoles información clara y eficiente que les permita llegar a sus destinos. Además, ofrecen datos sobre distancias a áreas urbanas,

servicios disponibles en la ruta, kilómetros en carreteras, denominaciones de calles, puntos turísticos relevantes, entre otros detalles informativos (MTC, 2016a).

La ubicación de las señales informativas a lo largo de la carretera se determina según su propósito específico, el cual se explica detalladamente para cada clase de señal más adelante. No obstante, según el MTC (2016a), este emplazamiento puede ajustarse hasta un 20% dependiendo de las condiciones particulares y aspectos como la configuración de la vía, puntos de entrada y salida, visibilidad, flujo vehicular, tipo de vehículos presentes y otros factores relevantes.

Figura 15

Señales informativas de servicios generales



Nota: Manual de dispositivos de control del tránsito, MTC-2016a (p. 71)

b) Señales horizontales

De acuerdo con el MTC (2016a), las demarcaciones o marcas viales, que representan la señalización horizontal, consisten en dibujos y símbolos, como líneas, flechas y letras que se aplican directamente al pavimento, bordillos y otros componentes viales mediante pintura o adhesivos, incluidas áreas cercanas a la carretera. Estas marcas proporcionan información esencial para la orientación y regulación del tráfico vehicular. Se emplean para marcar y definir carriles y calzadas, señalar áreas con restricción o permiso de adelantar o cambiar de carril, así como para delimitar zonas donde está prohibido estacionarse. También sirven para establecer carriles exclusivos para ciertos tipos de vehículos, como bicicletas, motocicletas, autobuses, entre otros.

Según el MTC (2016a), las variedades de colores que se deben utilizar en la señalización horizontal de la superficie de rodadura son:

- **Blanco:** Para distinguir las corrientes de tránsito que se desplazan en una misma dirección, se utilizarán varios métodos en los bordes de la carretera, incluyendo líneas longitudinales y transversales, marcas elevadas, señalizaciones con flechas indicativas, caracteres alfabéticos y áreas designadas para el estacionamiento autorizado.
- **Amarillo:** Se utiliza de manera excepcional para destacar áreas afectadas por situaciones particulares de la carretera, como carriles de tránsito en direcciones contrarias, vías exclusivas para transporte masivo, objetos inamovibles cercanos a la carretera, líneas que indican la no obstrucción de intersecciones, demarcaciones elevadas y los límites de zonas donde el estacionamiento está prohibido.



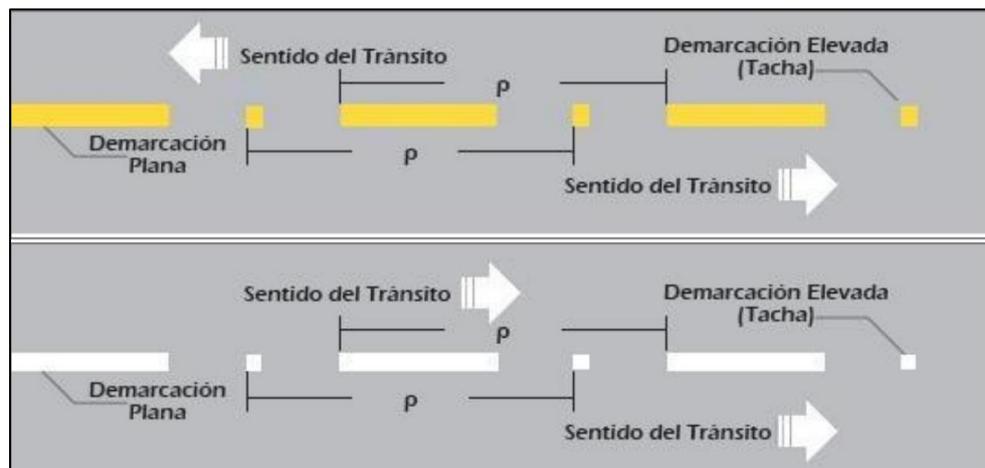
- **Azul:** Refuerzo de señales informativas, incluyendo áreas designadas para estacionamiento de personas con discapacidad, distinción de la vía para la cobranza electrónica de peajes, además de otros aspectos.
- **Rojo:** Demarcación de rampas de emergencia o áreas restringidas (p. 387).

Se describe las líneas a utilizarse en el pavimento:

- **Línea doble continua:** Señala el grado más elevado de limitación para cruzar o cambiar a otro carril.
- **Línea continua:** Limita el tránsito o el cruce hacia otro carril.
- **Línea segmentada:** Señala que el tránsito o cruce hacia otro carril está autorizado, siempre y cuando se respeten las normas de seguridad en la carretera.
- **Línea punteada:** Señala la zona de cambio entre líneas sólidas y/o discontinuas, presentando una longitud más reducida y un grosor mayor que las líneas discontinuas.
- **Brecha:** Distancia entre líneas punteadas y segmentadas.
- **Ancho de línea continua y segmentada:** De 10 cm a 15 cm.
- **Ancho de línea punteada:** El doble de línea segmentada.
- **Ancho extraordinario de líneas:** El doble del ancho de líneas continuas y segmentadas.
- **Ancho de separación de líneas dobles:** Debe ser similar al ancho de las líneas (MTC, 2016a, p. 388).

Figura 16

Ejemplo de patrón de líneas discontinuas “p”



Nota: Manual de dispositivos de control del tránsito, MTC-2016a (p. 388)

De acuerdo con el MTC (2016a) la configuración de una línea discontinua oscila de 02 a 12 metros, según del tipo de vía, su función y la velocidad operativa máxima, tal como se detalla en la tabla siguiente:

Tabla 11

Correlación de distancia entre la demarcación y la brecha

| Patrón (p) – Líneas longitudinales segmentadas en metros | | | | |
|---|-------------------|--------------------------------|--------------------------|---------------------|
| Situación | Patrón (p) | Relación marca - brecha | Largo demarcación | Largo Brecha |
| Rural | 12 | 3 a 5 | 4.5 | 7.5 |
| Urbana > 60 km/h | 12 | 3 a 5 | 4.5 | 7.5 |
| Urbana ≤ 60 km/h | 8 | 3 a 5 | 3 | 5 |
| Ciclo vía | 3 | 1 a 2 | 1 | 2 |
| Línea de continuidad | 2 | 1 a 1 | 1 | 1 |
| Borde calzada | 4 | 2 a 2 | 2 | 2 |

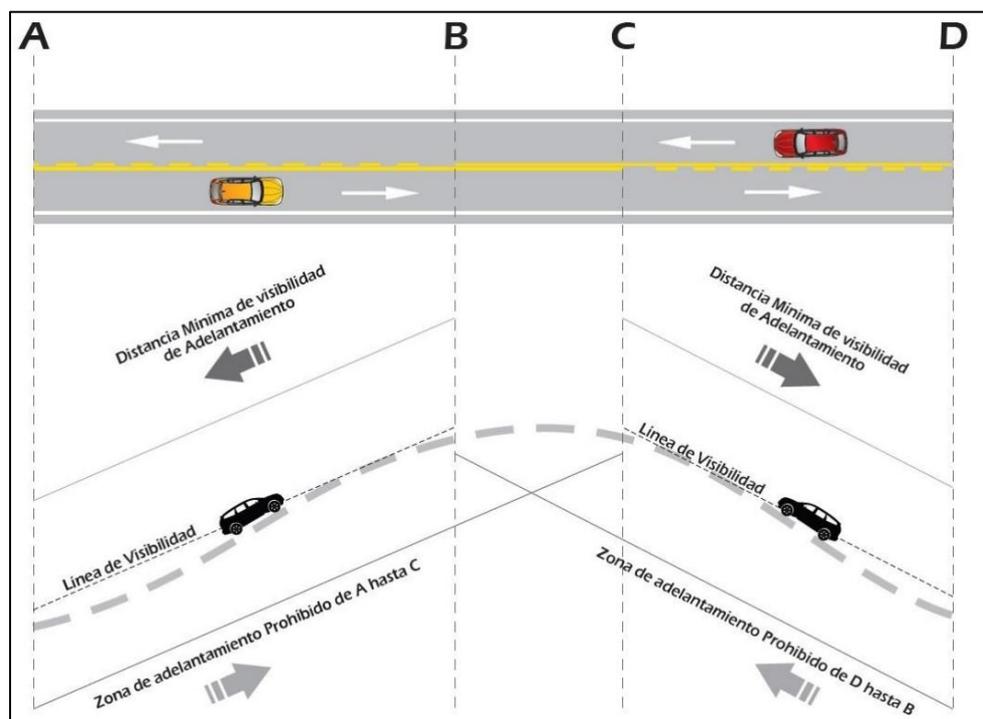
Nota: Manual de dispositivos de control de tránsito, MTC-2016a (p. 388)

2.2.9.1 Clasificación de marcas en la superficie de rodadura

- **Marcas planas en la superficie de rodadura:** Franja perimetral de la calzada o superficie de circulación, franja de división de carriles, franja mediana, franjas que dirigen el flujo del tráfico, líneas que señalan entradas y salidas, líneas que indican la reducción de carriles, línea de detención, marcas para cruces peatonales, señalización de áreas de aparcamiento, marcas que indican no obstruir cruces en intersecciones, señalización para rotondas, además de otras marcas, palabras, símbolos y mensajes (MTC, 2016a, p. 389)

Figura 17

Ejemplo de tramo con prohibición de adelantamiento



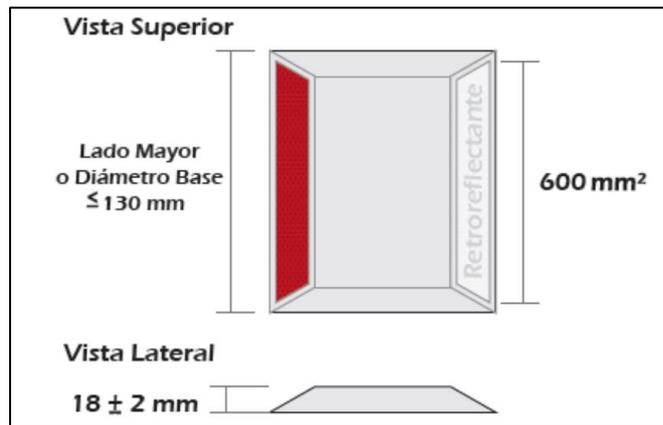
Nota: Manual de dispositivos de control del tránsito, MTC-2016a (p. 396)

- **Marcas elevadas en la superficie de rodadura:** Son marcas que se instalan de manera longitudinal y transversal en la carpeta de rodadura, teniendo como finalidad acompañar a las marcas planas;

incluyen elementos como tachas retrorreflectivas, postes delineadores y señales de delineador de curva horizontal tipo "CHEVRON", entre otros (MTC, 2016a, p. 453).

Figura 18

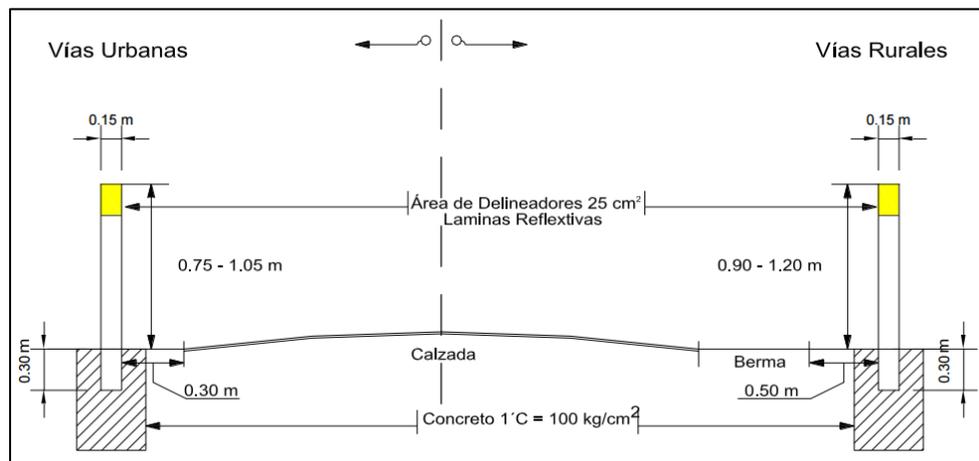
Tacha retrorreflectiva u "ojo de gato"



Nota: MTC-2016a (p. 454)

Figura 19

Ejemplo de retrorreflectivo en postes delineadores



Nota: Manual de dispositivos de control del tránsito, MTC-2016a (p. 457)

Según el MTC (2016a) el espaciado entre postes delineadores se establecerá basándose en el radio de curvatura de la carretera, conforme a lo especificado en la tabla. Para secciones rectas, esta

distancia deberá ser de 25 metros o según corresponda al modelo de la demarcación segmentada de la franja del carril.

Tabla 12

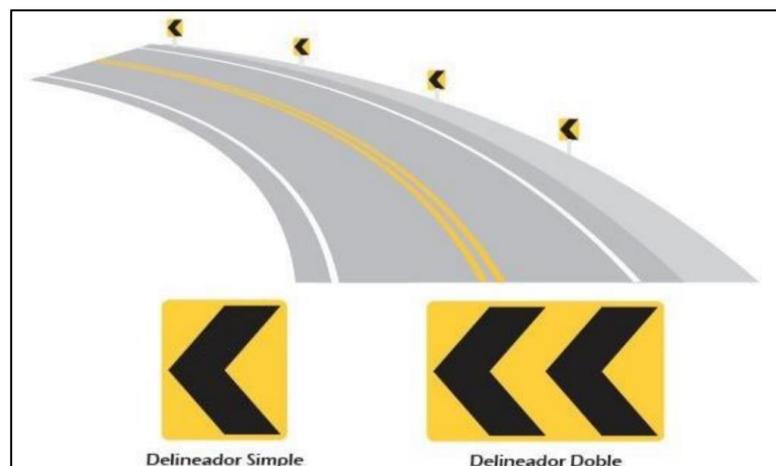
Separación de postes delineadores

| Separación de delineadores | |
|----------------------------------|-------------------|
| Radio de la curva horizontal (m) | Espaciamiento (m) |
| 30 | 4.00 |
| 40 | 5.00 |
| 50 | 6.00 |
| 60 | 7.00 |
| 70 | 8.00 |
| 80 | 9.00 |
| 100 | 10.00 |
| 150 | 12.50 |
| 200 | 15.00 |
| 250 | 17.00 |
| 300 | 18.50 |
| 400 | 20.00 |
| 450 | 21.50 |
| 500 | 23.00 |
| >500 | 24.00 |

Nota: Manual de dispositivos de control del tránsito, MTC-2016a (p. 458)

Figura 20

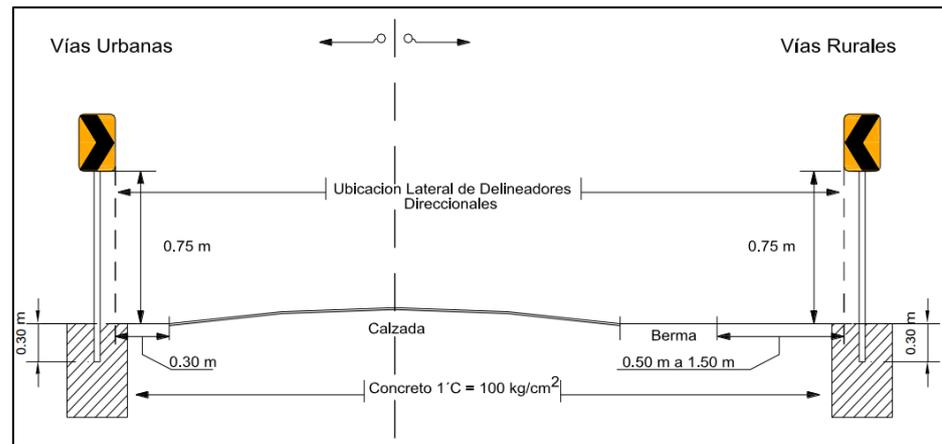
Señal de delineador de curva (P-61) - "CHEVRON"



Nota: Manual de dispositivos de control del tránsito, MTC-2016a (p. 459)

Figura 21

Ejemplo de ubicación de delineadores "CHEVRON"



Nota: Manual de dispositivos de control del tránsito, MTC-2016a (p. 461)

En la siguiente tabla, se presentan las separaciones entre los delineadores "CHEVRON" de acuerdo con el radio de curvatura horizontal de la carretera.

Tabla 13

Espaciamiento de delineadores "CHEVRON"

| Espaciamiento de chevrone | |
|----------------------------------|-------------------|
| Radio de la Curva Horizontal (m) | Espaciamiento (m) |
| 15 | 5.00 |
| 50 | 10.00 |
| 75 | 12.00 |
| 100 | 15.00 |
| 150 | 20.00 |
| 200 | 22.00 |
| 250 | 24.00 |
| 300 | 27.00 |

Nota: Manual de Dispositivos de Control del Tránsito MTC-2016a (p. 460)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La metodología de este estudio es de enfoque cuantitativo, se caracteriza por su objetivo de cuantificar los datos y, generalmente se aplica alguna forma de análisis estadístico para explorar relaciones entre variables y establecer patrones. (Hernández et al. 2014).

Es de enfoque cuantitativo, porque se identifica por utilizar métodos y técnicas cuantitativas y por ello tiene que ver con la medición, el uso de magnitudes, la observación y medición de las unidades de evaluación, el muestreo, el tratamiento estadístico. (Ñaupas et al. 2018)

3.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Es descriptivo, porque implica describir y explicar fenómenos, circunstancias y eventos con el fin de esclarecer sus características y la forma en que se presentan, sin influir o modificar el entorno o a los sujetos investigados (Hernández et al. 2014).

Un estudio descriptivo es aquel que se enmarca dentro de la metodología de investigación cuantitativa, centrado en una única variable conocida como variable de interés. Dada su naturaleza univariada, es crucial considerar los factores presentes en el entorno de dicha variable (Ochoa & Yunkor, 2021)

3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Es no experimental, podría describirse como la investigación que se lleva a cabo sin alterar intencionalmente las variables. Es decir, se refiere a estudios donde no se



manipulan de manera deliberada las variables independientes para verificar su influencia en otras variables, se observan los fenómenos tal como se presentan en su entorno natural para analizarlos. (Hernández et al. 2014).

Los estudios no experimentales se enfocan en analizar eventos en su entorno real, sin alterar o gestionar las variables implicadas, prácticamente el estudio se realiza sin manipular deliberadamente las variables. (Suca, 2014)

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

3.4.1 Población

La población de estudio de esta investigación comprende la red vial nacional ruta PE-3S, específicamente en la carretera Puno – Ilave que se extiende desde el km 1364+00 hasta el km 1412+00.

3.4.2 Muestra

La muestra de la investigación está compuesta por 20 puntos críticos de accidentes de tránsito identificados en la carretera Puno – Ilave (ver tabla 14). Estos puntos fueron seleccionados en base a un análisis de la frecuencia y concentración de accidentes de tránsito en la zona. Cada uno de los puntos críticos abarca un tramo específico de 01 kilómetro de longitud.

Tabla 14*Puntos críticos de estudio (P)*

| P | Tramo | Progresiva | | N° Accid. | Zona de Accidentes | Tipo de Tramo |
|----|-------|------------|---------|--------------|-----------------------|------------------|
| | | Inicio | Fin | | | |
| 01 | T 1 | Km 1364 | Km 1365 | 6 | Grave | Recto |
| 02 | T 3 | Km 1366 | Km 1367 | 5 | Leve | Curva |
| 03 | T 5 | Km 1368 | Km 1369 | 6 | Mortal | Recto |
| 04 | T 7 | Km 1370 | Km 1371 | 2 | Mortal | Recto |
| 05 | T 8 | Km 1371 | Km 1372 | 4 | Grave | Curva |
| 06 | T 9 | Km 1372 | Km 1373 | 7 | Grave | Recto |
| 07 | T 10 | Km 1373 | Km 1374 | 3 | Grave | Curva |
| 08 | T 12 | Km 1375 | Km 1376 | 4 | Mortal | Curva |
| 09 | T 13 | Km 1376 | Km 1377 | 5 | Grave | Curva |
| 10 | T 16 | Km 1379 | Km 1380 | 3 | Grave | Recto |
| 11 | T 17 | Km 1380 | Km 1381 | 5 | Mortal | Curva |
| 12 | T 21 | Km 1384 | Km 1385 | 3 | Mortal | Recto |
| 13 | T 23 | Km 1386 | Km 1387 | 2 | Mortal | Recto |
| 14 | T 24 | Km 1387 | Km 1388 | 3 | Grave | Curva |
| 15 | T 25 | Km 1388 | Km 1389 | 4 | Mortal | Curva |
| 16 | T 29 | Km 1392 | Km 1393 | 7 | Mortal | Curva |
| 17 | T 37 | Km 1396 | Km 1397 | 4 | Mortal | Recto |
| 18 | T 34 | Km 1400 | Km 1401 | 3 | Mortal | Recto |
| 19 | T 40 | Km 1403 | Km 1404 | 4 | Grave | Recto |
| 20 | T 42 | Km 1405 | Km 1406 | 2 | Grave | Recto |

3.5 DATOS GENERALES DEL TRAMO DE INVESTIGACIÓN

El estudio se llevó a cabo en el departamento de Puno, específicamente en las provincias de Puno y El Collao, así como los distritos de Puno, Chucuito, Platería, Acora e Ilave. La carretera objeto de análisis es parte de la red nacional de vías, correspondiendo

a la ruta PE-3S, que se extiende desde el desvío Jayllihuaya en el kilómetro 1364+000 hasta la unidad de peaje de Ilave en el kilómetro 1411+500.

Figura 22

Delimitación de tramo de investigación



Nota: Extracción de Google Earth, Carretera Puno – Ilave

3.5.1 Ubicación política

Departamento : Puno

Provincias : Puno y El Collao

Distritos : Puno, Chucuito, Platería, Acora e Ilave

Lugar : Carretera Puno – Ilave.

3.5.2 Ubicación geográfica

Tabla 15

Coordenadas geográficas

| Lugar | Latitud Sur | Longitud Oeste | Altitud | Zona |
|-----------------------|---------------|----------------|-----------|--------|
| Desvío Jayllihuaya | 15°51'52.60" | 69°59'37.03" | 3,817.956 | 19 SUR |
| Unidad de Peaje Ilave | 16° 04'41.62" | 69°39'27.47" | 3,837.130 | 19 SUR |

Nota: Coordenadas Geográficas del inicio y final de la población de estudio

3.5.3 Área de influencia del estudio

El área de influencia está incluida en la red vial nacional ruta PE-3S, correspondientes al tramo Puno – Ilave del corredor interoceánico sur, Perú – Brasil.

| | |
|------------------------|---------------|
| Superficie de rodadura | : Asfaltado |
| Número de carriles | : 02 |
| Ancho de calzada | : 6.60m – 7m |
| Ancho de berma | : 0.5m – 1.8m |

3.6 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

El método que se utilizó para la recolección de datos de los accidentes de tránsito corresponde a la recopilación documental.

Los métodos utilizados para la recolección de datos de flujo vehicular, elementos geométricos, datos de la rugosidad del pavimento y datos de los dispositivos de control de tránsito en los puntos críticos corresponde a la observación estructurada.

3.6.1 Información de flujo vehicular

La información referente al flujo vehicular fue recopilada mediante aforos llevados a cabo por el investigador, así como a través del análisis de datos obtenidos del INEI (2022), concretamente del Compendio Estadístico de Puno sobre tráfico vehicular, según la unidad de peaje de entrada.

a) Estudio de flujo vehicular

Para calcular el Índice Medio Diario Anual (IMDA), es fundamental realizar la recolección de datos primarios mediante conteos vehiculares en la carretera en estudio, así como el posterior procesamiento de estos datos en

gabinete. Adicionalmente, es necesario contar con datos secundarios que incluyen registros oficiales del IMDA, factores de ajuste y otros datos complementarios necesarios para realizar estos ajustes. Estos datos adicionales se pueden obtener de instituciones como el MTC, el INEI o cualquier otra entidad pertinente.

b) Punto de aforo vehicular

La selección de los sitios para el conteo vehicular se llevó a cabo de manera estratégica para determinar el volumen real del tráfico, considerando tanto las rutas alternativas como los caminos más directos de los distritos que atraviesa la carretera objeto de estudio.

Figura 23

Estaciones de aforo vehicular



Nota: Extracción de Google Earth, Carretera Puno – Ilave

Tabla 16

Ubicación de estaciones de aforo vehicular

| Estación | Latitud | Longitud | Referencia |
|----------|---------------|---------------|-------------------------------|
| E-01 | 15°51'38.30"S | 69°58'56.82"O | Grifo Petromass salida Puno |
| E-02 | 16° 4'25.31"S | 69°40'5.22"O | Desvío Piñutani ingreso Ilave |

Nota: Las estaciones E-01 y E-02 están dentro de la Carretera Puno – Ilave

El aforo vehicular se llevó a cabo in situ siguiendo el formato recomendado por el Manual de Inventarios Viales del MTC (2016b). En el Anexo 1 se presenta el conteo de vehículos realizado en el tramo Puno - Ilave.

- Unidad de Peaje Ilave

En la carretera evaluada, que dispone de una unidad de peaje, se emplearon los registros de esta para evaluar el flujo vehicular anual en el período comprendido entre los años 2018 y 2022. Dicha unidad está ubicada en el km 1411+500 de la carretera Puno – Ilave, que forma parte de la red vial nacional – ruta PE-3S, en el distrito de Ilave, provincia de El Collao, departamento de Puno.

Tabla 17

Flujo vehicular mensual de la unidad de peaje Ilave

| Mes | Año | | | | Total |
|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| | 2018 | 2019 | 2021 | 2022 | |
| Enero | 61774 | 56170 | 71208 | 63028 | 252180 |
| Febrero | 59823 | 55571 | 46822 | 65704 | 227920 |
| Marzo | 43598 | 64471 | 60608 | 71004 | 239681 |
| Abril | 811 | 55414 | 57522 | 68958 | 182705 |
| Mayo | 61108 | 56051 | 57246 | 65074 | 239479 |
| Junio | 52296 | 53931 | 51710 | 58332 | 216269 |
| Julio | 59347 | 61719 | 59902 | 72978 | 253946 |
| Agosto | 74873 | 76753 | 71542 | 83382 | 306550 |
| Setiembre | 58490 | 58732 | 59528 | 62589 | 239339 |
| Octubre | 63545 | 60444 | 63586 | 65248 | 252823 |
| Noviembre | 53850 | 52383 | 56790 | 57846 | 220869 |
| Diciembre | 61589 | 59052 | 66540 | 70648 | 257829 |
| Total | 651104 | 710691 | 723004 | 804791 | 2889590 |

Nota. No se incluyeron datos del año 2020 debido a las interrupciones provocadas por la pandemia de Covid-19. Los datos analizados provienen de los reportes del INEI (2022).

Figura 24

Flujo vehicular por mes Puno - Ilave

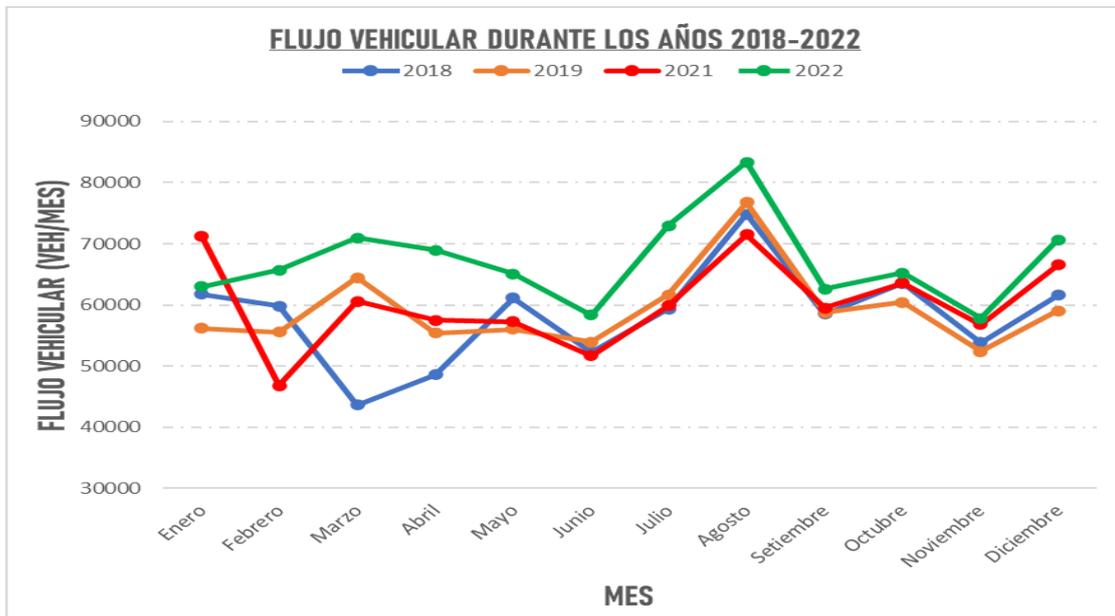
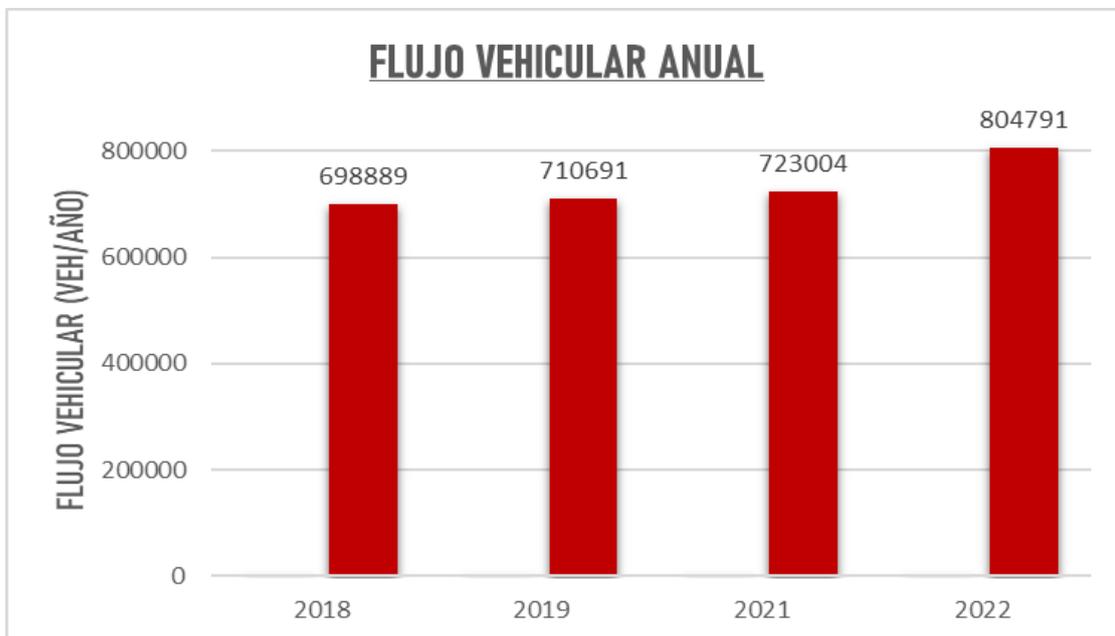


Figura 25

Flujo vehicular por año Puno - Ilave



3.6.2 Registro de accidentes de tránsito

La información sobre los registros de accidentes de tránsito se obtuvo de la División de Orden Público y Seguridad de Puno (DIVOPUS, 2023), según los reportes de las comisarías ubicadas en la jurisdicción de la carretera Puno – Ilave, que incluyen las Comisarías PNP de Puno, Ichu, Chucuito, Platería, Acora e Ilave. Para más detalles, ver Anexo 2.

- Accidentes de tránsito entre los años 2021 y 2022.

De acuerdo con los datos reportados para los años 2021 y 2022, se registraron un total de 153 accidentes de tránsito en la carretera en estudio, como se detalla en la tabla siguiente.

Tabla 18

*Registro de accidentes de tránsito entre los años
2021 y 2022 en la vía Puno - Ilave*

| Mes | Año | | Total |
|--------------|-----------|-----------|------------|
| | 2021 | 2022 | |
| Enero | 4 | 5 | 9 |
| Febrero | 6 | 9 | 15 |
| Marzo | 3 | 8 | 11 |
| Abril | 7 | 3 | 10 |
| Mayo | 4 | 8 | 12 |
| Junio | 9 | 1 | 10 |
| Julio | 9 | 7 | 16 |
| Agosto | 8 | 6 | 14 |
| Setiembre | 5 | 6 | 11 |
| Octubre | 5 | 9 | 14 |
| Noviembre | 12 | 4 | 16 |
| Diciembre | 9 | 6 | 15 |
| Total | 81 | 72 | 153 |

Nota: Resumen del reporte de DIVOPUS (2023).

Los accidentes de tránsito en la carretera Puno – Ilave durante los años 2021 y 2022 presentan una alta incidencia en los meses de febrero, julio, noviembre y diciembre, tal como se ilustra en la figura 26. Según los registros, la coincidencia de estos accidentes con los picos de frecuencia vehicular se observa durante los meses festivos y en las temporadas de lluvias características de la zona de estudio.

Figura 26

Total de accidentes de tránsito en la vía Puno - Ilave



- **Accidentes de tránsito de acuerdo al tipo de vehículo.**

Tabla 19

Accidentes de tránsito de acuerdo al tipo de vehículo

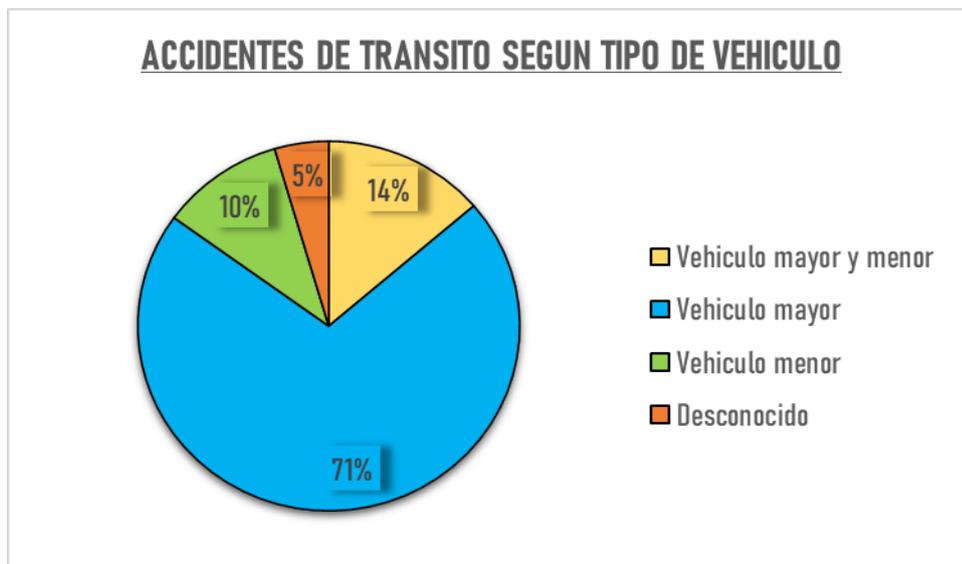
| Mes | Año | | Total |
|------------------------|-----------|-----------|------------|
| | 2021 | 2022 | |
| Vehículo mayor y menor | 11 | 10 | 21 |
| Vehículo mayor | 57 | 52 | 109 |
| Vehículo menor | 10 | 6 | 16 |
| Desconocido | 3 | 4 | 7 |
| Total | 81 | 72 | 153 |

Nota: Resumen del reporte de DIVOPUS (2023)

Según el reporte de la DIVOPUS (2023), de los accidentes de tránsito ocurridos en la carretera Puno – Ilave durante los años 2021 y 2022, se observa en la figura 27 que el 71% de los incidentes involucran a vehículos mayores, siendo esta la categoría más prevalente en los accidentes registrados.

Figura 27

Accidentes de tránsito según tipo de vehículo



- **Tipos de accidentes de tránsito.**

Tabla 20

Tipos de accidentes de tránsito en la vía Puno - Ilave

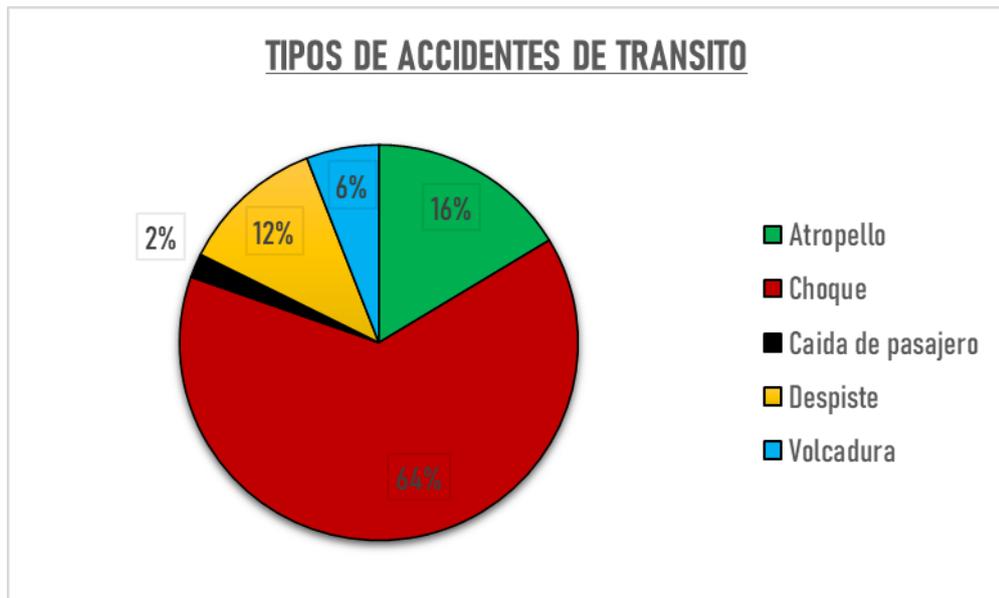
| Tipo de accidente | Año | | Total |
|-------------------|-----------|-----------|------------|
| | 2021 | 2022 | |
| Atropello | 12 | 13 | 25 |
| Choque | 52 | 46 | 98 |
| Caída de pasajero | 1 | 2 | 3 |
| Despiste | 9 | 9 | 18 |
| Volcadura | 7 | 2 | 9 |
| Total | 81 | 72 | 153 |

Nota: Resumen del reporte de DIVOPUS (2023).

De acuerdo con los registros, los tipos de accidentes más comunes en la carretera Puno – Ilave durante los años 2021 y 2022 son: choques, representando el 64% de los casos, y atropellos que constituye el 16%. Estos datos se ilustran en la figura 28.

Figura 28

Tipos de accidentes de tránsito en la vía Puno - Ilave



- **Causas de los accidentes de tránsito.**

Tabla 21

Causas de accidentes de tránsito en la vía Puno - Ilave

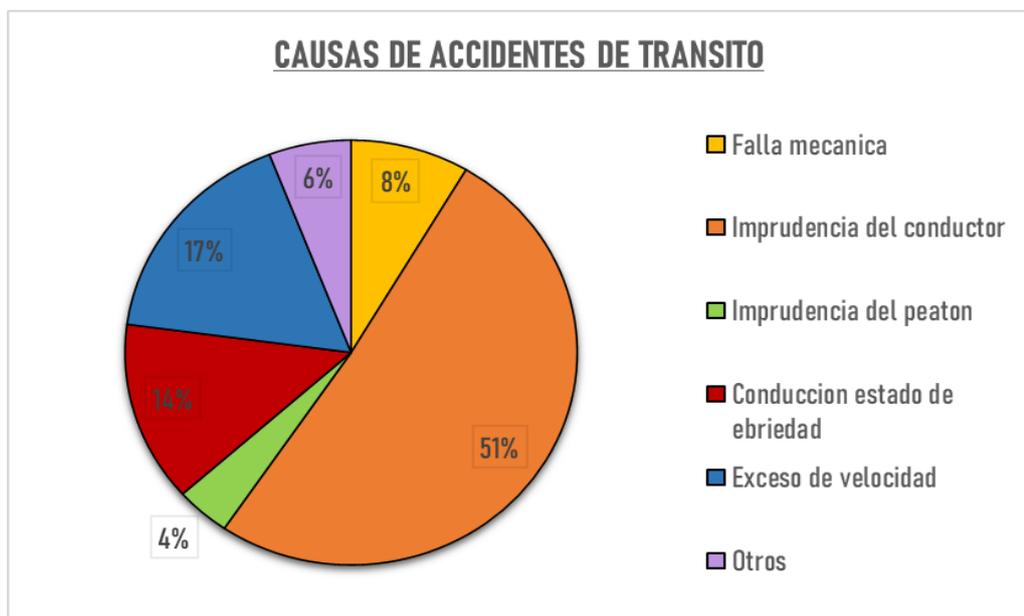
| Causas de accidentes | Año | | Total |
|-------------------------------|-----------|-----------|------------|
| | 2021 | 2022 | |
| Falla mecánica | 9 | 4 | 13 |
| Imprudencia del conductor | 34 | 44 | 78 |
| Imprudencia del peatón | 3 | 3 | 6 |
| Conducción estado de ebriedad | 12 | 9 | 21 |
| Exceso de velocidad | 14 | 12 | 26 |
| Otros | 9 | 0 | 9 |
| Total | 81 | 72 | 153 |

Nota: Resumen del reporte de DIVOPUS (2023).

De acuerdo con los informes de las comisarías en la jurisdicción de la vía Puno – Ilave, el 51% de los accidentes de tránsito se atribuyen a la imprudencia del conductor, mientras que el 17% se debe a la velocidad excesiva y el 14% a la conducción en estado de ebriedad. Estas tres causas constituyen las principales contribuyentes a los incidentes en esta ruta, como se muestra en la figura 29.

Figura 29

Causas de accidentes de tránsito en la vía Puno - Ilave



- **Gravedad de accidentes de tránsito.**

Tabla 22

Gravedad de accidentes de tránsito en la vía Puno - Ilave

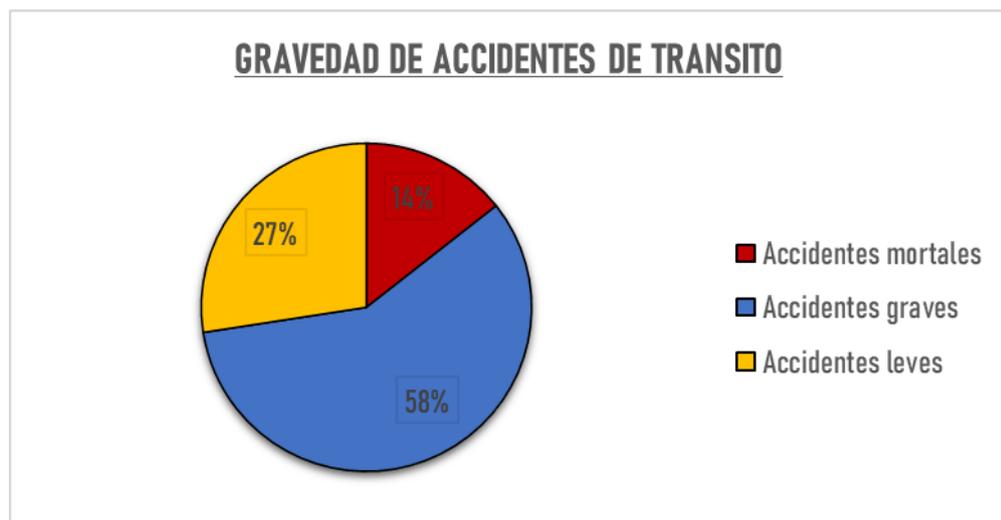
| Gravedad de accidentes | Año | | Total |
|------------------------|-----------|-----------|------------|
| | 2021 | 2022 | |
| Accidentes mortales | 10 | 12 | 22 |
| Accidentes graves | 44 | 45 | 89 |
| Accidentes leves | 27 | 15 | 42 |
| Total | 81 | 72 | 153 |

Nota: Resumen del reporte de DIVOPUS (2023)

La gravedad de los accidentes de tránsito en la vía Puno – Ilave tiene un impacto significativo tanto social como económico. Los accidentes se clasifican en tres categorías: mortales, en los que una o más personas fallecen; graves, en los que hay personas heridas; y leves, con daños menores. Según se muestra en la figura 30, los accidentes mortales representan el 14% del total de incidentes, mientras que los accidentes graves y leves constituyen el 58% y el 27%, respectivamente. Esta distribución subraya la severidad y la frecuencia de los accidentes en esta carretera.

Figura 30

Gravedad de accidentes de tránsito en la vía Puno - Ilave



3.6.3 Estudio de velocidad en puntos críticos

La investigación de velocidades se llevó a cabo en segmentos uniformes de la carretera, asumiendo que la velocidad permanece constante. Se midió en tramos de 200 metros, recolectando datos sobre el tiempo (en segundos) que tardan los vehículos en recorrer estos. La velocidad fue calculada usando la fórmula siguiente:

$$V = \frac{D}{T}$$

Donde:

- V : Velocidad calculada, en (m/s)
- D : Distancia de evaluación, en (m).
- T : Tiempo que le toma al vehículo cruzar dicha distancia, en (s).

El estudio de la velocidad de operación se efectuó en los 20 puntos críticos identificados, utilizando el percentil 85 para obtener una estimación más precisa y establecer el límite de velocidad operativa en el tramo en cuestión. De acuerdo con la normativa MTC (2018), el percentil 85 se define como la velocidad por debajo de la cual circula el 85% de las unidades vehiculares.

El cálculo de la velocidad en tramos rectos y curvas, junto con los datos obtenidos del estudio, incluyendo distancias y tiempos, se presenta en el Anexo 3.

Tabla 23

Resumen de velocidad percentil 85 en tramo recto

| N° | Ubicación | Tramo | Velocidad (Km/h) |
|----|-----------|-------|---------------------|
| 1 | Km 1364 | Recto | 67.78 |
| 2 | Km 1368 | Recto | 76.39 |
| 3 | Km 1370 | Recto | 86.33 |
| 4 | Km 1372 | Recto | 77.02 |
| 5 | Km 1379 | Recto | 85.66 |
| 6 | Km 1384 | Recto | 86.33 |
| 7 | Km 1386 | Recto | 82.42 |
| 8 | Km 1396 | Recto | 90.34 |
| 9 | Km 1400 | Recto | 100.78 |
| 10 | Km 1403 | Recto | 85.77 |
| 11 | Km 1405 | Recto | 90.91 |

Tabla 24*Resumen de velocidad percentil 85 en tramo curvo*

| N° | Ubicación | Tramo | Velocidad (Km/h) |
|----|-----------|-------|---------------------|
| 1 | Km 1366 | Curva | 77.80 |
| 2 | Km 1371 | Curva | 83.04 |
| 3 | Km 1373 | Curva | 61.75 |
| 4 | Km 1375 | Curva | 73.39 |
| 5 | Km 1376 | Curva | 77.56 |
| 6 | Km 1380 | Curva | 78.64 |
| 7 | Km 1387 | Curva | 52.72 |
| 8 | Km 1388 | Curva | 61.75 |
| 9 | Km 1392 | Curva | 50.74 |

3.6.4 Datos de elementos geométricos de los puntos críticos

Se recopiló información sobre los elementos geométricos en los puntos críticos de accidentes de tránsito en la carretera Puno – Ilave a través de mediciones realizadas In Situ mediante levantamiento topográfico (consultar Anexo 4), considerando una evaluación de 01 km por punto crítico.

El trabajo de gabinete se enfocó en la determinación técnica y precisa de los elementos geométricos de la carretera, incluyendo tanto los tramos curvos como rectos. Esto se realizó a través de un análisis exhaustivo de parámetros tales como el radio de curvatura, las pendientes, el alineamiento horizontal y las secciones transversales.

Posteriormente, se realizó una comparación de los elementos geométricos de la vía con los límites máximos y mínimos establecidos en el Manual de Carreteras DG-2018.

Figura 31

Levantamiento topográfico en el tramo curvo



Figura 32

Levantamiento topográfico en el tramo recto





3.6.5 Datos de la rugosidad del pavimento de los puntos críticos

La evaluación de la rugosidad del pavimento se llevó a cabo in situ, enfocándose en los puntos críticos identificados mediante los métodos propuestos. Para esta evaluación, se determinó el valor del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) utilizando el instrumento Merlin y aplicando los procedimientos establecidos para la determinación de la rugosidad de los pavimentos.

3.6.5.1 Método de ejecución del ensayo con el instrumento Merlin

Este instrumento facilitó la realización de mediciones para determinar el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) en cada tramo, permitiendo así verificar los resultados en comparación con los parámetros mínimos establecidos por la Especificación General (EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

a) Tablero Merlin

La relación entre el movimiento del patín móvil y del pivot con respecto al del puntero es de 01 a 10, lo que representa que un desplazamiento en la zona baja del patín móvil resulta en un movimiento de 01 cm (10 mm) en el puntero.

Para registrar los desplazamientos del puntero, se emplea una hoja con escala gráfica situada al borde del tablero por donde se desplaza el puntero. Esta hoja contiene 50 divisiones, cada una con un grosor de 5 mm.

Figura 33

Tablero Merlin para las mediciones a escala

| RUGOSIMETRO MERLIN | | |
|--------------------|-------------|----|
| 1 DIVISION = 5 mm | | |
| | DEPRESIONES | 50 |
| | | 49 |
| | | 48 |
| | | 47 |
| | | 46 |
| | | 45 |
| | | 44 |
| | | 43 |
| | | 42 |
| | | 41 |
| | | 40 |
| | | 39 |
| | | 38 |
| | | 37 |
| | | 36 |
| | | 35 |
| | | 34 |
| | | 33 |
| | | 32 |
| | | 31 |
| | | 30 |
| | | 29 |
| | | 28 |
| | | 27 |
| | | 26 |
| | ELEVACIONES | 25 |
| | | 24 |
| | | 23 |
| | | 22 |
| | | 21 |
| | | 20 |
| | | 19 |
| | | 18 |
| | | 17 |
| | | 16 |
| | | 15 |
| | | 14 |
| | | 13 |
| | | 12 |
| | | 11 |
| | | 10 |
| | | 9 |
| | | 8 |
| | | 7 |
| | | 6 |
| | | 5 |
| | | 4 |
| | | 3 |
| | | 2 |
| | | 1 |

b) Procedimiento del Ensayo

La ejecución de este ensayo requiere, al menos, la participación de dos personas: un operador responsable de manejar el instrumento Merlin y efectuar las mediciones, y un asistente delegado en registrar dichas lecturas.

- Es esencial seleccionar un tramo de aproximadamente 400 metros de distancia, en un carril específico. Estas mediciones se realizan de acuerdo con las huellas dejadas por el tránsito de vehículos.
- Para determinar el IRI, es necesario recolectar 200 mediciones de las imperfecciones en la superficie del pavimento. Estas mediciones se

obtienen deteniendo el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2 metros, o empleando el perímetro de la rueda del equipo MERLIN como referencia, marcando el aro para monitorear y controlar el proceso de recolección de datos.

- Durante cada medición, el instrumento debe ser colocado en la carretera apoyándose en tres puntos estables y consistentes: la rueda, el soporte fijo trasero y el estabilizador para el ensayo. La ubicación del puntero indicará un valor entre 01 y 50, que se registrará en un formulario de campo, tal como se ilustra en la figura 34. Este formulario está estructurado en una cuadrícula de 20 filas y 10 columnas; comenzando en la celda (1,1), se completa los datos de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

Figura 34

Hoja de campo para la medición de la rugosidad con Merlín

| ENSAYOS PARA LA MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|----|---|-------|---|---|---|---|----|----------------------|
| (HOJA DE CAMPO) | | | | | | | | | | | |
| TESIS : | LOCALIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN LA VÍA PUNO - ILAVE ENTRE LOS AÑOS 2021 - 2022 Y PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS | | | | | | | | | | |
| SECTOR : | | | | | OP: | | | | | | |
| TRAMO : | | | | | FECHA | | | | | | |
| CARRIL : | | | | | HORA | | | | | | |
| ENSAYO N° | | | KM | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | TIPO DE PAVIMENTO |
| 1 | | | | | | | | | | | AFIRMADO |
| 2 | | | | | | | | | | | BASE GRANULAR |
| 3 | | | | | | | | | | | BASE IMPRIMIDA |
| 4 | | | | | | | | | | | TRAT. BI-CAPA |
| 5 | | | | | | | | | | | CARPETA EN FRIO |
| 6 | | | | | | | | | | | CARPETA EN CALIENTE |
| 7 | | | | | | | | | | | RECAPEO ASFALTICO |
| 8 | | | | | | | | | | | SELLO |
| 9 | | | | | | | | | | | RECUBRIMIENTO BITUM. |
| 10 | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | |
| OBSERVACIONES: | | | | | | | | | | | |

Figura 35

Recorrido del instrumento Merlin para el registro de datos



Figura 36

Toma de datos en hoja milimétrica con ayuda del instrumento Merlin



Figura 37

Ensayo para la determinación de la rugosidad del pavimento



3.6.6 Datos de los dispositivos de control de tránsito de los puntos críticos

Para efectuar el inventario de los dispositivos de control de tránsito en la vía Puno-Ilave, se examinaron las señalizaciones existentes a lo largo del tramo, enfocándose específicamente en los puntos críticos de accidentes de tránsito. Se evaluó la ubicación de las señales en relación con el borde de la carretera y su propósito informativo para conductores y peatones, clasificando los distintos tipos de señales y su distribución a lo largo de la vía.

Este inventario se llevó a cabo conforme al Manual de Inventarios Viales del MTC (2016b), permitiendo así evaluar todas las señalizaciones verticales y horizontales de acuerdo con el Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras del MTC (2018).

Respecto a la transitabilidad de la vía, se clasifica como bueno (B) cuando el deterioro no excede el 10% del tramo evaluado y las deformaciones, como hundimientos, no superan los 5 cm. Se considera regular (R) cuando el deterioro



supera el 10% pero no alcanza el 30% del tramo evaluado, y los hundimientos están entre 5 cm y 10 cm. Finalmente, se clasifica como malo (M) cuando el deterioro excede el 30% del tramo evaluado y presenta hundimientos que superan los 10 cm de profundidad.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 LOCALIZACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO

4.1.1 Localización de los puntos críticos de accidentes de tránsito

4.1.1.1 Método del número de frecuencia de accidentes

Se aplicará el método de número de frecuencia de accidentes, adoptando un nivel de confianza específico para definir el límite que identifica los puntos críticos de accidentes de tránsito.

A continuación, se presenta un ejemplo del análisis aplicado mediante este método:

Ejemplo de cálculo tramo 1

- Datos según reporte:

Número de accidentes totales : 6

Longitud del tramo : 1 Km

Σ de accidentes totales : 105

Σ de longitud de tramos : 48 Km

- Frecuencia de accidentes en cada tramo.

$$N_i = \frac{\text{Número de accidentes en el tramo } i}{\text{longitud del tramo } i}$$

$$N_i = \frac{6}{1}$$

$$N_i = 6$$

- Frecuencia media de accidentes en cada tramo.

$$N_m = \frac{\Sigma \text{ Accidentes en el tramos homogéneos}}{\Sigma \text{ longitud en tramos homogéneos}}$$



$$N_m = \frac{105}{48}$$

$$N_m = 2.188$$

- Cálculo de la desviación estándar del tramo.

$$N_\sigma = \sqrt{\frac{\sum(N_i - N_m)^2}{n - 1}}$$

$$N_\sigma = \sqrt{\frac{53.813}{48 - 1}}$$

$$N_\sigma = 1.070$$

- Valor límite de la frecuencia.

$$N_{lim} = kN_\sigma + N_m$$

Dónde: $k=1.645$ para un nivel de confianza al 95%, según la Tabla 1.

$$N_{lim} = 1.645(1.070) + 2.188$$

$$N_{lim} = 3.948$$

- Verificación de punto crítico.

Según la metodología, será considerado como punto crítico cuando se cumpla que:

$$N_i \geq N_{lim}$$

$$6 \geq 3.948$$

Del tramo 1, su N_i es mayor que N_{lim} , por lo tanto, es considerado como un punto crítico.



Tabla 25

Valores de la frecuencia (N_i), frecuencia media (N_m), desvío estándar ($N\sigma$) y frecuencia límite (N_{lim}).

| Tramo | Progresiva | | 2021 | 2022 | Total |
|-------|------------|---------|-------|-------|-------|
| | Inicio | Fin | N_i | N_i | N_i |
| T 1 | Km 1364 | Km 1365 | 4 | 2 | 6 |
| T 2 | Km 1365 | Km 1366 | 1 | 0 | 1 |
| T 3 | Km 1366 | Km 1367 | 4 | 1 | 5 |
| T 4 | Km 1367 | Km 1368 | 1 | 0 | 1 |
| T 5 | Km 1368 | Km 1369 | 5 | 1 | 6 |
| T 6 | Km 1369 | Km 1370 | 2 | 0 | 2 |
| T 7 | Km 1370 | Km 1371 | 1 | 1 | 2 |
| T 8 | Km 1371 | Km 1372 | 3 | 1 | 4 |
| T 9 | Km 1372 | Km 1373 | 6 | 1 | 7 |
| T 10 | Km 1373 | Km 1374 | 1 | 2 | 3 |
| T 11 | Km 1374 | Km 1375 | 0 | 0 | 0 |
| T 12 | Km 1375 | Km 1376 | 1 | 3 | 4 |
| T 13 | Km 1376 | Km 1377 | 3 | 2 | 5 |
| T 14 | Km 1377 | Km 1378 | 0 | 1 | 1 |
| T 15 | Km 1378 | Km 1379 | 0 | 2 | 2 |
| T 16 | Km 1379 | Km 1380 | 1 | 2 | 3 |
| T 17 | Km 1380 | Km 1381 | 2 | 3 | 5 |
| T 18 | Km 1381 | Km 1382 | 1 | 1 | 2 |
| T 19 | Km 1382 | Km 1383 | 0 | 0 | 0 |
| T 20 | Km 1383 | Km 1384 | 1 | 0 | 1 |
| T 21 | Km 1384 | Km 1385 | 1 | 2 | 3 |
| T 22 | Km 1385 | Km 1386 | 0 | 0 | 0 |
| T 23 | Km 1386 | Km 1387 | 2 | 0 | 2 |
| T 24 | Km 1387 | Km 1388 | 1 | 2 | 3 |
| T 25 | Km 1388 | Km 1389 | 0 | 4 | 4 |
| T 26 | Km 1389 | Km 1390 | 1 | 0 | 1 |
| T 27 | Km 1390 | Km 1391 | 0 | 1 | 1 |
| T 28 | Km 1391 | Km 1392 | 0 | 1 | 1 |
| T 29 | Km 1392 | Km 1393 | 4 | 3 | 7 |
| T 30 | Km 1393 | Km 1394 | 0 | 0 | 0 |
| T 31 | Km 1394 | Km 1395 | 0 | 0 | 0 |
| T 32 | Km 1395 | Km 1396 | 0 | 0 | 0 |
| T 33 | Km 1396 | Km 1397 | 2 | 2 | 4 |
| T 34 | Km 1397 | Km 1398 | 1 | 1 | 2 |
| T 35 | Km 1398 | Km 1399 | 1 | 0 | 1 |
| T 36 | Km 1399 | Km 1400 | 0 | 1 | 1 |
| T 37 | Km 1400 | Km 1401 | 2 | 1 | 3 |
| T 38 | Km 1401 | Km 1402 | 0 | 0 | 0 |
| T 39 | Km 1402 | Km 1403 | 1 | 1 | 2 |
| T 40 | Km 1403 | Km 1404 | 1 | 3 | 4 |



| Tramo | Progresiva | | 2021 | 2022 | Total |
|--|------------|---------|--------|--------|--------|
| | Inicio | Fin | Ni | Ni | Ni |
| T 41 | Km 1404 | Km 1405 | 0 | 0 | 0 |
| T 42 | Km 1405 | Km 1406 | 0 | 2 | 2 |
| T 43 | Km 1406 | Km 1407 | 0 | 1 | 1 |
| T 44 | Km 1407 | Km 1408 | 0 | 1 | 1 |
| T 45 | Km 1408 | Km 1409 | 0 | 0 | 0 |
| T 46 | Km 1409 | Km 1410 | 0 | 0 | 0 |
| T 47 | Km 1410 | Km 1411 | 1 | 0 | 1 |
| T 48 | Km 1411 | Km 1412 | 1 | 0 | 1 |
| Frecuencia media Nm: | | | 1.1667 | 1.0208 | 2.1875 |
| Desviación estándar de la frecuencia media Nσ: | | | 1.0801 | 1.0816 | 1.0700 |
| Valor límite de la frecuencia Nlim: | | | 2.9435 | 2.8000 | 3.9477 |

Tabla 26

Verificación del punto crítico método del número de frecuencia para los años de estudio según el criterio del nivel de confianza al 95% ($K = 1.645$)

| Tramo | Progresiva | | 2021 | 2022 | Total |
|-------|------------|---------|---------------|---------------|---------------|
| | Inicio | Fin | Punto crítico | Punto crítico | Punto crítico |
| T 1 | Km 1364 | Km 1365 | PC | - | PC |
| T 2 | Km 1365 | Km 1366 | - | - | - |
| T 3 | Km 1366 | Km 1367 | PC | - | PC |
| T 4 | Km 1367 | Km 1368 | - | - | - |
| T 5 | Km 1368 | Km 1369 | PC | - | PC |
| T 6 | Km 1369 | Km 1370 | - | - | - |
| T 7 | Km 1370 | Km 1371 | - | - | - |
| T 8 | Km 1371 | Km 1372 | PC | - | PC |
| T 9 | Km 1372 | Km 1373 | PC | - | PC |
| T 10 | Km 1373 | Km 1374 | - | - | - |
| T 11 | Km 1374 | Km 1375 | - | - | - |
| T 12 | Km 1375 | Km 1376 | - | PC | PC |
| T 13 | Km 1376 | Km 1377 | PC | - | PC |
| T 14 | Km 1377 | Km 1378 | - | - | - |
| T 15 | Km 1378 | Km 1379 | - | - | - |
| T 16 | Km 1379 | Km 1380 | - | - | - |
| T 17 | Km 1380 | Km 1381 | - | PC | PC |
| T 18 | Km 1381 | Km 1382 | - | - | - |
| T 19 | Km 1382 | Km 1383 | - | - | - |
| T 20 | Km 1383 | Km 1384 | - | - | - |
| T 21 | Km 1384 | Km 1385 | - | - | - |
| T 22 | Km 1385 | Km 1386 | - | - | - |
| T 23 | Km 1386 | Km 1387 | - | - | - |
| T 24 | Km 1387 | Km 1388 | - | - | - |
| T 25 | Km 1388 | Km 1389 | - | PC | PC |



| Tramo | Progresiva | | 2021 | 2022 | Total |
|-------|------------|---------|---------------|---------------|---------------|
| | Inicio | Fin | Punto crítico | Punto crítico | Punto crítico |
| T 26 | Km 1389 | Km 1390 | - | - | - |
| T 27 | Km 1390 | Km 1391 | - | - | - |
| T 28 | Km 1391 | Km 1392 | - | - | - |
| T 29 | Km 1392 | Km 1393 | PC | PC | PC |
| T 30 | Km 1393 | Km 1394 | - | - | - |
| T 31 | Km 1394 | Km 1395 | - | - | - |
| T 32 | Km 1395 | Km 1396 | - | - | - |
| T 33 | Km 1396 | Km 1397 | - | - | PC |
| T 34 | Km 1397 | Km 1398 | - | - | - |
| T 35 | Km 1398 | Km 1399 | - | - | - |
| T 36 | Km 1399 | Km 1400 | - | - | - |
| T 37 | Km 1400 | Km 1401 | - | - | - |
| T 38 | Km 1401 | Km 1402 | - | - | - |
| T 39 | Km 1402 | Km 1403 | - | - | - |
| T 40 | Km 1403 | Km 1404 | - | PC | PC |
| T 41 | Km 1404 | Km 1405 | - | - | - |
| T 42 | Km 1405 | Km 1406 | - | - | - |
| T 43 | Km 1406 | Km 1407 | - | - | - |
| T 44 | Km 1407 | Km 1408 | - | - | - |
| T 45 | Km 1408 | Km 1409 | - | - | - |
| T 46 | Km 1409 | Km 1410 | - | - | - |
| T 47 | Km 1410 | Km 1411 | - | - | - |
| T 48 | Km 1411 | Km 1412 | - | - | - |

De acuerdo con este método, el procedimiento identifica 12 puntos críticos para el estudio. La metodología, que toma en cuenta variables como la longitud del tramo, la longitud total de la carretera y el número de accidentes registrados durante el período de análisis, define como puntos críticos aquellos segmentos en los que se han producido cuatro o más accidentes. Por lo tanto, se excluyen los tramos donde han ocurrido tres accidentes o menos.

4.1.1.2 Método de tasa de accidentes

El enfoque para aplicar la tasa de accidentes incorporará un criterio de nivel de confianza para determinar el límite que permita identificar puntos críticos de accidentes de tránsito.



A continuación, se presenta un ejemplo del análisis aplicado mediante este método:

Ejemplo de cálculo tramo 1 del año 2022

- Datos según reporte:

Número de accidentes totales : 2

Longitud del tramo : 1 Km

Σ de accidentes totales : 49

Σ de longitud de tramos : 48 Km

IMDA del año 2022 : 2205 veh/día

- Tasa de accidentes del tramo.

$$T_i = \frac{\text{Accidentes en el tramo}}{\text{IMDA} \times \text{N}^\circ \text{días} \times \text{Long. del tramo}} \times 10^6$$

$$T_i = \frac{2}{2205 \times 365 \times 1} \times 10^6$$

$$T_i = 2.485$$

- Tasa media de accidentes en cada tramo.

$$T_m = \frac{\Sigma \text{Accidentes}}{\text{IMDA} \times \text{N}^\circ \text{días} \times \text{Long. del tramo}} \times 10^6$$

$$T_m = \frac{49}{2205 \times 365 \times 48} \times 10^6$$

$$T_m = 1.268$$

- Cálculo de la desviación estándar del tramo.

$$T_\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(T_i - T_m)^2}{n - 1}}$$

$$T_\sigma = \sqrt{\frac{47.732}{48 - 1}}$$

$$T_\sigma = 1.008$$



- Valor límite de la frecuencia.

$$T_{lim} = kT_{\sigma} + T_m$$

Dónde: $k=1.645$ para un nivel de confianza al 95%, según la Tabla 1.

$$T_{lim} = 1.645(1.008) + 1.268$$

$$T_{lim} = 2.926$$

- Verificación de punto crítico.

Según la metodología, será considerado como punto crítico cuando se cumpla que:

$$T_i \geq T_{lim}$$

$$2.485 \geq 2.926, \text{ falso}$$

Del tramo 1 correspondiente al año 2022, su T_i es menor que T_{lim} , por lo tanto, es considerado como un punto no crítico.

Tabla 27

Valores de la tasa (T_i), tasa media (T_m), desvío estándar (T_{σ}) y valor límite de la tasa (T_{lim})

| Tramo | Progresiva | | 2021 | 2022 |
|-------|------------|---------|--------|--------|
| | Inicio | Fin | Ti | Ti |
| T 1 | Km 1364 | Km 1365 | 5.5320 | 2.4850 |
| T 2 | Km 1365 | Km 1366 | 1.3830 | 0.0000 |
| T 3 | Km 1366 | Km 1367 | 5.5320 | 1.2425 |
| T 4 | Km 1367 | Km 1368 | 1.3830 | 0.0000 |
| T 5 | Km 1368 | Km 1369 | 6.9150 | 1.2425 |
| T 6 | Km 1369 | Km 1370 | 2.7660 | 0.0000 |
| T 7 | Km 1370 | Km 1371 | 1.3830 | 1.2425 |
| T 8 | Km 1371 | Km 1372 | 4.1490 | 1.2425 |
| T 9 | Km 1372 | Km 1373 | 8.2980 | 1.2425 |
| T 10 | Km 1373 | Km 1374 | 1.3830 | 2.4850 |
| T 11 | Km 1374 | Km 1375 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 12 | Km 1375 | Km 1376 | 1.3830 | 3.7275 |
| T 13 | Km 1376 | Km 1377 | 4.1490 | 2.4850 |
| T 14 | Km 1377 | Km 1378 | 0.0000 | 1.2425 |
| T 15 | Km 1378 | Km 1379 | 0.0000 | 2.4850 |
| T 16 | Km 1379 | Km 1380 | 1.3830 | 2.4850 |



| Tramo | Progresiva | | 2021 | 2022 |
|---|------------|---------|--------|--------|
| | Inicio | Fin | Ti | Ti |
| T 17 | Km 1380 | Km 1381 | 2.7660 | 3.7275 |
| T 18 | Km 1381 | Km 1382 | 1.3830 | 1.2425 |
| T 19 | Km 1382 | Km 1383 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 20 | Km 1383 | Km 1384 | 1.3830 | 0.0000 |
| T 21 | Km 1384 | Km 1385 | 1.3830 | 2.4850 |
| T 22 | Km 1385 | Km 1386 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 23 | Km 1386 | Km 1387 | 2.7660 | 0.0000 |
| T 24 | Km 1387 | Km 1388 | 1.3830 | 2.4850 |
| T 25 | Km 1388 | Km 1389 | 0.0000 | 4.9700 |
| T 26 | Km 1389 | Km 1390 | 1.3830 | 0.0000 |
| T 27 | Km 1390 | Km 1391 | 0.0000 | 1.2425 |
| T 28 | Km 1391 | Km 1392 | 0.0000 | 1.2425 |
| T 29 | Km 1392 | Km 1393 | 5.5320 | 3.7275 |
| T 30 | Km 1393 | Km 1394 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 31 | Km 1394 | Km 1395 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 32 | Km 1395 | Km 1396 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 33 | Km 1396 | Km 1397 | 2.7660 | 2.4850 |
| T 34 | Km 1397 | Km 1398 | 1.3830 | 1.2425 |
| T 35 | Km 1398 | Km 1399 | 1.3830 | 0.0000 |
| T 36 | Km 1399 | Km 1400 | 0.0000 | 1.2425 |
| T 37 | Km 1400 | Km 1401 | 2.7660 | 1.2425 |
| T 38 | Km 1401 | Km 1402 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 39 | Km 1402 | Km 1403 | 1.3830 | 1.2425 |
| T 40 | Km 1403 | Km 1404 | 1.3830 | 3.7275 |
| T 41 | Km 1404 | Km 1405 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 42 | Km 1405 | Km 1406 | 0.0000 | 2.4850 |
| T 43 | Km 1406 | Km 1407 | 0.0000 | 1.2425 |
| T 44 | Km 1407 | Km 1408 | 0.0000 | 1.2425 |
| T 45 | Km 1408 | Km 1409 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 46 | Km 1409 | Km 1410 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 47 | Km 1410 | Km 1411 | 1.3830 | 0.0000 |
| T 48 | Km 1411 | Km 1412 | 1.3830 | 0.0000 |
| Tasa media T_m : | | | 1.6135 | 1.2684 |
| Desviación estándar de la tasa media T_σ : | | | 1.0757 | 1.0078 |
| Valor límite de la tasa T_{lim} : | | | 3.3831 | 2.9261 |



Tabla 28

Verificación del punto crítico método tasa de accidente para los años de estudio

según el criterio del nivel de confianza al 95% ($K = 1.645$)

| Tramo | Progresiva | | 2021 | 2022 | Total |
|-------|------------|---------|---------------|---------------|---------------|
| | Inicio | Fin | Punto crítico | Punto crítico | Punto crítico |
| T 1 | Km 1364 | Km 1365 | PC | - | - |
| T 2 | Km 1365 | Km 1366 | - | - | - |
| T 3 | Km 1366 | Km 1367 | PC | - | - |
| T 4 | Km 1367 | Km 1368 | - | - | - |
| T 5 | Km 1368 | Km 1369 | PC | - | - |
| T 6 | Km 1369 | Km 1370 | - | - | - |
| T 7 | Km 1370 | Km 1371 | - | - | - |
| T 8 | Km 1371 | Km 1372 | PC | - | - |
| T 9 | Km 1372 | Km 1373 | PC | - | - |
| T 10 | Km 1373 | Km 1374 | - | - | - |
| T 11 | Km 1374 | Km 1375 | - | - | - |
| T 12 | Km 1375 | Km 1376 | - | PC | - |
| T 13 | Km 1376 | Km 1377 | PC | - | - |
| T 14 | Km 1377 | Km 1378 | - | - | - |
| T 15 | Km 1378 | Km 1379 | - | - | - |
| T 16 | Km 1379 | Km 1380 | - | - | - |
| T 17 | Km 1380 | Km 1381 | - | PC | - |
| T 18 | Km 1381 | Km 1382 | - | - | - |
| T 19 | Km 1382 | Km 1383 | - | - | - |
| T 20 | Km 1383 | Km 1384 | - | - | - |
| T 21 | Km 1384 | Km 1385 | - | - | - |
| T 22 | Km 1385 | Km 1386 | - | - | - |
| T 23 | Km 1386 | Km 1387 | - | - | - |
| T 24 | Km 1387 | Km 1388 | - | - | - |
| T 25 | Km 1388 | Km 1389 | - | PC | - |
| T 26 | Km 1389 | Km 1390 | - | - | - |
| T 27 | Km 1390 | Km 1391 | - | - | - |
| T 28 | Km 1391 | Km 1392 | - | - | - |
| T 29 | Km 1392 | Km 1393 | PC | PC | PC |
| T 30 | Km 1393 | Km 1394 | - | - | - |
| T 31 | Km 1394 | Km 1395 | - | - | - |
| T 32 | Km 1395 | Km 1396 | - | - | - |
| T 33 | Km 1396 | Km 1397 | - | - | - |
| T 34 | Km 1397 | Km 1398 | - | - | - |
| T 35 | Km 1398 | Km 1399 | - | - | - |
| T 36 | Km 1399 | Km 1400 | - | - | - |
| T 37 | Km 1400 | Km 1401 | - | - | - |
| T 38 | Km 1401 | Km 1402 | - | - | - |
| T 39 | Km 1402 | Km 1403 | - | - | - |
| T 40 | Km 1403 | Km 1404 | - | PC | - |



| Tramo | Progresiva | | 2021 | 2022 | Total |
|-------|------------|---------|---------------|---------------|---------------|
| | Inicio | Fin | Punto crítico | Punto crítico | Punto crítico |
| T 41 | Km 1404 | Km 1405 | - | - | - |
| T 42 | Km 1405 | Km 1406 | - | - | - |
| T 43 | Km 1406 | Km 1407 | - | - | - |
| T 44 | Km 1407 | Km 1408 | - | - | - |
| T 45 | Km 1408 | Km 1409 | - | - | - |
| T 46 | Km 1409 | Km 1410 | - | - | - |
| T 47 | Km 1410 | Km 1411 | - | - | - |
| T 48 | Km 1411 | Km 1412 | - | - | - |

La metodología empleada considera datos como la longitud de los tramos, la longitud total de la vía, el Índice Medio Diario Anual (IMDA), y el número de accidentes registrados durante el periodo analizado, además del tiempo de forma indirecta. Para el año 2021 se identificaron 07 puntos críticos, para el año 2022 se identificaron 05 puntos críticos y, considerando un periodo de dos años, se estableció 01 punto crítico.

4.1.1.3 Método del número – tasa de accidentes

El enfoque metodológico combina los parámetros del método de frecuencia de accidentes y del método de tasa de accidentes, utilizando como variables para el cálculo la longitud del tramo, la longitud total de la carretera, el flujo vehicular representado por el Índice Medio Diario Anual (IMDA), el número de días considerados y la cantidad total de accidentes registrados.

El coeficiente de mayoración, representado por el factor $k=1.645$, correspondiendo a un nivel de confianza del 95%, de acuerdo con las especificaciones estadísticas para garantizar un margen de error controlado en la inferencia de datos.

Tabla 29

Verificación de los puntos críticos para los años de estudio según el criterio del nivel de confianza al 95% ($K = 1.645$)

| Tramo | Progresiva | | 2021 | | | 2022 | | | Total | | |
|-------|------------|---------|---------------|----|----|---------------|----|----|---------------|----|----|
| | Inicio | Fin | Punto crítico | | | Punto crítico | | | Punto crítico | | |
| | | | N | T | NT | N | T | NT | N | T | NT |
| T 1 | Km 1364 | Km 1365 | PC | PC | PC | - | - | - | PC | - | - |
| T 2 | Km 1365 | Km 1366 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 3 | Km 1366 | Km 1367 | PC | PC | PC | - | - | - | PC | - | - |
| T 4 | Km 1367 | Km 1368 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 5 | Km 1368 | Km 1369 | PC | PC | PC | - | - | - | PC | - | - |
| T 6 | Km 1369 | Km 1370 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 7 | Km 1370 | Km 1371 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 8 | Km 1371 | Km 1372 | PC | PC | PC | - | - | - | PC | - | - |
| T 9 | Km 1372 | Km 1373 | PC | PC | PC | - | - | - | PC | - | PC |
| T 10 | Km 1373 | Km 1374 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 11 | Km 1374 | Km 1375 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 12 | Km 1375 | Km 1376 | - | - | - | PC | PC | PC | PC | - | - |
| T 13 | Km 1376 | Km 1377 | PC | PC | PC | - | - | - | PC | - | - |
| T 14 | Km 1377 | Km 1378 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 15 | Km 1378 | Km 1379 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 16 | Km 1379 | Km 1380 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 17 | Km 1380 | Km 1381 | - | - | - | PC | PC | PC | PC | - | - |
| T 18 | Km 1381 | Km 1382 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 19 | Km 1382 | Km 1383 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 20 | Km 1383 | Km 1384 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 21 | Km 1384 | Km 1385 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 22 | Km 1385 | Km 1386 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 23 | Km 1386 | Km 1387 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 24 | Km 1387 | Km 1388 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 25 | Km 1388 | Km 1389 | - | - | - | PC | PC | PC | PC | - | - |
| T 26 | Km 1389 | Km 1390 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 27 | Km 1390 | Km 1391 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 28 | Km 1391 | Km 1392 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 29 | Km 1392 | Km 1393 | PC | PC | PC | PC | PC | PC | PC | PC | PC |
| T 30 | Km 1393 | Km 1394 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 31 | Km 1394 | Km 1395 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 32 | Km 1395 | Km 1396 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 33 | Km 1396 | Km 1397 | - | - | - | - | - | - | PC | - | - |
| T 34 | Km 1397 | Km 1398 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 35 | Km 1398 | Km 1399 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 36 | Km 1399 | Km 1400 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 37 | Km 1400 | Km 1401 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 38 | Km 1401 | Km 1402 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 39 | Km 1402 | Km 1403 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |



| Tramo | Progresiva | | 2021 | | | 2022 | | | Total | | |
|-------|------------|---------|---------------|---|----|---------------|----|----|---------------|---|----|
| | Inicio | Fin | Punto crítico | | | Punto crítico | | | Punto crítico | | |
| | | | N | T | NT | N | T | NT | N | T | NT |
| T 40 | Km 1403 | Km 1404 | - | - | - | PC | PC | PC | PC | - | - |
| T 41 | Km 1404 | Km 1405 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 42 | Km 1405 | Km 1406 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 43 | Km 1406 | Km 1407 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 44 | Km 1407 | Km 1408 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 45 | Km 1408 | Km 1409 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 46 | Km 1409 | Km 1410 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 47 | Km 1410 | Km 1411 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T 48 | Km 1411 | Km 1412 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

De acuerdo con este enfoque combinado, el método ha identificado 07 puntos críticos durante el año 2021, 05 puntos críticos en el año 2022 y 01 punto crítico al considerar el período acumulado de dos años de la investigación.

4.1.1.4 Método de control de calidad de tasa

Esta metodología estima la tasa media de accidentes, lo cual demanda información adicional y una adecuada clasificación de la vía. A pesar de que la simplificación del método podría parecer que disminuye su efectividad, la implementación de controles estadísticos resulta crucial para la identificación de Tramos Críticos de Accidentes (TCA). Para ello, se aplicará un nivel de confianza del 95% ($k=1.645$).

A continuación, se presenta un ejemplo del análisis aplicado mediante este método:

Ejemplo de cálculo tramo 1 del año 2022

- Datos según reporte:

Número de accidentes totales : 2

Longitud del tramo : 1 Km

Σ de accidentes totales : 49



Σ de longitud de tramos : 48 Km

IMDA del año 2022 : 2205 veh/día

- Tasa de accidentes del tramo.

$$T_i = \frac{\text{Accidentes en el tramo}}{\text{IMDA} \times \text{N}^\circ \text{días} \times \text{Long. del tramo}} \times 10^6$$

$$T_i = \frac{2}{2205 \times 365 \times 1} \times 10^6$$

$$T_i = 2.485$$

- Tasa media de accidentes en cada tramo.

$$T_m = \frac{\Sigma \text{Accidentes}}{\text{IMDA} \times \text{N}^\circ \text{días} \times \text{Long. del tramo}} \times 10^6$$

$$T_m = \frac{49}{2205 \times 365 \times 48} \times 10^6$$

$$T_m = 1.268$$

- Cantidad de flujo vehicular en el tramo durante el periodo de análisis.

$$t_i = \frac{\text{IMDA} \times \text{N}^\circ \text{días} \times \text{Long. del tramo}}{10^6}$$

$$t_i = \frac{2205 \times 365 \times 48}{10^6}$$

$$t_i = 38.631$$

- Cálculo de la tasa crítica del tramo.

$$T_c = T_m + k \sqrt{\frac{T_m}{t_i} + \frac{0.5}{t_i}}$$

$$T_c = 1.268 + 1.645 \sqrt{\frac{1.268}{38.631} + \frac{0.5}{38.631}}$$

$$T_c = 1.579$$

- Verificación de punto crítico.

Según la metodología, será considerado como punto crítico cuando se cumpla que:

$$T_i \geq T_c$$

$$2.485 \geq 1.579, \text{ verdadero}$$

Del tramo 1 correspondiente al año 2022, su T_i es mayor que T_c , por lo tanto, es considerado como un punto crítico.

Tabla 30

Valores de la tasa (T_i), tasa media (T_m), cantidad de tránsito (ti) y tasa crítica (T_c)

| Tramo | Progresiva | | 2021 | 2022 |
|-------|------------|---------|--------|--------|
| | Inicio | Fin | T_i | T_i |
| T 1 | Km 1364 | Km 1365 | 5.5320 | 2.4850 |
| T 2 | Km 1365 | Km 1366 | 1.3830 | 0.0000 |
| T 3 | Km 1366 | Km 1367 | 5.5320 | 1.2425 |
| T 4 | Km 1367 | Km 1368 | 1.3830 | 0.0000 |
| T 5 | Km 1368 | Km 1369 | 6.9150 | 1.2425 |
| T 6 | Km 1369 | Km 1370 | 2.7660 | 0.0000 |
| T 7 | Km 1370 | Km 1371 | 1.3830 | 1.2425 |
| T 8 | Km 1371 | Km 1372 | 4.1490 | 1.2425 |
| T 9 | Km 1372 | Km 1373 | 8.2980 | 1.2425 |
| T 10 | Km 1373 | Km 1374 | 1.3830 | 2.4850 |
| T 11 | Km 1374 | Km 1375 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 12 | Km 1375 | Km 1376 | 1.3830 | 3.7275 |
| T 13 | Km 1376 | Km 1377 | 4.1490 | 2.4850 |
| T 14 | Km 1377 | Km 1378 | 0.0000 | 1.2425 |
| T 15 | Km 1378 | Km 1379 | 0.0000 | 2.4850 |
| T 16 | Km 1379 | Km 1380 | 1.3830 | 2.4850 |
| T 17 | Km 1380 | Km 1381 | 2.7660 | 3.7275 |
| T 18 | Km 1381 | Km 1382 | 1.3830 | 1.2425 |
| T 19 | Km 1382 | Km 1383 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 20 | Km 1383 | Km 1384 | 1.3830 | 0.0000 |
| T 21 | Km 1384 | Km 1385 | 1.3830 | 2.4850 |
| T 22 | Km 1385 | Km 1386 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 23 | Km 1386 | Km 1387 | 2.7660 | 0.0000 |
| T 24 | Km 1387 | Km 1388 | 1.3830 | 2.4850 |
| T 25 | Km 1388 | Km 1389 | 0.0000 | 4.9700 |
| T 26 | Km 1389 | Km 1390 | 1.3830 | 0.0000 |



| Tramo | Progresiva | | 2021 | 2022 |
|--------------------------------------|------------|---------|--------|--------|
| | Inicio | Fin | Ti | Ti |
| T 27 | Km 1390 | Km 1391 | 0.0000 | 1.2425 |
| T 28 | Km 1391 | Km 1392 | 0.0000 | 1.2425 |
| T 29 | Km 1392 | Km 1393 | 5.5320 | 3.7275 |
| T 30 | Km 1393 | Km 1394 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 31 | Km 1394 | Km 1395 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 32 | Km 1395 | Km 1396 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 33 | Km 1396 | Km 1397 | 2.7660 | 2.4850 |
| T 34 | Km 1397 | Km 1398 | 1.3830 | 1.2425 |
| T 35 | Km 1398 | Km 1399 | 1.3830 | 0.0000 |
| T 36 | Km 1399 | Km 1400 | 0.0000 | 1.2425 |
| T 37 | Km 1400 | Km 1401 | 2.7660 | 1.2425 |
| T 38 | Km 1401 | Km 1402 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 39 | Km 1402 | Km 1403 | 1.3830 | 1.2425 |
| T 40 | Km 1403 | Km 1404 | 1.3830 | 3.7275 |
| T 41 | Km 1404 | Km 1405 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 42 | Km 1405 | Km 1406 | 0.0000 | 2.4850 |
| T 43 | Km 1406 | Km 1407 | 0.0000 | 1.2425 |
| T 44 | Km 1407 | Km 1408 | 0.0000 | 1.2425 |
| T 45 | Km 1408 | Km 1409 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 46 | Km 1409 | Km 1410 | 0.0000 | 0.0000 |
| T 47 | Km 1410 | Km 1411 | 1.3830 | 0.0000 |
| T 48 | Km 1411 | Km 1412 | 1.3830 | 0.0000 |
| Tasa media Tm: | | | 1.6135 | 1.2684 |
| Cantidad de tránsito en el tramo ti: | | | 34.707 | 38.631 |
| Tasa crítica del tramo Tc: | | | 1.942 | 1.579 |

Tabla 31

Verificación del punto crítico según método control de calidad de tasa

| Tramo | Progresiva | | 2021 | 2022 | Total |
|-------|------------|---------|---------------|---------------|---------------|
| | Inicio | Fin | Punto crítico | Punto crítico | Punto crítico |
| T 1 | Km 1364 | Km 1365 | PC | PC | PC |
| T 2 | Km 1365 | Km 1366 | - | - | - |
| T 3 | Km 1366 | Km 1367 | PC | - | - |
| T 4 | Km 1367 | Km 1368 | - | - | - |
| T 5 | Km 1368 | Km 1369 | PC | - | - |
| T 6 | Km 1369 | Km 1370 | PC | - | - |
| T 7 | Km 1370 | Km 1371 | - | - | - |
| T 8 | Km 1371 | Km 1372 | PC | - | - |
| T 9 | Km 1372 | Km 1373 | PC | - | - |
| T 10 | Km 1373 | Km 1374 | - | PC | - |
| T 11 | Km 1374 | Km 1375 | - | - | - |
| T 12 | Km 1375 | Km 1376 | - | PC | - |



| Tramo | Progresiva | | 2021 | 2022 | Total |
|-------|------------|---------|---------------|---------------|---------------|
| | Inicio | Fin | Punto crítico | Punto crítico | Punto crítico |
| T 13 | Km 1376 | Km 1377 | PC | PC | PC |
| T 14 | Km 1377 | Km 1378 | - | - | - |
| T 15 | Km 1378 | Km 1379 | - | PC | - |
| T 16 | Km 1379 | Km 1380 | - | PC | - |
| T 17 | Km 1380 | Km 1381 | PC | PC | PC |
| T 18 | Km 1381 | Km 1382 | - | - | - |
| T 19 | Km 1382 | Km 1383 | - | - | - |
| T 20 | Km 1383 | Km 1384 | - | - | - |
| T 21 | Km 1384 | Km 1385 | - | PC | - |
| T 22 | Km 1385 | Km 1386 | - | - | - |
| T 23 | Km 1386 | Km 1387 | PC | - | - |
| T 24 | Km 1387 | Km 1388 | - | PC | - |
| T 25 | Km 1388 | Km 1389 | - | PC | - |
| T 26 | Km 1389 | Km 1390 | - | - | - |
| T 27 | Km 1390 | Km 1391 | - | - | - |
| T 28 | Km 1391 | Km 1392 | - | - | - |
| T 29 | Km 1392 | Km 1393 | PC | PC | PC |
| T 30 | Km 1393 | Km 1394 | - | - | - |
| T 31 | Km 1394 | Km 1395 | - | - | - |
| T 32 | Km 1395 | Km 1396 | - | - | - |
| T 33 | Km 1396 | Km 1397 | PC | PC | PC |
| T 34 | Km 1397 | Km 1398 | - | - | - |
| T 35 | Km 1398 | Km 1399 | - | - | - |
| T 36 | Km 1399 | Km 1400 | - | - | - |
| T 37 | Km 1400 | Km 1401 | PC | - | - |
| T 38 | Km 1401 | Km 1402 | - | - | - |
| T 39 | Km 1402 | Km 1403 | - | - | - |
| T 40 | Km 1403 | Km 1404 | - | PC | - |
| T 41 | Km 1404 | Km 1405 | - | - | - |
| T 42 | Km 1405 | Km 1406 | - | PC | - |
| T 43 | Km 1406 | Km 1407 | - | - | - |
| T 44 | Km 1407 | Km 1408 | - | - | - |
| T 45 | Km 1408 | Km 1409 | - | - | - |
| T 46 | Km 1409 | Km 1410 | - | - | - |
| T 47 | Km 1410 | Km 1411 | - | - | - |
| T 48 | Km 1411 | Km 1412 | - | - | - |

De acuerdo con este de control de calidad de tasa, el método ha identificado 12 puntos críticos durante el año 2021, 14 puntos críticos en el año 2022 y 05 puntos críticos al considerar el período acumulado de dos años del estudio.

4.1.2 Discusión de la localización de los puntos críticos

Según Chambi & Suaña (2017), en su investigación concluyen que el método de control de calidad de tasa es el más apropiado para identificar zonas de alta peligrosidad en el tramo Puno - Juliaca.

Pampamallco & Huaquisto (2020), concluyen en su tesis que el método del control de calidad de la tasa fue el más efectivo para identificar tramos críticos. Como resultado, se identificaron 12 tramos críticos en la carretera Juliaca – Marangani.

En la presente investigación, al igual que Chambi & Suaña (2017) y Pampamallco & Huaquisto (2020), se evaluaron varios métodos para identificar los puntos críticos de accidentes de tránsito, llegando a la conclusión que el método del control de calidad de la tasa de accidentes es el más adecuado por la envergadura de la carretera.

A continuación, se muestra la tabla que identifica los 5 puntos críticos más peligrosos en la vía Puno – Ilave y su alta frecuencia de accidentes de tránsito entre los años 2021 y 2022.

Tabla 32

Puntos críticos (PC) de la vía Puno - Ilave

| PC | Tramo | Progresiva | | Número de accidentes | | |
|----|-------|------------|---------|----------------------|------|-------|
| | | Inicio | Fin | 2021 | 2022 | Total |
| 1 | T 1 | Km 1364 | Km 1365 | 4 | 2 | 6 |
| 2 | T 13 | Km 1376 | Km 1377 | 3 | 2 | 5 |
| 3 | T 17 | Km 1380 | Km 1381 | 2 | 3 | 5 |
| 4 | T 29 | Km 1392 | Km 1393 | 4 | 3 | 7 |
| 5 | T 33 | Km 1396 | Km 1397 | 2 | 2 | 4 |



4.2 EVALUACIÓN DEL DISEÑO GEOMÉTRICO EN LOS PUNTOS CRÍTICOS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO

La evaluación del diseño geométrico consistió en dos sucesos: el primero se basó en las mediciones (levantamiento topográfico Anexo 4) In Situ de 20 puntos críticos en la vía Puno - Ilave, y segundo, en gabinete se determinó los elementos geométricos de los puntos críticos en evaluación, para luego verificar si estas cumplen con los parámetros mínimos establecidos en el manual DG-2018.

Seguidamente, se muestra el análisis comparativo de los elementos geométricos medidos In Situ y lo que indica el manual DG-2018.

Figura 38

Tramo 1: Km 1364+000 - Km 1365+000

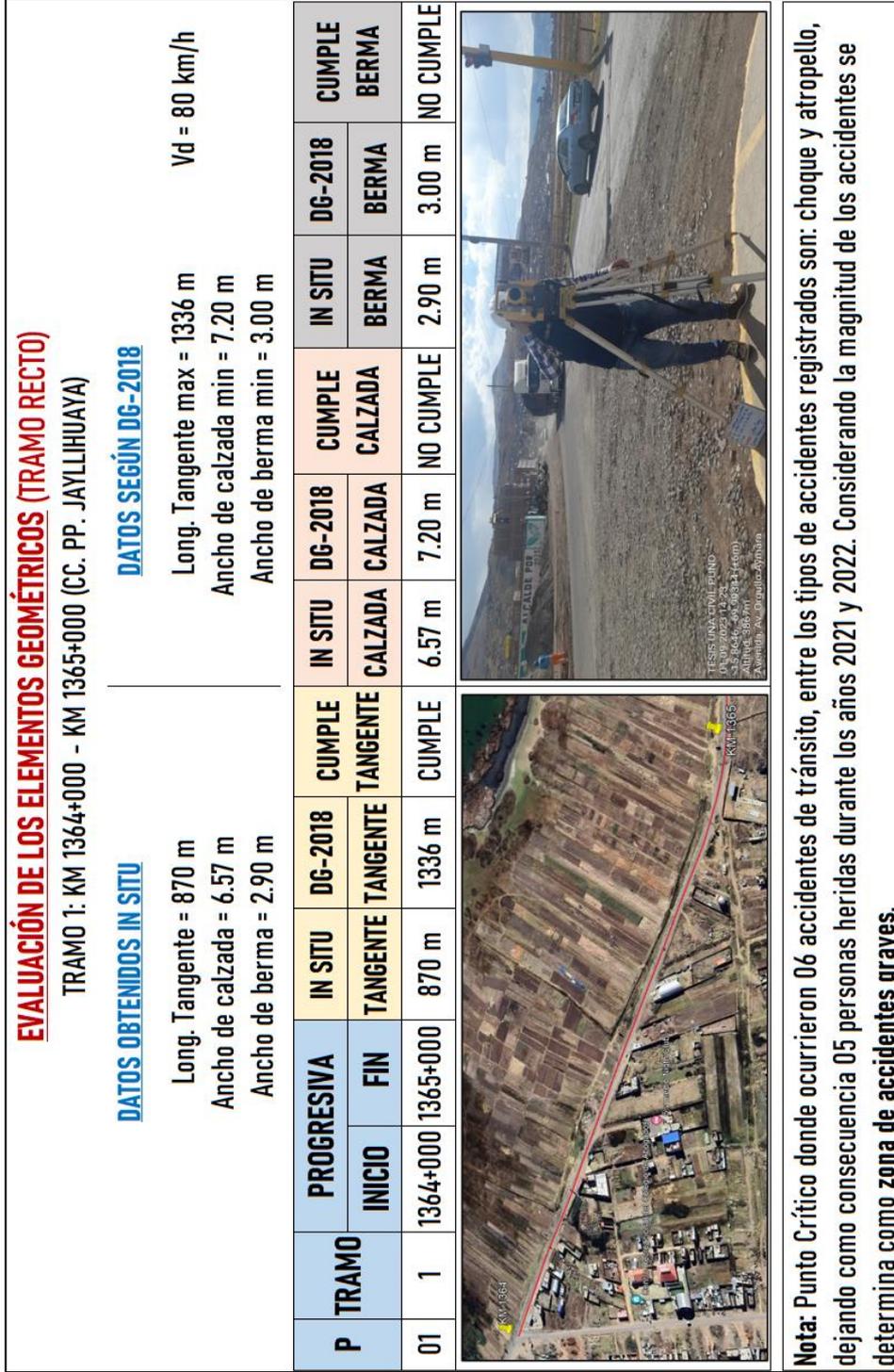


Figura 39

Tramo 3: Km 1366+000 - Km 1367+000

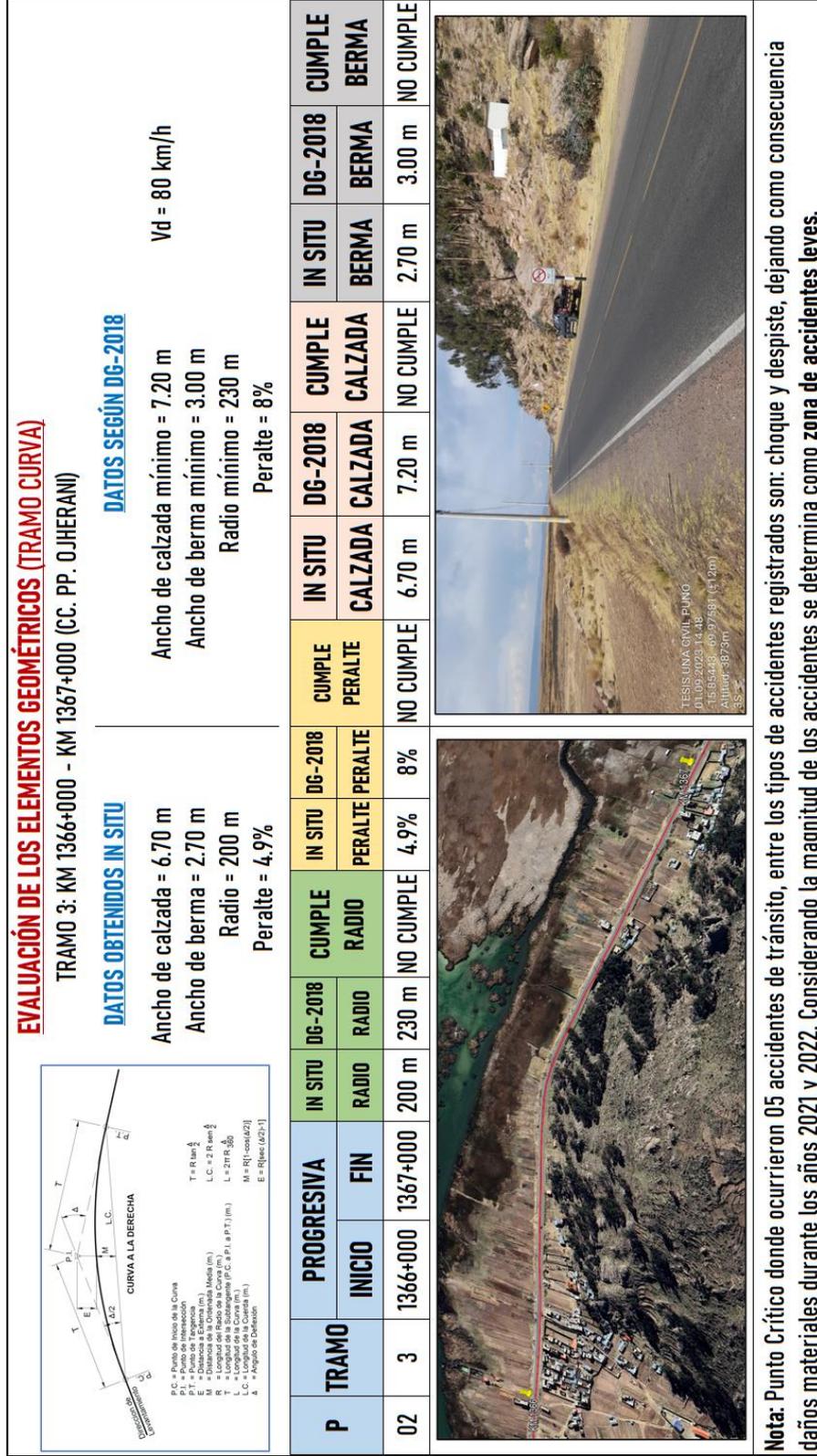


Figura 40

Tramo 5: Km 1368+000 - Km 1369+000

EVALUACIÓN DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS (TRAMO RECTO)

TRAMO 5: KM 1368+000 - KM 1369+000 (PUERTO DE CONTROL ADUANAS OJHERANI)

DATOS OBTENIDOS IN SITU

Long. Tangente = 1190 m
Ancho de calzada = 7.15 m
Ancho de berma = 2.20 m

DATOS SEGÚN DG-2018

Long. Tangente max = 1336 m
Ancho de calzada min = 7.20 m
Ancho de berma min = 3.00 m

| P | TRAMO | PROGRESIVA | | IN SITU | DG-2018 | CUMPLE | IN SITU | DG-2018 | CUMPLE | DG-2018 | CUMPLE | |
|----|-------|------------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|-----------|---------|--------|-----------|
| | | INICIO | FIN | TANGENTE | TANGENTE | TANGENTE | BERMA | BERMA | BERMA | BERMA | BERMA | |
| 03 | 5 | 1368+000 | 1369+000 | 1190 m | 1336 m | CUMPLE | 7.15 m | 7.20 m | NO CUMPLE | 2.20 m | 3.00 m | NO CUMPLE |




Nota: Punto Crítico donde ocurrieron 06 accidentes de tránsito, el tipo de accidente registrado es de choque, dejando como consecuencia 02 personas heridas y una persona fallecida durante los años 2021 y 2022. Considerando la magnitud de los accidentes se determina como **zona de accidentes mortales**.

Figura 41

Tramo 7: Km 1370+000 - Km 1371+000

| EVALUACIÓN DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS (TRAMO RECTO) TRAMO 7: KM 1370+000 - KM 1371+000 (SECTOR CALLEJÓN DEL CC. PP. ICHU) | | | | | | | | | | | |
|---|-------|------------|----------|----------|---|----------|----------|---------|---------|---------|-----------|
| DATOS OBTENIDOS IN SITU Long. Tangente = 1107 m Ancho de calzada = 7.12 m Ancho de berma = 2.58 m | | | | | DATOS SEGÚN DG-2018 Long. Tangente max = 1336 m Ancho de calzada min = 7.20 m Ancho de berma min = 3.00 m | | | | | | |
| P | TRAMO | PROGRESIVA | | IN SITU | DG-2018 | CUMPLE | | IN SITU | DG-2018 | CUMPLE | |
| | | INICIO | FIN | TANGENTE | TANGENTE | TANGENTE | TANGENTE | BERMA | BERMA | BERMA | BERMA |
| 04 | 7 | 1370+000 | 1371+000 | 1107 m | 1336 m | CUMPLE | CUMPLE | 2.58 m | 3.00 m | 2.58 m | NO CUMPLE |
| | | | | | | | | 7.12 m | 7.20 m | 7.12 m | NO CUMPLE |
| | | | | | | | | CALZADA | CALZADA | CALZADA | NO CUMPLE |
| | | | | | | | | CALZADA | CALZADA | CALZADA | NO CUMPLE |
| | | | | | | | | BERMA | BERMA | BERMA | NO CUMPLE |
| | | | | | | | | BERMA | BERMA | BERMA | NO CUMPLE |




Nota: Punto Crítico donde ocurrieron 02 accidentes de tránsito, entre los tipos de accidentes registrados son: choque y atropello, dejando como consecuencia 01 personas heridas y una persona fallecida durante los años 2021 y 2022. Considerando la magnitud de los accidentes se determina como zona de accidentes mortales.

Figura 43

Tramo 9: Km 1372+000 - Km 1373+000

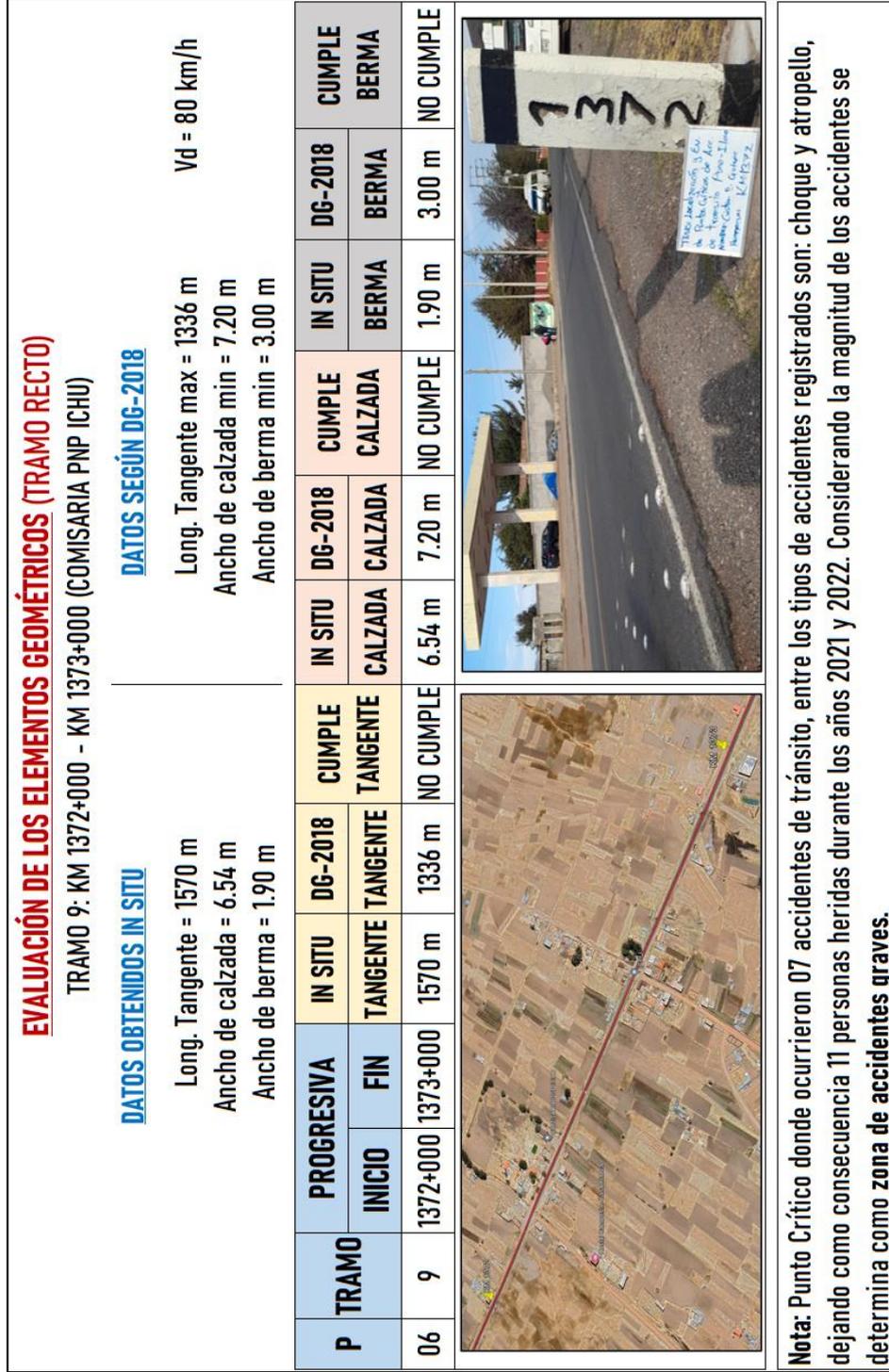


Figura 44

Tramo 10: Km 1373+000 - Km 1374+000

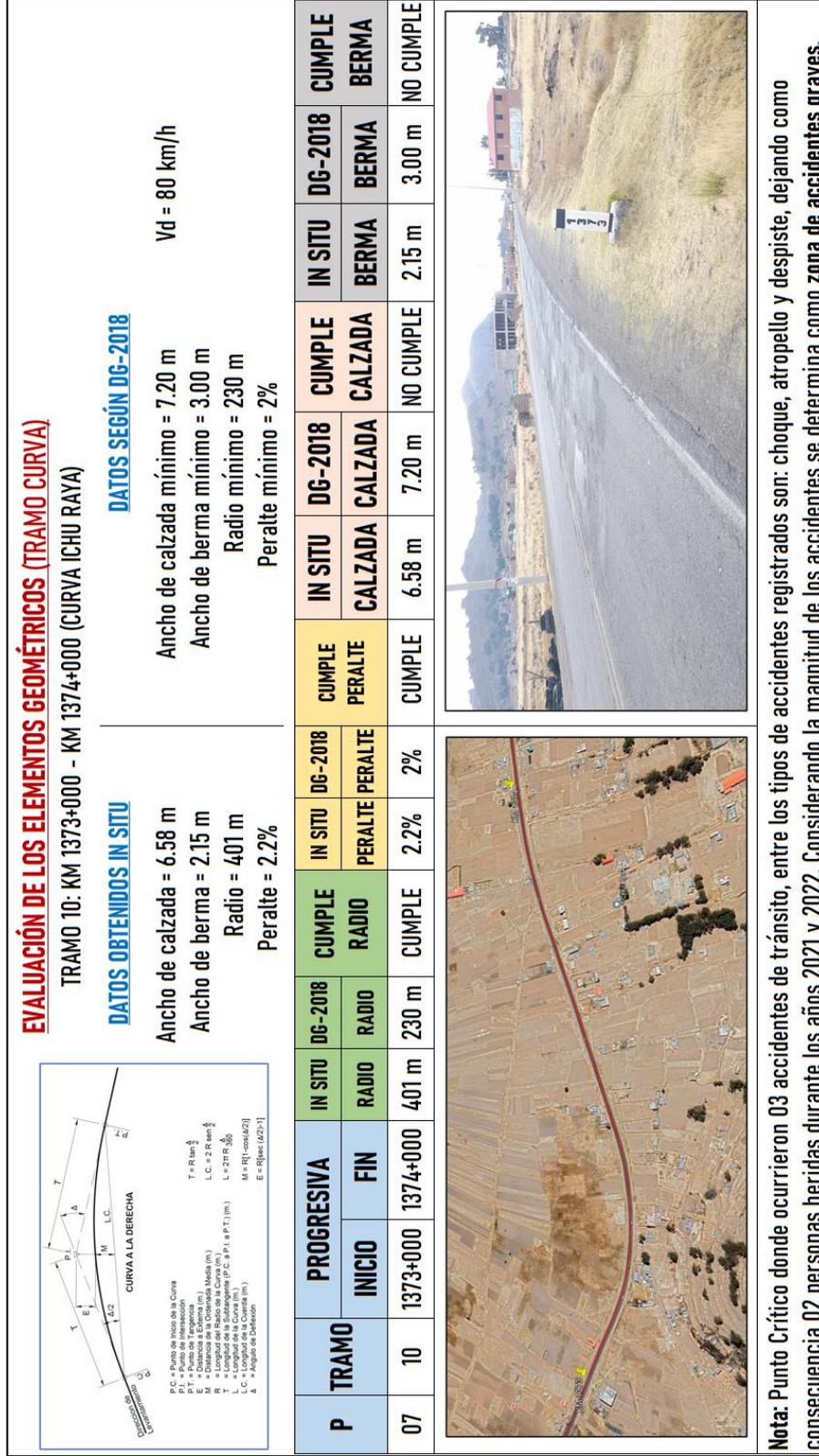


Figura 45

Tramo 12: Km 1375+000 - Km 1376+000

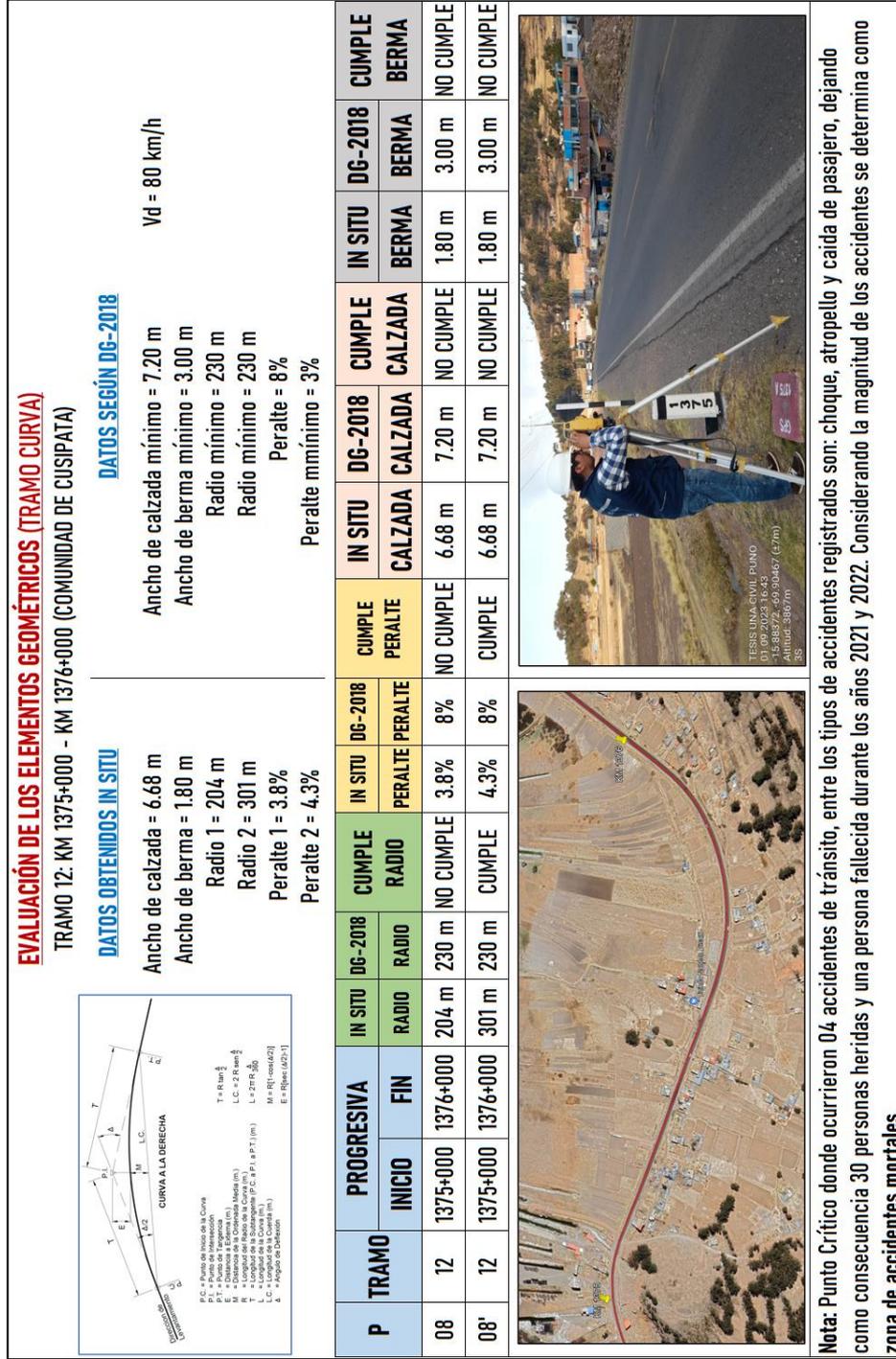


Figura 47

Tramo 16: Km 1379+000 - Km 1380+000

| EVALUACIÓN DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS (TRAMO RECTO) | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|------------|----------|----------|----------|---|---------|---------|-----------|---------|---------|--------------|-------|
| TRAMO 16: KM 1379+000 - KM 1380+000 (COMUNIDAD CHINCHERA - CHUCUITO) | | | | | | | | | | | | | |
| DATOS OBTENIDOS IN SITU | | | | | | DATOS SEGÚN DG-2018 | | | | | | | |
| Long. Tangente = 1393 m Ancho de calzada = 6.93 m Ancho de berma = 2.85 m | | | | | | Long. Tangente max = 1336 m Ancho de calzada min = 7.20 m Ancho de berma min = 3.00 m | | | | | | Vd = 80 km/h | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| P | TRAMO | PROGRESIVA | | IN SITU | DG-2018 | CUMPLE | IN SITU | DG-2018 | CUMPLE | IN SITU | DG-2018 | CUMPLE | |
| | | INICIO | FIN | TANGENTE | TANGENTE | TANGENTE | CALZADA | CALZADA | CALZADA | BERMA | BERMA | BERMA | BERMA |
| 10 | 16 | 1379+000 | 1380+000 | 1393 m | 1336 m | NO CUMPLE | 6.93 m | 7.20 m | NO CUMPLE | 2.85 m | 3.00 m | NO CUMPLE | |



Nota: Punto Crítico donde ocurrieron 03 accidentes de tránsito, entre los tipos de accidentes registrados son: choque y atropello, dejando como consecuencia 15 personas heridas durante los años 2021 y 2022. Considerando la magnitud de los accidentes se determina como **zona de accidentes graves**.

Figura 49

Tramo 21: Km 1384+000 - Km 1385+000

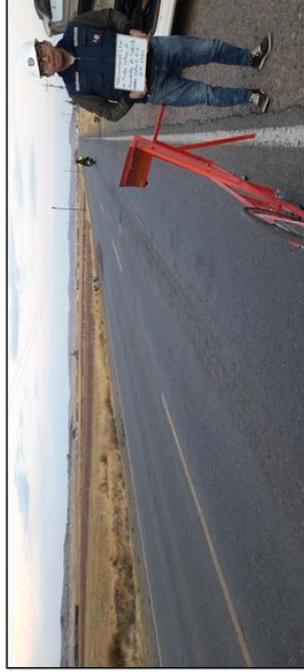
| <p style="text-align: center;">EVALUACIÓN DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS (TRAMO RECTO)</p> <p style="text-align: center;">TRAMO 21: KM 1384+000 - KM 1385+000 (CC. PP. CAMACANI)</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|------------|----------|--|----------|---|----------|-----------|-----------|--|---------|---------|--------|---------------------|-----------|
| <p style="text-align: center;">DATOS OBTENIDOS IN SITU</p> | | | | | | <p style="text-align: center;">DATOS SEGÚN DG-2018</p> | | | | | | | | | |
| P | | PROGRESIVA | | IN SITU | | DG-2018 | | CUMPLE | | IN SITU | | DG-2018 | | CUMPLE | |
| TRAMO | | INICIO | FIN | TANGENTE | TANGENTE | TANGENTE | TANGENTE | TANGENTE | TANGENTE | CALZADA | CALZADA | BERMA | BERMA | BERMA | BERMA |
| 12 | 21 | 1384+000 | 1385+000 | * T. RECTO | 1336 m | * T. RECTO | 1336 m | NO CUMPLE | NO CUMPLE | 6.51 m | 7.20 m | 2.80 m | 3.00 m | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| | | | | <p>Long. Tangente = * T. RECTO</p> <p>Ancho de calzada = 6.51 m</p> <p>Ancho de berma = 2.80 m</p> | | | | | | <p>Long. Tangente max = 1336 m</p> <p>Ancho de calzada min = 7.20 m</p> <p>Ancho de berma min = 3.00 m</p> | | | | <p>Vd = 80 km/h</p> | |
|  | | | | | |  | | | | | | | | | |
| <p>Nota: Punto Crítico donde ocurrieron 03 accidentes de tránsito, entre los tipos de accidentes registrados son: choque, despiste y atropello, dejando como consecuencia una persona herida y una persona fallecida durante los años 2021 y 2022. Considerando la magnitud de los accidentes se determina como zona de accidentes mortales. (*) Tramo que supera los 3 kilómetros, comprendidas entre los km 1384+000 - km 1387+135.</p> | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 50

Tramo 23: Km 1386+000 - Km 1387+000

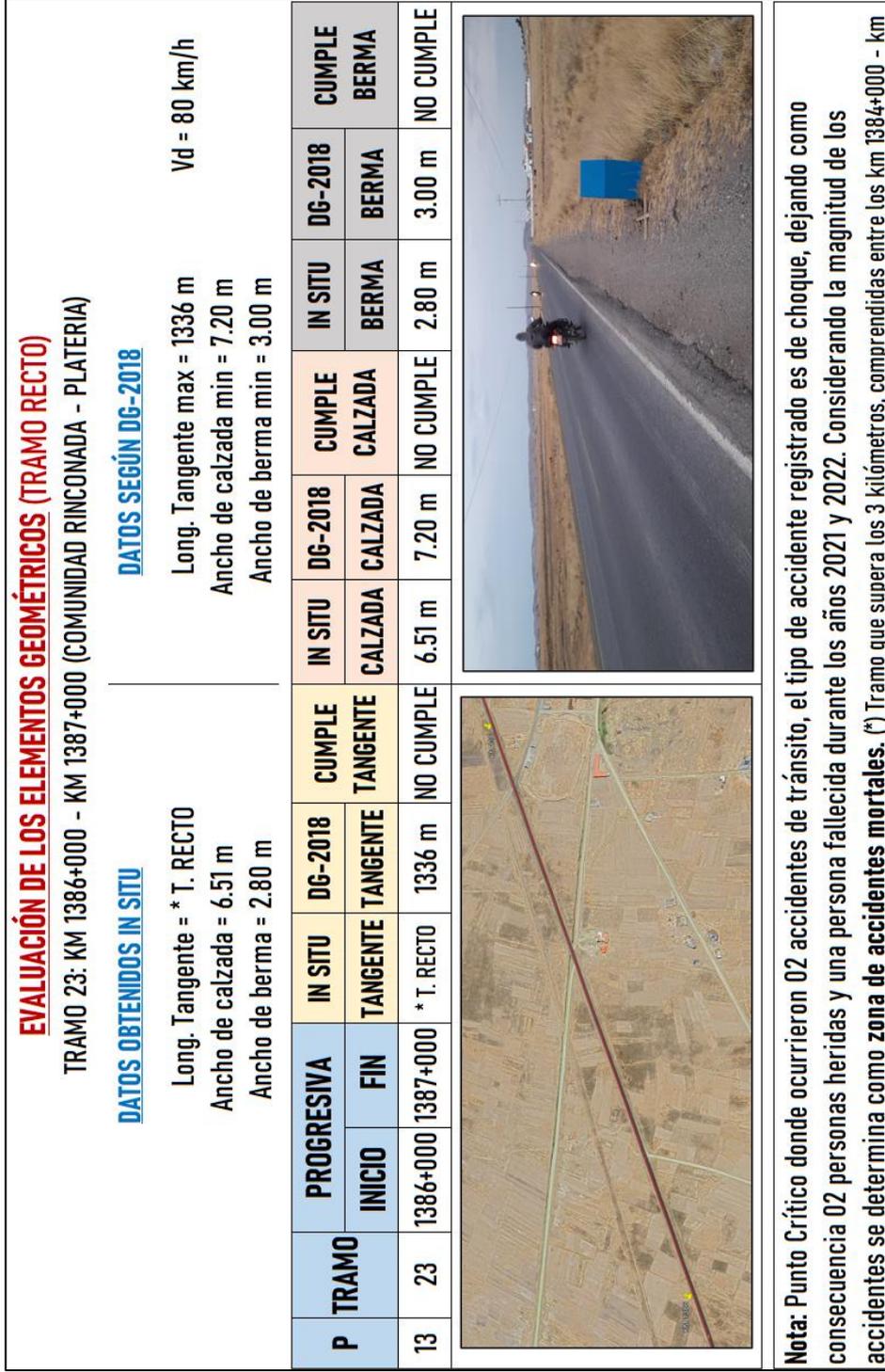


Figura 51

Tramo 24: Km 1387+000 - Km 1388+000

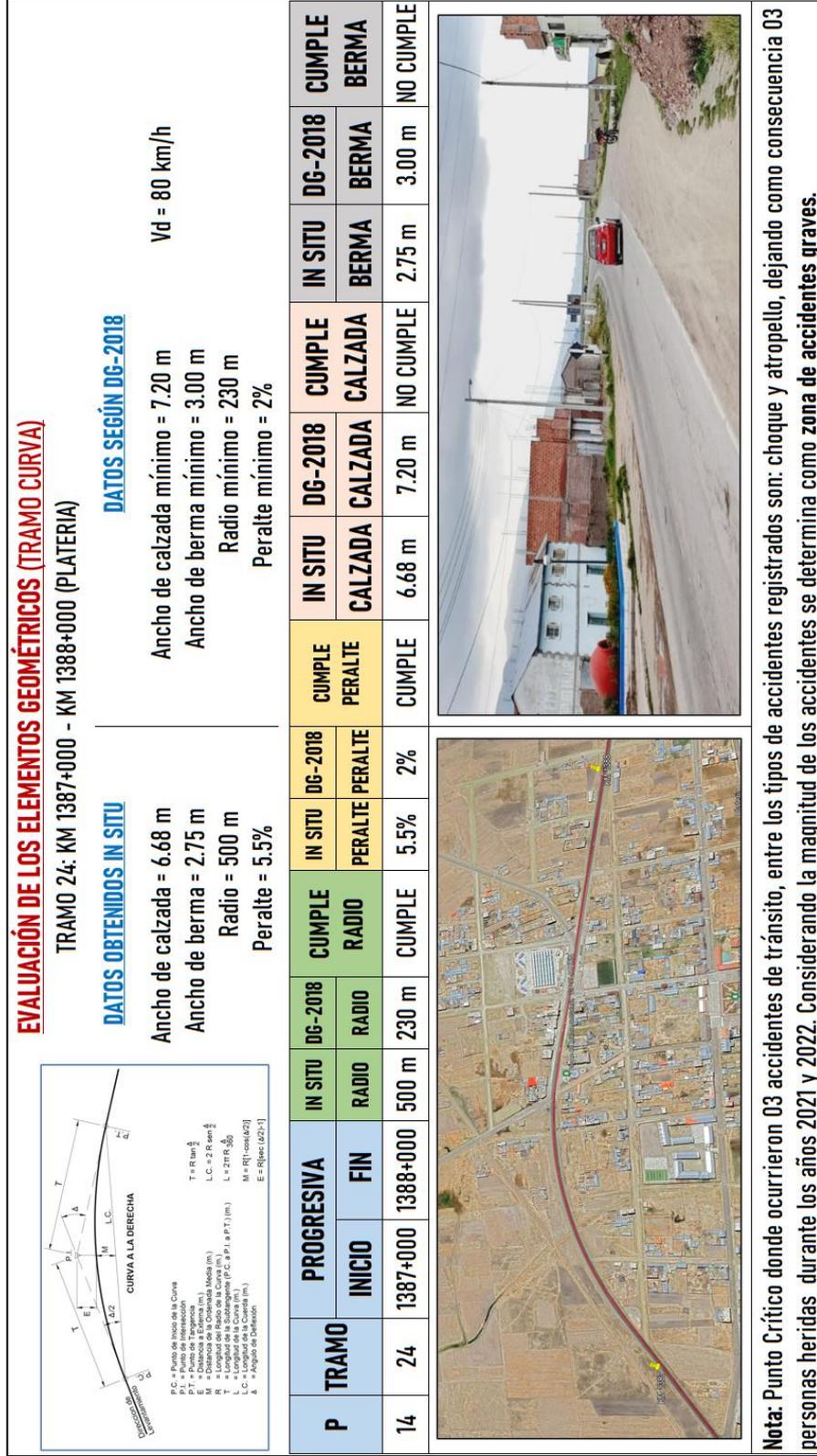


Figura 52

Tramo 25: Km 1388+000 - Km 1389+000

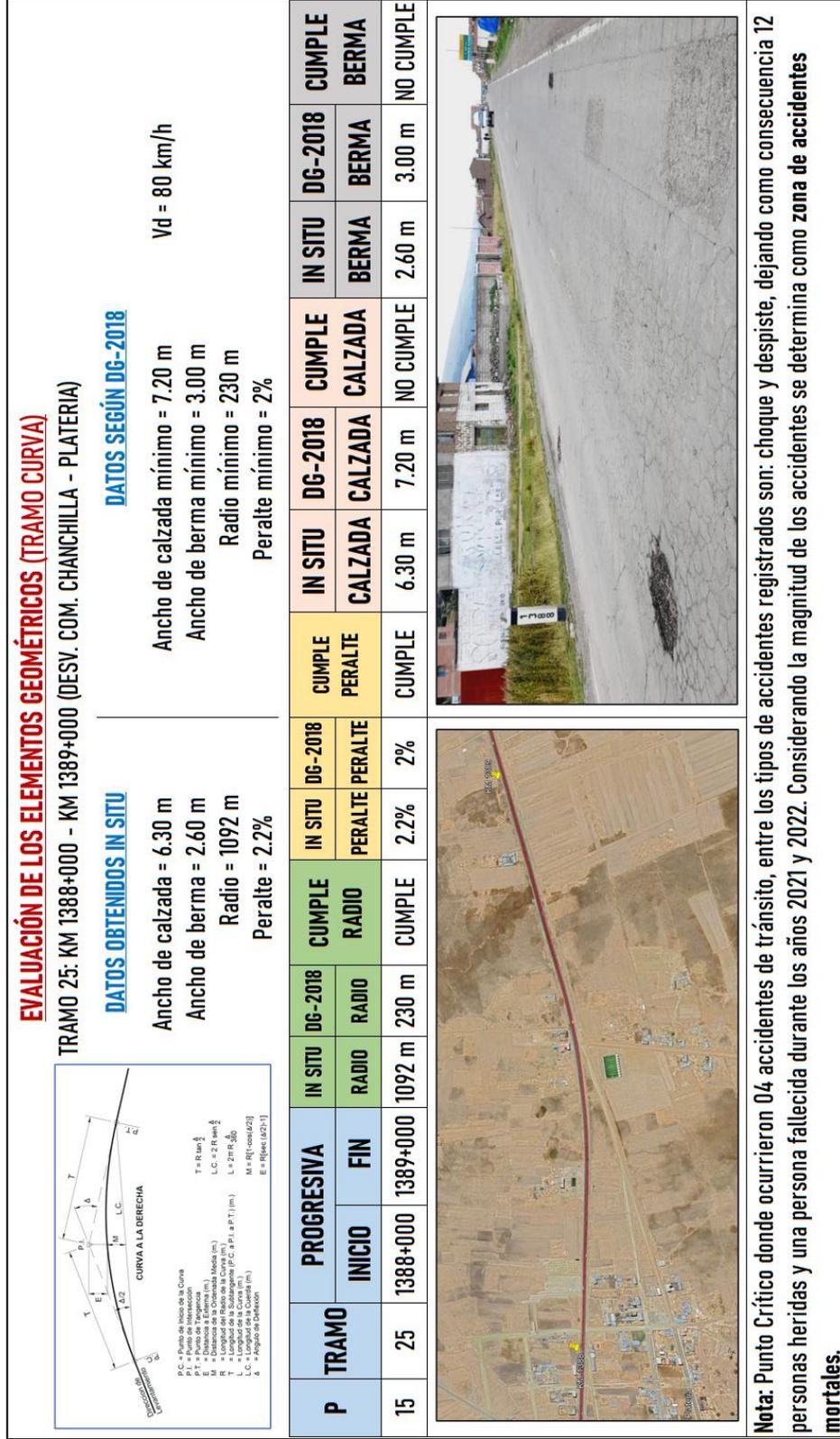


Figura 54

Tramo 33: Km 1396+000 - Km 1397+000

| EVALUACIÓN DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS (TRAMO RECTO) | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|------------|----------|------------|---|---------|-----------|---------|---------|-----------|----------|----------|---------|---------|
| TRAMO 33: KM 1396+000 - KM 1397+000 (COMUNIDAD MOLLOCCO) | | | | | | | | | | | | | | |
| DATOS OBTENIDOS IN SITU | | | | | DATOS SEGÚN DG-2018 | | | | | | | | | |
| Long. Tangente = * T. RECTO Ancho de calzada = 6.40 m Ancho de berma = 2.20 m | | | | | Long. Tangente max = 1336 m Ancho de calzada min = 7.20 m Ancho de berma min = 3.00 m Vd = 80 km/h | | | | | | | | | |
| P | TRAMO | PROGRESIVA | | IN SITU | IN SITU | DG-2018 | CUMPLE | IN SITU | DG-2018 | CUMPLE | | | | |
| | | INICIO | FIN | | | | | | | | TANGENTE | TANGENTE | CALZADA | CALZADA |
| 17 | 33 | 1396+000 | 1397+000 | * T. RECTO | 6.40 m | 7.20 m | NO CUMPLE | 2.20 m | 3.00 m | NO CUMPLE | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Nota: Punto Crítico donde ocurrieron 04 accidentes de tránsito, entre los tipos de accidentes registrados son: choque, atropello y despiste, dejando como consecuencia 02 personas heridas y una persona fallecida durante los años 2021 y 2022. Considerando la magnitud de los accidentes se determina como zona de accidentes mortales . (*) Tramo que supera los 13 kilómetros, comprendidas entre los km 1393+600 - Km 1407+580. | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 55

Tramo 37: Km 1400+000 - Km 1401+000

| EVALUACIÓN DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS (TRAMO RECTO) | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|-------------------|------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------|--------------|-------------------------------|--------|----------------|---------------|--------------|-----------|--|
| TRAMO 37: KM 1400+000 - KM 1401+000 (CC. PP. CULTA) | | | | | | | | | | | | | | |
| DATOS OBTENIDOS IN SITU | | | | | DATOS SEGUN DG-2018 | | | | | | | | | |
| P TRAMO | | PROGRESIVA | | IN SITU | DG-2018 | CUMPLE | | IN SITU | | DG-2018 | CUMPLE | | | |
| | | INICIO | FIN | TANGENTE | TANGENTE | TANGENTE | BERMA | | | BERMA | BERMA | | | |
| 18 | 37 | 1400+000 | 1401+000 | * T. RECTO | 1336 m | NO CUMPLE | NO CUMPLE | 6.40 m | 7.20 m | NO CUMPLE | 2.20 m | 3.00 m | NO CUMPLE | |
| | | | | Long. Tangente = * T. RECTO | | | | Long. Tangente max = 1336 m | | | | Vd = 80 km/h | | |
| | | | | Ancho de calzada = 6.40 m | | | | Ancho de calzada min = 7.20 m | | | | | | |
| | | | | Ancho de berma = 2.20 m | | | | Ancho de berma min = 3.00 m | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

Nota: Punto Crítico donde ocurrieron 03 accidentes de tránsito, entre los tipos de accidentes registrados son: choque y despiste, dejando como consecuencia 04 personas heridas y una persona fallecida durante los años 2021 y 2022. Considerando la magnitud de los accidentes se determina como zona de accidentes mortales. (*) Tramo que supera los 13 kilómetros, comprendidas entre los km 1393+600 - km

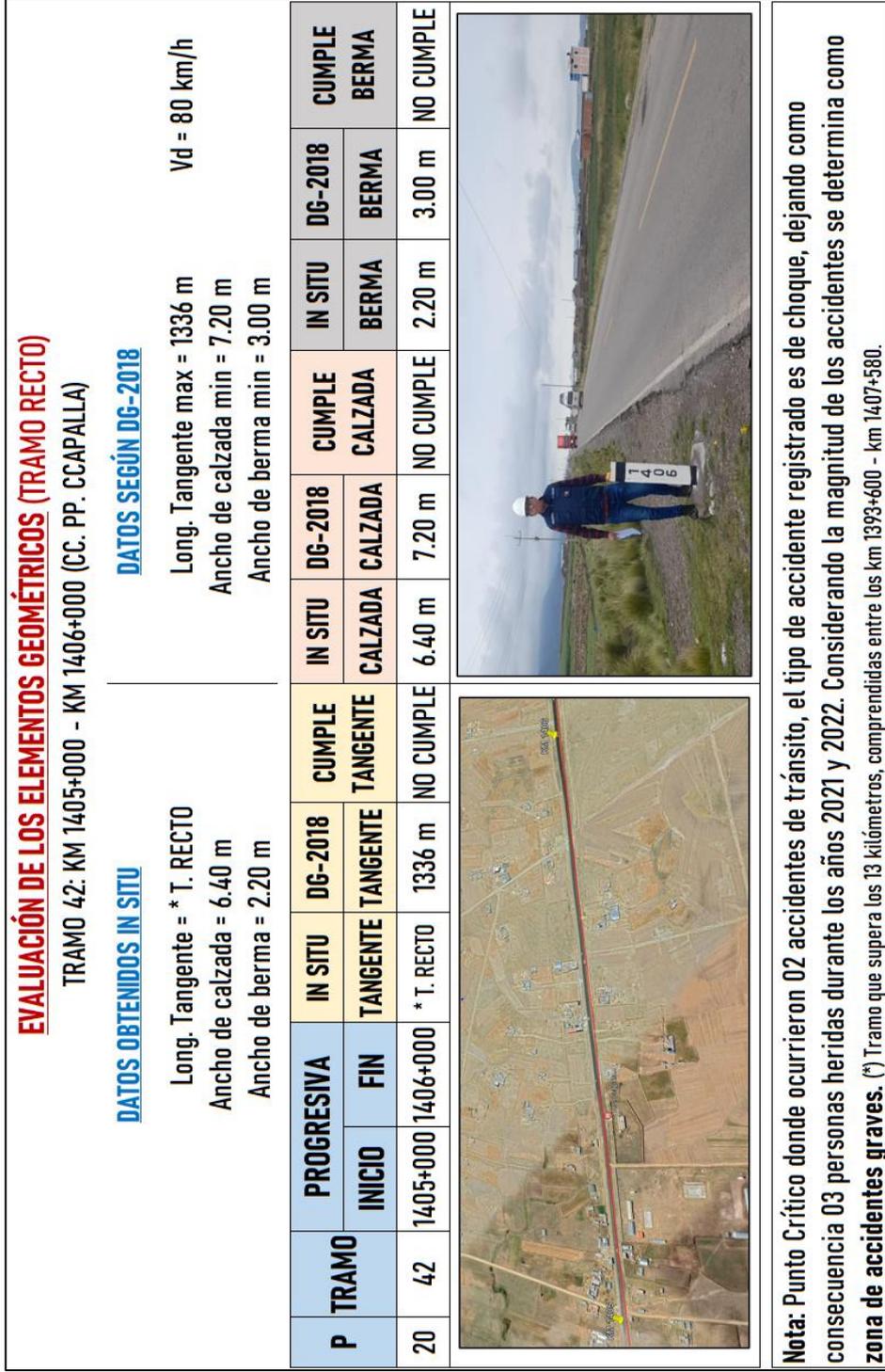
Figura 56

Tramo 40: Km 1403+000 - Km 1404+000

| EVALUACIÓN DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS (TRAMO RECTO) | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|------------|----------|------------|---|-----------|-----------|---------|---------|-----------|--------|--------|-----------|-----------|
| TRAMO 40: KM 1403+000 - KM 1404+000 (SECTOR MOCARAYA) | | | | | | | | | | | | | | |
| DATOS OBTENIDOS IN SITU | | | | | DATOS SEGÚN DG-2018 | | | | | | | | | |
| Long. Tangente = * T. RECTO Ancho de calzada = 6.40 m Ancho de berma = 2.20 m | | | | | Long. Tangente max = 1336 m Ancho de calzada min = 7.20 m Ancho de berma min = 3.00 m Vd = 80 km/h | | | | | | | | | |
| P | TRAMO | PROGRESIVA | | IN SITU | DG-2018 | CUMPLE | | IN SITU | DG-2018 | CUMPLE | | | | |
| | | INICIO | FIN | TANGENTE | TANGENTE | TANGENTE | TANGENTE | BERMA | BERMA | BERMA | BERMA | | | |
| 19 | 40 | 1403+000 | 1404+000 | * T. RECTO | 1336 m | NO CUMPLE | NO CUMPLE | 6.40 m | 7.20 m | NO CUMPLE | 2.20 m | 3.00 m | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Nota: Punto Crítico donde ocurrieron 04 accidentes de tránsito, el tipo de accidente registrado es de choque, dejando como consecuencia 02 personas heridas durante los años 2021 y 2022. Considerando la magnitud de los accidentes se determina como zona de accidentes graves. (*) Tramo que supera los 13 kilómetros, comprendidas entre los km 1393+600 - km 1407+580. | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 57

Tramo 42: Km 1405+000 - Km 1406+000



De los 20 puntos críticos evaluados, la tabla 33 resume la evaluación de los elementos geométricos en cada uno. Estos puntos críticos comprenden tramos de 1 km y, como se muestra en la tabla mencionada, incluyen el tipo de tramo (recto o curvo), y si cumplen o no con los elementos geométricos especificados (radio, peralte, tangente, calzada y berma).

Tabla 33

Resumen de la evaluación de los elementos geométricos de puntos críticos

| N° | Tramo | Radio | Cumple Radio | Peralte | Cumple Peralte | Tangente | Cumple Tangente | Calzada | Cumple Calzada | Berma | Cumple Berma |
|-----|-----------|--------|--------------|---------|----------------|----------|-----------------|---------|----------------|--------|--------------|
| 01 | Tramo 1 | - | - | - | - | 870 m | Cumple | 6.57 m | No cumple | 2.90 m | No cumple |
| 02 | Tramo 3 | 200 m | No cumple | 4.9% | No cumple | - | - | 6.70 m | No cumple | 2.70 m | No cumple |
| 03 | Tramo 5 | - | - | - | - | 1190 m | Cumple | 7.15 m | No cumple | 2.20 m | No cumple |
| 04 | Tramo 7 | - | - | - | - | 1107 m | Cumple | 7.12 m | No cumple | 2.58 m | No cumple |
| 05 | Tramo 8 | 450 m | Cumple | 4.5% | Cumple | - | - | 6.68 m | No cumple | 1.75 m | No cumple |
| 06 | Tramo 9 | - | - | - | - | 1570 m | No cumple | 6.54 m | No cumple | 1.90 m | No cumple |
| 07 | Tramo 10 | 401 m | Cumple | 2.2% | Cumple | - | - | 6.58 m | No cumple | 2.15 m | No cumple |
| 08 | Tramo 12 | 204 m | No cumple | 3.8% | No cumple | - | - | 6.68 m | No cumple | 1.80 m | No cumple |
| 08' | Tramo 12' | 301 m | Cumple | 4.3% | Cumple | - | - | 6.68 m | No cumple | 1.80 m | No cumple |
| 09 | Tramo 13 | 204 m | No cumple | 4.5% | No cumple | - | - | 6.72 m | No cumple | 2.25 m | No cumple |
| 10 | Tramo 16 | - | - | - | - | 1393 m | No cumple | 6.93 m | No cumple | 2.85 m | No cumple |
| 11 | Tramo 17 | 485 m | Cumple | 2.8% | Cumple | - | - | 7.05 m | No cumple | 2.90 m | No cumple |
| 12 | Tramo 21 | - | - | - | - | T. Recto | No cumple | 6.51 m | No cumple | 2.80 m | No cumple |
| 13 | Tramo 23 | - | - | - | - | T. Recto | No cumple | 6.51 m | No cumple | 2.80 m | No cumple |
| 14 | Tramo 24 | 500 m | Cumple | 5.5% | Cumple | - | - | 6.68 m | No cumple | 2.75 m | No cumple |
| 15 | Tramo 25 | 1092 m | Cumple | 2.2% | Cumple | - | - | 6.30 m | No cumple | 2.60 m | No cumple |
| 16 | Tramo 29 | 500 m | Cumple | 4.0% | Cumple | - | - | 6.70 m | No cumple | 2.20 m | No cumple |
| 17 | Tramo 37 | - | - | - | - | T. Recto | No cumple | 6.40 m | No cumple | 2.20 m | No cumple |
| 18 | Tramo 34 | - | - | - | - | T. Recto | No cumple | 6.40 m | No cumple | 2.20 m | No cumple |
| 19 | Tramo 40 | - | - | - | - | T. Recto | No cumple | 6.40 m | No cumple | 2.20 m | No cumple |
| 20 | Tramo 42 | - | - | - | - | T. Recto | No cumple | 6.40 m | No cumple | 2.20 m | No cumple |

Respecto al tipo de tramo, el 45% de los accidentes suscitados fueron en tramos curvos y el 55% en tramos rectos.

En cuanto a los elementos geométricos en tramos curvos: el 30% no cumple con el radio ni el peralte requeridos, y el 100% no alcanza el ancho mínimo de la calzada ni de la berma conforme a las especificaciones de la DG-2018. Además, se constató que las



curvas carecen de sobreancho, a pesar de ser necesario debido a los tipos de vehículos que circulan por ellas.

De los elementos geométricos en tramos rectos: el 73% no cumple con la tangente máxima, y el 100% no satisface con el ancho mínimo de la calzada ni la berma según DG-2018.

4.2.1 Discusión de la evaluación del diseño geométrico

Según Cadengo et al. (2020), en su investigación concluyen que los elementos geométricos de la vía analizada no cumplen con los requisitos estipulados en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras DGST-2018 México.

De igual manera que Cadengo et al. (2020), en esta tesis se observó que los elementos geométricos en los puntos críticos no cumplen con los requerimientos mínimos exigidos por la normativa peruana DG-2018.

Según el estudio realizado por Cusi (2021), se determinó que el ancho de la berma y la calzada de la vía estudiada no cumplen con los requisitos establecidos por la normativa DG-2018.

En relación con esta tesis, se constató que la mayoría de los elementos geométricos no cumplen con los requisitos mínimos establecidos por la normativa. Al igual que Cusi (2021), se constató que el 100% de los tramos estudiados no cumple con el ancho requerido tanto para la calzada como para la berma.

4.3 EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO EN LOS PUNTOS CRÍTICOS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO

La evaluación se llevó a cabo en 20 puntos críticos, utilizando mediciones tanto in situ como en gabinete.

A continuación, se presenta el cálculo del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) según los datos obtenidos con el instrumento Merlin:

Primeramente, mediante las lecturas in situ que se presentan en la tabla 34, se realizó la evaluación de la variabilidad de los datos obtenidos con el instrumento Merlin. Este análisis consistió en calcular la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones registradas por el puntero. A modo ilustrativo, esta distribución se representó en un histograma, como se puede observar en la figura 58.

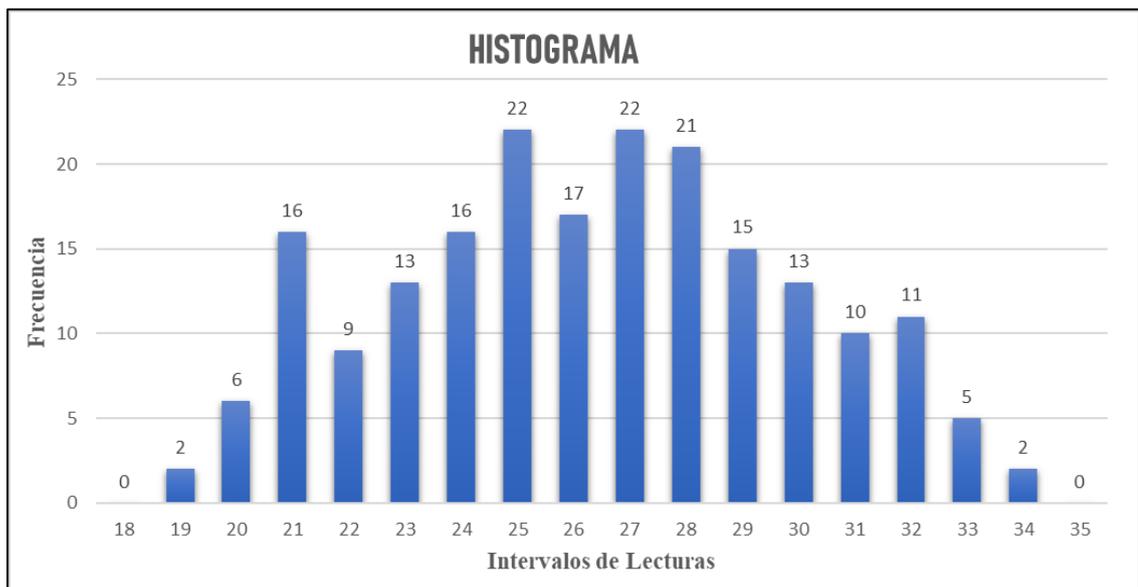
Tabla 34

Lecturas de campo del instrumento Merlin

| LECTURAS DE CAMPO TRAMO 01, KM 1364+000 - KM 1365+000 | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 25 | 24 | 25 | 32 | 32 | 31 | 21 | 21 | 26 | 25 |
| 29 | 22 | 23 | 28 | 24 | 27 | 25 | 26 | 27 | 30 |
| 23 | 23 | 27 | 22 | 27 | 28 | 27 | 23 | 27 | 29 |
| 20 | 29 | 29 | 20 | 24 | 27 | 25 | 32 | 20 | 21 |
| 28 | 27 | 28 | 23 | 31 | 24 | 34 | 27 | 26 | 21 |
| 31 | 23 | 31 | 25 | 33 | 28 | 29 | 21 | 30 | 29 |
| 28 | 27 | 28 | 23 | 31 | 21 | 34 | 27 | 26 | 21 |
| 31 | 23 | 31 | 25 | 28 | 28 | 29 | 21 | 30 | 29 |
| 27 | 22 | 28 | 31 | 28 | 33 | 27 | 30 | 30 | 24 |
| 25 | 24 | 20 | 25 | 22 | 20 | 24 | 30 | 26 | 21 |
| 21 | 29 | 25 | 28 | 32 | 26 | 32 | 24 | 26 | 30 |
| 27 | 24 | 32 | 25 | 32 | 24 | 21 | 29 | 28 | 21 |
| 25 | 25 | 20 | 24 | 24 | 27 | 28 | 24 | 33 | 25 |
| 28 | 31 | 32 | 29 | 30 | 21 | 23 | 28 | 28 | 27 |
| 30 | 29 | 23 | 26 | 25 | 27 | 26 | 25 | 26 | 26 |
| 26 | 30 | 25 | 26 | 27 | 25 | 27 | 33 | 21 | 27 |
| 30 | 25 | 26 | 29 | 26 | 29 | 30 | 22 | 27 | 23 |
| 28 | 22 | 28 | 32 | 22 | 22 | 25 | 23 | 33 | 28 |
| 25 | 22 | 24 | 26 | 26 | 21 | 25 | 30 | 23 | 31 |
| 27 | 19 | 32 | 24 | 32 | 24 | 21 | 29 | 28 | 19 |

Figura 58

Histograma de la distribución de frecuencias



Nota: Los valores utilizados del histograma son de las lecturas en campo

Una vez elaborado el histograma, se establece el rango de las lecturas, agrupados en intervalos de frecuencia (D). Posteriormente, se descarta el 10% de las lecturas menos representativas o erráticos, eliminando el 5% (10 datos) del extremo izquierdo y el 5% (10 datos) del extremo derecho del histograma. Concretamente, de las barras en el extremo izquierdo se eliminan 10 datos, dejando un saldo de 14 datos en la tercera barra extrema, de un total inicial de 16. En el extremo derecho, también se eliminan 10 datos, resultando en un saldo de 8 datos en la tercera barra extrema, de un total inicial de 11.

Finalmente, la cantidad de barras no afectadas son 10. En consecuencia, se tiene:

$$D = \frac{14}{16} + \frac{8}{11} + 10$$

$$D = 11.60$$

- Factor de corrección para el ajuste de “D”

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{(Li - Lf) \times 5}$$



Donde,

EP: Espesor de la pastilla = 5

Li: Posición inicial del puntero = 25

Lf: Posición final del puntero = 12

$$F.C. = \frac{5 \times 10}{(25 - 12) \times 5}$$

$$F.C. = 0.7692$$

Entonces, (D) corregido en milímetros es:

$$D_c = D \times F.C. \times e$$

Donde,

D: Rango de intervalos de lectura

F.C.: Factor de corrección

e: Es el valor que tiene cada unidad de lectura = 5 mm

$$D_c = 11.60 \times 0.7692 \times 5$$

$$D = 44.62 \text{ mm}$$

- Finalmente, el valor del IRI es:

a) Cuando $2.4 < IRI < 15.9$, o $D > 50\text{mm}$

$$\text{entonces, } IRI = 0.593 + 0.0471D \dots (1)$$

b) Cuando $IRI < 2.4$, o $D < 50\text{mm}$

$$\text{entonces, } IRI = 0.0485D \dots (2)$$

En la ecuación (2),

$$IRI = 0.0485(44.62)$$

$$IRI = 2.16 \text{ m/km}$$

Tabla 35*Determinación del IRI en los puntos críticos de la vía Puno – Ilave*

| N° | Tramo | Rugosidad | | | |
|----|----------|-----------|------|------------------|-----------|
| | | D | F.C. | D corregido (mm) | IRI(m/km) |
| 01 | Tramo 1 | 11.60 | 0.77 | 44.62 | 2.16 |
| 02 | Tramo 3 | 9.54 | 0.94 | 44.84 | 2.17 |
| 03 | Tramo 5 | 8.11 | 1.12 | 45.42 | 2.20 |
| 04 | Tramo 7 | 9.21 | 0.83 | 38.22 | 1.85 |
| 05 | Tramo 8 | 13.24 | 0.76 | 50.31 | 2.96 |
| 06 | Tramo 9 | 8.41 | 0.75 | 31.54 | 1.53 |
| 07 | Tramo 10 | 7.12 | 1.11 | 39.52 | 1.92 |
| 08 | Tramo 12 | 10.54 | 0.84 | 44.27 | 2.15 |
| 09 | Tramo 13 | 10.32 | 0.78 | 40.25 | 1.95 |
| 10 | Tramo 16 | 7.22 | 0.64 | 23.10 | 1.12 |
| 11 | Tramo 17 | 11.43 | 0.68 | 38.86 | 1.88 |
| 12 | Tramo 21 | 9.89 | 0.74 | 36.59 | 1.77 |
| 13 | Tramo 23 | 7.49 | 0.97 | 36.33 | 1.76 |
| 14 | Tramo 24 | 10.02 | 1.25 | 62.63 | 3.54 |
| 15 | Tramo 25 | 11.51 | 1.13 | 65.03 | 3.66 |
| 16 | Tramo 29 | 6.58 | 1.02 | 33.56 | 1.63 |
| 17 | Tramo 37 | 8.34 | 0.97 | 40.45 | 1.96 |
| 18 | Tramo 34 | 10.15 | 1.09 | 55.32 | 3.20 |
| 19 | Tramo 40 | 7.12 | 0.85 | 30.26 | 1.47 |
| 20 | Tramo 42 | 7.58 | 0.81 | 30.70 | 1.49 |

Nota: “D” es el rango de intervalos de lectura y “F.C” es el factor de corrección

Según el MTC (2013), para una carretera de primera clase de una calzada de 02 carriles, la rugosidad característica durante el periodo de servicio IRI no debe ser mayor que 4.00 m/km. De la tabla 36 se puede ver que los datos del IRI en todos los tramos están dentro del rango que indica la norma EG-2013.

Tabla 36*Verificación del IRI in situ según el requerimiento de norma MTC (2013)*

| N° | TRAMO | RUGOSIDAD | |
|----|----------|----------------|------------------------------------|
| | | IRI In Situ | Condición del IRI según EG-2013 |
| 01 | Tramo 1 | 2.16 | Cumple |
| 02 | Tramo 3 | 2.17 | Cumple |
| 03 | Tramo 5 | 2.20 | Cumple |
| 04 | Tramo 7 | 1.85 | Cumple |
| 05 | Tramo 8 | 2.96 | Cumple |
| 06 | Tramo 9 | 1.53 | Cumple |
| 07 | Tramo 10 | 1.92 | Cumple |
| 08 | Tramo 12 | 2.15 | Cumple |
| 09 | Tramo 13 | 1.95 | Cumple |
| 10 | Tramo 16 | 1.12 | Cumple |
| 11 | Tramo 17 | 1.88 | Cumple |
| 12 | Tramo 21 | 1.77 | Cumple |
| 13 | Tramo 23 | 1.76 | Cumple |
| 14 | Tramo 24 | 3.54 | Cumple |
| 15 | Tramo 25 | 3.66 | Cumple |
| 16 | Tramo 29 | 1.63 | Cumple |
| 17 | Tramo 37 | 1.96 | Cumple |
| 18 | Tramo 34 | 3.20 | Cumple |
| 19 | Tramo 40 | 1.47 | Cumple |
| 20 | Tramo 42 | 1.49 | Cumple |

Nota: Según la norma EG-2013 en IRI no debe ser mayor que 4 m/km.

4.3.1 Discusión de la evaluación de la rugosidad del pavimento

Según Lavaud (2011), conducir por una carretera en mal estado, caracterizada por una alta irregularidad, presencia de baches y grietas, complica la conducción debido a la necesidad de realizar cambios de velocidad y maniobras bruscas para evitar estas irregularidades, lo que incrementa el riesgo de accidentes. Se ha observado que cuando el IRI aumenta de 1.56 m/km a un rango entre 1.61 m/km y 3.20 m/km, la frecuencia de accidentes se eleva 1.65 veces.

Según la presente investigación, los datos obtenidos del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) el 80% de los puntos críticos superan el valor de 1.61 m/km mencionado anteriormente por el autor. A partir de estos resultados, se

concluye que la rugosidad del pavimento en los tramos estudiados afecta significativamente el desempeño de los conductores en la vía.

Por otro lado, en los tramos donde la transitabilidad es deficiente, con baches de una profundidad promedio de 10 cm, no es posible medir adecuadamente la regularidad del pavimento. Esto se debe a que el instrumento Merlin presenta limitaciones en la lectura de tramos con estas características.

4.4 EVALUACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL EN LOS PUNTOS CRÍTICOS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO

La señalización juega un papel crucial en el funcionamiento eficaz y seguro de la red de carreteras. Una señalización adecuada asegura que los conductores estén debidamente alertados e informados acerca de modificaciones en el diseño de la carretera, así como sobre su cercanía a áreas potencialmente peligrosas como curvas, áreas con alta presencia peatonal, reductores de velocidad, deslizamientos de tierra, entre otros.

A continuación, se muestra las deficiencias de los dispositivos de control en los puntos críticos de accidentes de tránsito en la vía Puno – Ilave.

Figura 59

Calzada desgastada a falta de mantenimiento en el Km 1364+050



Nota: Tramo desvío al Centro Poblado Jayllihuaya

En la figura 59 se observa un vehículo de transporte público realizando maniobras peligrosas, invadiendo el carril contrario para esquivar los baches presentes en la calzada.

Figura 60

Curva peligrosa a falta de tachas y postes delineadores en el Km 1371+330



Nota: Tramo Centro Poblado Ichu

De la figura 60 se puede observar la ausencia de postes delineadores y tachas retrorreflectivas a lo largo de toda la curva.

Figura 61

Ausencia de reductor de velocidad en el Km 1372+300



Nota: Tramo Comisaria PNP Ichu

La figura 61 ilustra la falta de reductores de velocidad en ambos extremos de la comisaría PNP Ichu, lo cual también beneficiaría a la posta de salud y a la comunidad urbana cercana.

Figura 62

Curva peligrosa a falta de tachas y postes delineadores en el Km 1373+200



Nota: Tramo curva Raya - Ichu

En la figura 62 se aprecia la ausencia de postes delineadores y tachas retrorreflectivas a lo largo de toda la curva. También se observa el deterioro de la calzada.

Figura 63

Curva peligrosa a falta de tachas y postes delineadores en el Km 1376+460



Nota: Tramo Centro de Innovación y Transferencia Tecnológica - Chucuito

En la figura 63 se muestra la ausencia de postes delineadores y tachas retrorreflectivas a lo largo de toda la curva. También se puede observar la presencia de vegetación que obstruye la visibilidad de los conductores.

Figura 64

Ausencia de señalizaciones y reductores de velocidad en el Km 1379+360



Nota: Tramo Comunidad Chinchera - Chucuito

En la figura 64, se observa la falta de señalización vertical y de reductores de velocidad, elementos necesarios dado que este tramo corresponde a una zona urbana.

Figura 65

Ausencia de reductor de velocidad en el Km 1384+780



Nota: Tramo desvío Centro Poblado Camacani - Plateria

En la figura 65 se observa la ausencia de reductores de velocidad, pese a que el tramo conecta con una zona urbana. Además, se aprecia el deterioro del estado de la calzada.

Figura 66

Señalización inadecuada en el Km 1386+860



Nota: Tramo desvío estadio de Plateria

En la figura 66 se observa que la señalización ubicada en el desvío hacia el estadio de la localidad de Plateria es inadecuada. Actualmente, la señal advierte de una curva horizontal hacia la derecha; sin embargo, en este punto también hay una intersección con otra vía de tráfico considerable. Por lo tanto, se recomienda reemplazar la señalización actual por una que indique una conexión en ángulo agudo hacia la derecha (P-10A).

Figura 67

Reductor de velocidad inapropiadamente localizado en el Km 1387+500



Nota: Tramo Plateria zona urbana

En la figura 67 se observa una mala ubicación del reductor de velocidad, sugiriendo su reubicación antes de la intersección con la vía Luquina Chico. Además, se evidencia la falta de postes delineadores y tachas retrorreflectivas a lo largo la curva.

Figura 68

Reductor de velocidad en estado defectuoso en el Km 1387+530



Nota: Tramo Plateria zona urbana

En la figura 68 se muestra el deterioro del rompemuelleres y de la calzada, esto hace que los conductores tengan que efectuar maniobras riesgosas en una zona urbana. Además, las demarcaciones viales están poco o nada visibles.

Figura 69

Calzada desgastada a falta de mantenimiento en el Km 1387+670



Nota: Tramo Plateria zona urbana

En la figura 69 se observa una calzada con baches significativos y señalizaciones horizontales completamente borradas por falta de mantenimiento.

Figura 70

Calzada con presencia de baches en el Km 1388+200



Nota: Tramo desvío Comunidad Chanchilla – Plateria

En la figura 70 se ilustra una calzada con presencia de baches en ambos carriles, esto hace que los conductores tengan que efectuar maniobras riesgosas.

Figura 71

Reductor de velocidad en estado defectuoso en el Km 1392+210



Nota: Tramo Acora zona urbana

En la figura 71 se observa un rompemuelle totalmente desgastado y aplanado, lo que permite que los vehículos transiten por la zona urbana sin reducir su velocidad.

Figura 72

Ausencia de reductores de velocidad en el Km 1396+800



Nota: Tramo Comunidad Mollocco

En la figura 72 se puede observar la ausencia de reductores de velocidad en una zona urbana, así como el deterioro notable de la berma.

Figura 73

Ausencia de reductores de velocidad en el Km 1400+670



Nota: Tramo Centro Poblado de Culca

En la figura 73 se evidencia la falta de reductores de velocidad y señalizaciones preventivas en el desvío hacia una zona urbana. Además, se puede apreciar el mal estado de la berma.

Figura 74

Ausencia de señalizaciones y reductores de velocidad en el Km 1405



Nota: Tramo Centro Poblado de Ccapalla

En la figura 74 se observa que el tramo atraviesa una zona ganadera y carece de señalización preventiva que advierta a los conductores sobre la posible presencia de animales en la carretera. Además, falta la instalación de reductores de velocidad.

Figura 75

Señales de restricción inadecuadas en la vía



En la figura 75 se aprecia una señal de restricción que no cumple con las especificaciones del Manual de Dispositivos de Control de Tránsito (MTC, 2018), el cual establece que estas señales deben tener un fondo blanco o amarillo, según corresponda, y la velocidad máxima de operación debe estar indicada en negro dentro de una circunferencia de color rojo. Además, la ubicación lateral de estas señales debe ser a una longitud mínima de 3.60 metros del límite de la calzada.

De los 20 puntos críticos evaluados, se muestra la tabla 37, donde se realizó el inventario vial de las señalizaciones de tránsito considerando tramos de 01 km.

Tabla 37

Inventario vial de señalizaciones en los puntos críticos de accidentes de tránsito

| N° | Tramo (Km+000) | | Tipo de tramo | Ancho (m) | | Estado de transitabilidad | Señales | | Reductores de velocidad |
|----|----------------|------|---------------|-----------|-------|---------------------------|------------|--------------|-------------------------|
| | Inicio | Fin | | Calzada | Berma | | Verticales | Horizontales | |
| 1 | 1364 | 1365 | Recto | 6.57 | 2.90 | Mala | Falta | Mala | Buena |
| 2 | 1366 | 1367 | Curva | 6.70 | 2.70 | Buena | Tiene | Regular | Innecesario |
| 3 | 1368 | 1369 | Recto | 7.15 | 2.20 | Buena | Tiene | Regular | Buena |
| 4 | 1370 | 1371 | Recto | 7.12 | 2.58 | Buena | Incompleto | Regular | Innecesario |
| 5 | 1371 | 1372 | Curva | 6.68 | 1.75 | Buena | Incompleto | Regular | Falta |
| 6 | 1372 | 1373 | Recto | 6.54 | 1.90 | Buena | Tiene | Regular | Falta |
| 7 | 1373 | 1374 | Curva | 6.58 | 2.15 | Regular | Tiene | Regular | Innecesario |
| 8 | 1375 | 1376 | Curva | 6.68 | 1.80 | Buena | Tiene | Regular | Innecesario |
| 9 | 1376 | 1377 | Curva | 6.72 | 2.25 | Buena | Tiene | Malo | Malo |
| 10 | 1379 | 1380 | Recto | 6.93 | 2.85 | Buena | Falta | Regular | Falta |
| 11 | 1380 | 1381 | Curva | 7.05 | 2.90 | Buena | Tiene | Regular | Innecesario |
| 12 | 1384 | 1385 | Recto | 6.51 | 2.80 | Buena | Incompleto | Regular | Falta |
| 13 | 1386 | 1387 | Recto | 6.51 | 2.80 | Buena | Inadecuada | Regular | Innecesario |
| 14 | 1387 | 1388 | Curva | 6.68 | 2.75 | Mala | Falta | Malo | Falta |
| 15 | 1388 | 1389 | Curva | 6.30 | 2.60 | Mala | Falta | Regular | Innecesario |
| 16 | 1392 | 1393 | Curva | 6.70 | 2.20 | Buena | Tiene | Regular | Malo |
| 17 | 1396 | 1397 | Recto | 6.40 | 2.20 | Regular | Tiene | Regular | Falta |
| 18 | 1400 | 1401 | Recto | 6.40 | 2.20 | Regular | Incompleto | Regular | Falta |
| 19 | 1403 | 1404 | Recto | 6.40 | 2.20 | Regular | Incompleto | Regular | Innecesario |
| 20 | 1405 | 1406 | Recto | 6.40 | 2.20 | Regular | Tiene | Regular | Falta |

Según la tabla presentada, el 15% de los tramos evaluados se encuentran en estado de transitabilidad mala, lo que indica que la calzada presenta baches con profundidades mayores a 10 cm. Además, un 25% de los tramos evaluados se encuentra en estado de transitabilidad regular, lo que significa que la calzada presenta baches con profundidades de entre 5 cm y 10 cm.

En lo que respecta a las señales verticales, se observa una notable ausencia de diversas señalizaciones, en particular las relacionadas con el control de velocidades



(señales de restricción) y las señalizaciones preventivas adecuadas para cada zona, incluyendo advertencias sobre animales en la vía, áreas urbanas y zonas escolares.

En cuanto a las señales horizontales, las demarcaciones de la vía, incluyendo los bordes y el eje de la calzada, están completamente desgastadas. La falta de tachas retrorreflectivas y de postes delineadores contribuye significativamente al riesgo de accidentes de tránsito.

En relación con los reductores de velocidad, muchos tramos requieren su instalación, mientras que en otros, estos están muy desgastados (casi planos) o mal ubicados. Esto resulta en un manejo inapropiado de las velocidades por parte de los conductores.

4.4.1 Discusión de la evaluación de los dispositivos de control de tránsito

Asprilla et al. (2017), en su artículo concluyen que las distancias de visibilidad de las señalizaciones verticales no cumplen con las especificaciones del manual y presentan deficiencias significativas. En cuanto a las señalizaciones horizontales, se detecta una legibilidad insuficiente o inexistente en las marcas de cebras y las líneas divisorias de carriles.

En la presente tesis, respecto a las señalizaciones horizontales al igual que Asprilla et al. (2017), las demarcaciones de la vía, incluyendo los bordes y el eje de la calzada, están completamente desgastadas.

Según Reyes (2021), los resultados de su estudio indicaron que la señalización vial fue un factor directo y significativo en los accidentes de tránsito registrados en el distrito de Huancayo-Junín en 2019.



Según la investigación actual, el 75% de las vías no cumple con los requerimientos mínimos para ser consideradas seguras. De forma similar a lo expresado por Reyes (2021), estas condiciones contribuyen a la degradación de la seguridad vial, clasificando estos tramos como zonas de alto riesgo para conductores y peatones.

4.5 PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS

4.5.1 Generalidades

Tras evaluar los puntos críticos con mayor incidencia de accidentes en la carretera Puno – Ilave, se comprobó que el diseño geométrico no cumple con las especificaciones de la DG-2018. Además, se verificó que en algunos tramos de la carretera, la calzada está en un estado inadecuado para la circulación segura de vehículos. Respecto a los dispositivos de control de tráfico, se detectó una notable ausencia de reductores de velocidad y señales preventivas.

El diseño geométrico de la vía, como se detalla en la tabla 33, muestra deficiencias en el ancho de la calzada, la berma, el peralte y el radio de curva en algunos tramos. Según la normativa DG-2018, que establece parámetros mínimos para el diseño de carreteras, estas características no cumplen con lo requerido.

Debido a la falta de mantenimiento, el estado de la calzada en algunos tramos, como se observa en la tabla 37, está deteriorado y presenta numerosas patologías. Este deterioro se atribuye principalmente al desgaste de la superficie, por el incremento del flujo vehicular.

En cuanto a los dispositivos de control en los puntos críticos, se observa una notable carencia de señalización vertical y de reductores de velocidad. Asimismo, se evidencia la falta de tachas retrorreflectivas y postes delineadores en las curvas, elementos esenciales para garantizar la seguridad vial.

4.5.2 Propuesta de diseño en tramo recto

De acuerdo con la tabla 37, el 55% de los puntos críticos de accidentes de tránsito registrados ocurrieron en tramos rectos, lo que destaca su relevancia y la necesidad de un estudio más profundo. En estos tramos rectos, se observó que la longitud de las tangentes supera las medidas máximas permitidas, y tanto la calzada como la berma no cumplen con los requisitos establecidos por la normativa DG-2018.

4.5.2.1 Respecto al diseño geométrico

A continuación, se presentan alternativas de solución para los tramos rectos:

- **Tramo tangente.** Se recomienda reducir la longitud de las rectas tangentes en la carretera para prevenir problemas como el cansancio del conductor, la exposición solar y el exceso de velocidad. De acuerdo con la tabla 4, para una velocidad de diseño de 80 m/s, se sugiere limitar la longitud máxima de la tangente a 1336 m, lo que permitirá diseñar la carretera con un trazado en zigzag para mejorar la seguridad vial.
- **Sección transversal.** Se recomienda que a lo largo de toda la carretera se amplíe el ancho de la calzada a 7.20 m y el de la berma a 3.00 m, según lo especificado en las tablas 6 y 7 respectivamente.

4.5.2.2 Respecto a la rugosidad del pavimento

Se recomienda implementar programas de mantenimiento preventivo que atiendan las primeras señales de deterioro del pavimento, con el objetivo de prevenir el desarrollo de una superficie excesivamente

rugosa. En áreas donde la transitabilidad se vea significativamente afectada por la presencia de baches y otras irregularidades que comprometan la seguridad vial, es necesario realizar trabajos de rehabilitación o reconstrucción completa del pavimento para garantizar una superficie segura y óptima para el tránsito.

4.5.2.3 Respecto a los dispositivos de control de tránsito

A continuación, se presentan alternativas de solución para los dispositivos de control de tránsito:

- **Reductores de velocidad.** Se recomienda la instalación de reductores de velocidad en los accesos a zonas urbanas
- **Despertadores.** Se sugiere la instalación de bandas vibratoras transversales en la superficie del pavimento para aumentar la concentración del conductor. Estas deberían ubicarse en puntos estratégicos, como las aproximaciones a zonas urbanas, el ingreso a curvas peligrosas y en puntos seleccionados de tramos rectos.
- **Streaming.** De acuerdo con el Manual de Seguridad Vial del MTC (2017), se recomienda la plantación de árboles cerca de la carretera. Esta medida se basa en que la proximidad de objetos al borde de la vía genera un efecto de flujo óptico, lo que puede hacer que los conductores perciban que su velocidad es mayor de lo que realmente es, especialmente en comparación con áreas más abiertas. Esto, a su vez, puede inducir a los conductores a reducir la velocidad, contribuyendo así a la seguridad vial.
- **Ubicación de las señalizaciones.** La vía objeto de estudio no presenta una metodología definida para la ubicación de las señalizaciones.

Según las recomendaciones del MTC (2018), es fundamental analizar la ubicación de las señalizaciones en función de la distancia de parada, por ello, propone la siguiente fórmula para determinar dicha distancia.

$$D_p = 0.278 \times V \times t_p + 0.039 \frac{V^2}{a}$$

Dónde:

D_p : Distancia de parada.

V : Velocidad de diseño = 80 m/s.

t_p : Tiempo estimado de percepción y reacción = 2.5 s.

a : Desaceleración = 3.4 m/s².

$$D_p = 0.278 \times (80) \times (2.5) + 0.039 \frac{(80)^2}{(3.4)}$$

$$D_p = 130 \text{ m}$$

Por lo tanto, para una velocidad de diseño de 80 m/s, las señalizaciones deben ubicarse a 130 metros del punto de interés.

4.5.3 Propuesta de diseño geométrico en tramo curvo

Para el Tramo 12: Km 1375+000 - Km 1376+000 correspondiente a la Comunidad de Cusipata. Según el reporte policial (Anexo 2), es un punto crítico donde ocurrieron 04 accidentes de tránsito, entre los tipos de accidentes registrados son: choque, atropello y caída de pasajero, dejando como consecuencia 30 personas heridas y una persona fallecida durante los años 2021 y 2022, considerando la magnitud de los accidentes se determina como zona de accidentes mortales.

Considerando los estudios que se realizó en la vía, se plantea una propuesta de diseño geométrico en tramo curva de la siguiente manera:

- **Cálculo del IMDA.** Con el aforo vehicular (ver Anexo A) se determinó un total de 26943 vehículos por semana, por lo tanto el Índice Medio Diario Semanal (IMDS) será:

$$IMDS = \frac{\text{Total de Vehículos}}{7}$$

$$IMDS = \frac{26943}{7}$$

$$IMDS = 3849 \text{ vehículos}$$

Para el cálculo del Índice Medio Diario Anual (IMDA), el IMDS se debe de corregir según la ubicación del peaje de la vía en estudio y al mes que corresponde.

$$IMDA = Fc \times IDMS$$

Donde:

- Según el MTC el factor de corrección (Fc) correspondiente al peaje de llave y al mes de julio es de 0.96925.

$$IMDA = 0.96925 \times 3849$$

$$IMDA = 3731 \text{ veh/día}$$

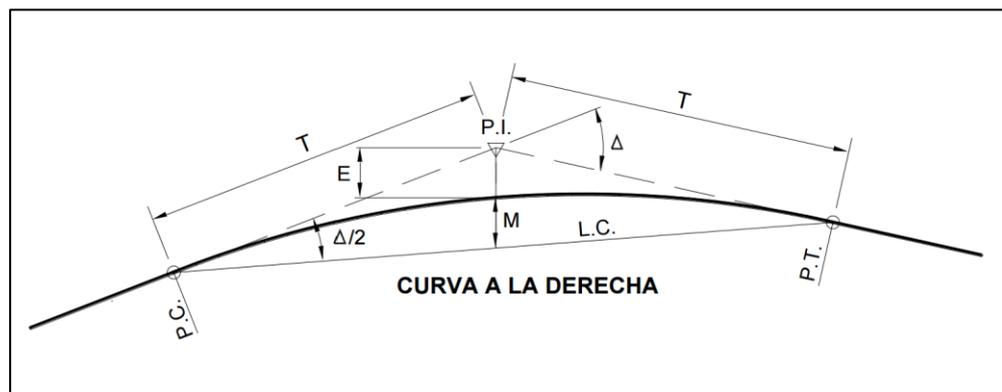
- **Clasificación por demanda.** Como el valor del IMDA se encuentra entre 2001 y 4000 veh/día la vía se clasifica como carretera de primera clase.
- **Clasificación por orografía.** El tramo de estudio según sus pendientes se clasifica como terreno plano.
- **Velocidad de diseño.** Según la clasificación de la carretera por demanda y orografía la norma DG-2018 propone rangos de velocidades de diseño (ver figura 8). Para una vía de primera clase con tipo de terreno plano se tiene un rango de velocidad de diseño de 60km/h a 100km/h, por lo tanto según el estudio de velocidades el percentil 85 del tramo en evaluación es de

73.39km/h (ver tabla 25), en consecuencia se considerará como velocidad de diseño 80km/h.

- **Diseño geométrico.** Del tramo curvo en estudio se determinará todos sus elementos necesarios para el rediseño.

Figura 76

Elementos de curva para el rediseño



Donde:

- P.C.: Es el punto donde inicia la curva para el rediseño.
- P.T.: Es el punto de tangencia de la curva.
- P.I. : Es el punto de intersección de las tangentes de la curva.
- M : Longitud entre puntos medios de la curva y la cuerda (ordenada media).
- E : Distancia entre el punto medio de la curva hasta el P.I. (distancia externa).
- R : Es la medida del radio de curva.
- L : Es la longitud de la curva (entre P.C y P.T.).
- T : Son longitudes de la subtangente (P.C. a P.I. y P.I. a P.T.).
- L.C : Es la longitud de la cuerda (entre P.C y P.T.).
- Δ : Es el ángulo de deflexión, en grados sexagesimales.

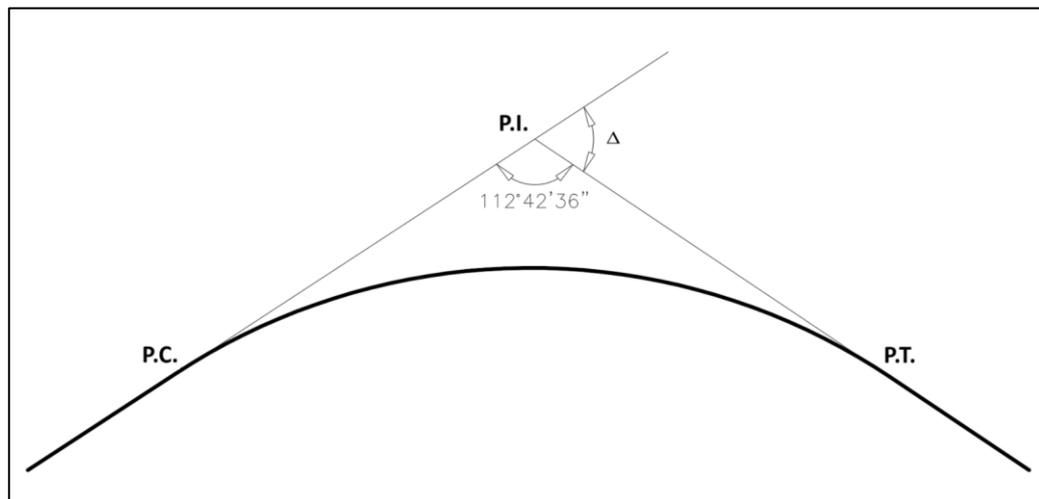
Fórmulas para la determinación de los elementos de curva:

$$R_{\text{mín}} = V^2 / [127(P_{\text{max}} + f_{\text{max}})]$$

- $T = R \tan \Delta / 2$
- $L.C. = 2R \text{ Sen } \Delta / 2$
- $L = 2\pi R(\Delta / 360)$
- $M = R [1 - \text{Cos}(\Delta/2)]$
- $E = R [\text{Sec}(\Delta/2) - 1]$
- **Cálculo del ángulo de deflexión (Δ).** Para el cálculo consideraremos el alineamiento de las tangentes del levantamiento topográfico.

Figura 77

Alineamiento de rectas tangentes a la curva de estudio



Entonces el ángulo de deflexión es:

$$\Delta = 180^{\circ}00'00'' - 112^{\circ}42'36''$$

$$\Delta = 67^{\circ}17'24''$$

- **Determinando el radio de la curva (R).** Para calcular el radio mínimo se utilizará la fórmula que se describe a continuación:

$$R_{\text{mín}} = \frac{V^2}{127(P_{\text{max}} + f_{\text{max}})}$$

Donde:

- $R_{\text{mín}}$: Es el radio mínimo que se plantea para el rediseño, en metros



- V : Es la velocidad de diseño, expresado en Km/h
- $P_{\text{máx}}$: Es el peralte máximo vinculada a la velocidad (en tanto por uno).
- $f_{\text{máx}}$: Es el coeficiente de fricción transversal máximo vinculada a la velocidad.

Para un $P_{\text{máx}}$ y $f_{\text{máx}}$ correspondiente a una zona rural y de terreno plano, se tomará valores según establece la norma DG-2018 (ver tabla 6).

Por lo tanto: $P_{\text{máx}} = 8\%$ y $f_{\text{máx}} = 0.14$

$$R_{\text{mín}} = \frac{80^2}{127(0.08 + 0.14)}$$

$$R_{\text{mín}} = 229.06 \text{ m} \approx 230 \text{ m}$$

De acuerdo con el levantamiento topográfico, el radio de la curva analizada es de 204 metros, lo que no cumple con los requisitos establecidos por la norma DG-2018.

- **Determinando la longitud de la tangente (T).**

$$T = R \times \text{Tan} \left(\frac{\Delta}{2} \right)$$

$$T = 230 \times \text{Tan} \left(\frac{67^{\circ}17'24''}{2} \right)$$

$$T = 153.17 \text{ m}$$

- **Determinando la longitud de la cuerda (L.C.).**

$$L.C. = 2 \times R \times \text{Sen} \left(\frac{\Delta}{2} \right)$$

$$L.C. = 2 \times 230 \times \text{Sen} \left(\frac{67^{\circ}17'24''}{2} \right)$$

$$L.C. = 254.98 \text{ m}$$

- **Determinando la longitud de curva (L).**

$$L = 2 \times \pi \times R \times \frac{\Delta}{360^{\circ}}$$



$$L = 2 \times \pi \times 230 \times \frac{67^{\circ}17'24''}{360^{\circ}}$$

$$L = 270.26 \text{ m}$$

- **Determinando la longitud de la ordenada media (M).**

$$M = R \times \left[1 - \cos \left(\frac{\Delta}{2} \right) \right]$$

$$M = 230 \times \left[1 - \cos \left(\frac{67^{\circ}17'24''}{2} \right) \right]$$

$$M = 38.57 \text{ m}$$

- **Determinando la distancia externa (E).**

$$E = R \times \left[\sec \left(\frac{\Delta}{2} \right) - 1 \right]$$

$$E = 230 \times \left[\sec \left(\frac{67^{\circ}17'24''}{2} \right) - 1 \right]$$

$$E = 46.34 \text{ m}$$

- **Ancho mínimo de la calzada y la berma.** La DG-2018 indica que, para una carretera de primera clase, de terreno plano y una velocidad de diseño 80km/h, el ancho mínimo de la calzada (ver tabla 6) es de 7.20m y el ancho mínimo de la berma (ver tabla 7) es de 3.00m.
- **Calculando el peralte de la curva.** Para determinar el peralte de la curva bajo el criterio de seguridad contra los deslizamientos, se usará la siguiente fórmula:

$$p = \frac{V^2}{127 \times R} - f$$

Donde:

p: Es el peralte máximo vinculado a la velocidad de diseño (%).

V: Es la velocidad de diseño (km/h).

R: Es el radio mínimo absoluto (m).



f : Es el coeficiente de fricción lateral máximo vinculado a V .

Para $f_{\text{máx}} = 0.14$ (ver tabla 5)

$$p = \frac{80^2}{127 \times 230} - 0.14$$

$$p = 7.9\% \approx 8\%$$

- **Calculando la transición del peralte.** Según el manual DG-2018 indica utilizar la siguiente fórmula:

$$L_{\text{mín}} = \frac{p_f - p_i}{ip_{\text{máx}}} \times B$$

$$ip_{\text{máx}} = 1.8 - 0.01 \times V$$

Donde:

p_f : Peralte final (peralte máximo) con su signo, en (%)

p_i : Peralte inicial (bombeo) con su signo, en (%)

B : Longitud del límite de la calzada al eje de giro del peralte (m)

$$ip_{\text{máx}} = 1.8 - 0.01 \times 80$$

$$ip_{\text{máx}} = 1\%$$

$$L_{\text{mín}} = \frac{p_f - p_i}{ip_{\text{máx}}} \times B$$

$$L_{\text{mín}} = \frac{8\% - (-2.5\%)}{1\%} \times 3.60$$

$$L_{\text{mín}} = 37.80 \text{ m} \approx 38.00 \text{ m}$$

Para la longitud de transición del peralte en tangente (LTT), según la DG-2018 indica lo siguiente:

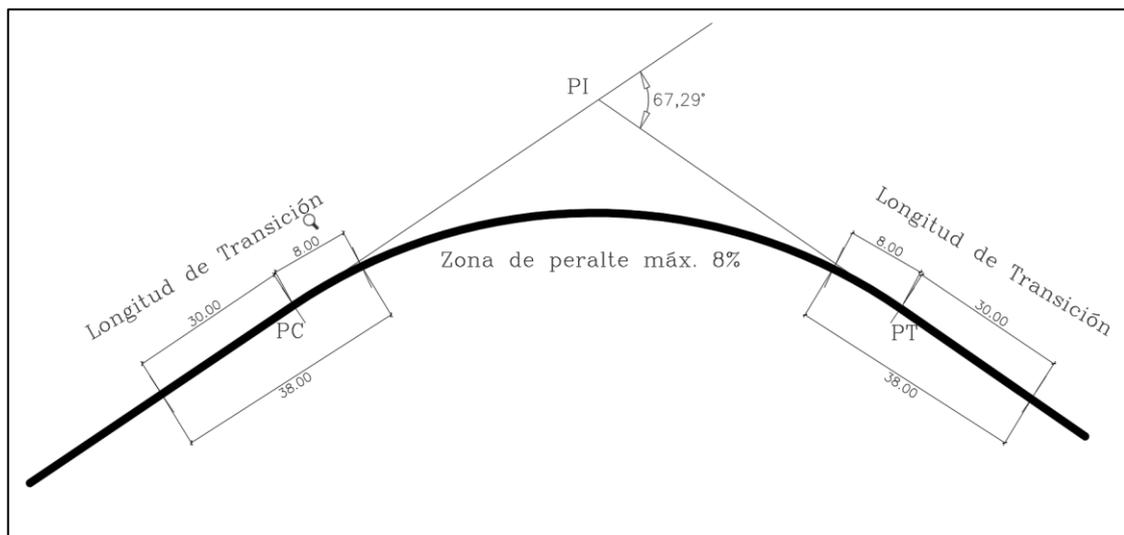
$$\text{Si } p_f > 7\% \rightarrow LTT = 80\% L_{\text{mín}}$$

$$LTT = 80\% \times 38 \text{ m}$$

$$LTT = 30.40 \text{ m} \approx 30.00 \text{ m}$$

Figura 78

Longitud de transición del peralte en curva



- **Calculando el sobreancho de la curva.** Para determinar el sobreancho de la curva bajo el criterio de compensar mayor espacio entre los carriles curvos, según el manual DG-2018 se utilizará la siguiente fórmula:

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

Donde:

Sa : Es el sobreancho, en (m)

n : Es el número de carriles

R : Es el radio de la curva, en (m)

L : Distancia entre eje posterior y parte frontal “veh. B2”, en (m)

V : Es la velocidad de diseño, en (km/h)

$$Sa = 2 \left(230 - \sqrt{230^2 - 10.55^2} \right) + \frac{80}{10\sqrt{230}}$$

$$Sa = 1.01 \text{ m}$$

Para calzadas en tangente de 7.20m, se debe multiplicar por un factor de reducción del sobreebanco según indica la DG-2018 (pág. 162). Para un radio de curva de 230m corresponde un factor de reducción de 0.33.

Por lo tanto:

$$Sa = 0.33 \times 1.01 \text{ m}$$

$$Sa = 0.33 \text{ m}$$

Sin embargo, la DG-2018 (pág. 162), menciona que el sobreebanco mínimo a considerar es de 0.40 m, por lo que el sobreebanco (Sa) será:

$$Sa = 0.40 \text{ m}$$

- **Transición del sobreebanco.** Según el manual DG-2018 indica que el sobreebanco se desarrollará en la longitud de transición del peralte y además solo se aplicará al carril interior.

Figura 79

Sobreebanco calculado de la vía

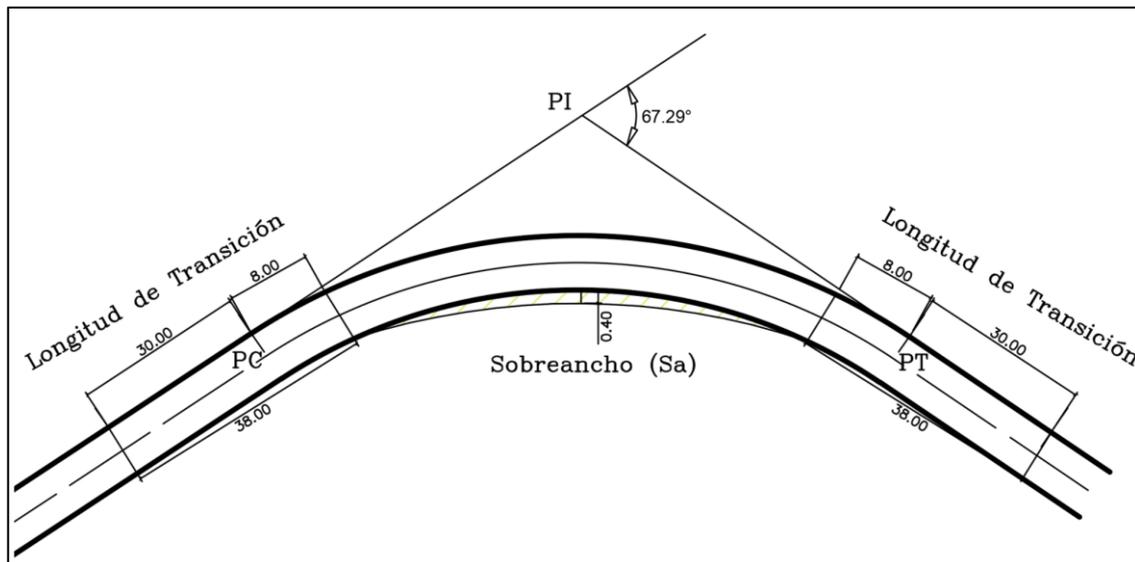


Tabla 38

Resumen de propuesta de elementos geométricos en curvas críticas de accidentes de tránsito

| PI | Tramo | Δ (°) | R (m) | T (m) | L.C. (m) | L (m) | M (m) | E (m) | P.C. | P.T. | Peralte | Sobreancho |
|-------|-------|-----------------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|-------------|-------------|---------|------------|
| PI-1 | T 3 | 23°57'06" | 230 | 48.79 | 95.45 | 96.15 | 5.01 | 5.12 | Km 1366+465 | Km 1366+561 | 8% | 0.40 |
| PI-2 | T 8 | 22°16'25" | 450 | 88.59 | 173.84 | 174.94 | 8.47 | 8.64 | Km 1371+238 | Km 1371+412 | 2% | 0.40 |
| PI-3 | T 10 | 41°05'26" | 400 | 149.91 | 280.76 | 286.86 | 25.44 | 27.17 | Km 1373+120 | Km 1373+400 | 2% | 0.40 |
| PI-4 | T 12 | 67°17'24" | 230 | 153.17 | 254.98 | 270.26 | 38.57 | 46.34 | Km 1374+813 | Km 1375+083 | 8% | 0.40 |
| PI-5 | T 12' | 71°22'35" | 300 | 215.48 | 350.02 | 373.73 | 56.34 | 69.37 | Km 1375+525 | Km 1375+899 | 3% | 0.40 |
| PI-6 | T 13 | 83°14'53" | 280 | 248.81 | 371.97 | 406.83 | 70.69 | 94.57 | Km 1376+291 | Km 1376+698 | 4% | 0.40 |
| PI-7 | T 17 | 22°48'52" | 485 | 97.86 | 191.85 | 193.12 | 9.58 | 9.77 | Km 1380+403 | Km 1380+596 | 2% | 0.40 |
| PI-8 | T 24 | 45°51'06" | 500 | 211.47 | 389.54 | 400.13 | 39.49 | 42.88 | Km 1387+096 | Km 1387+496 | 2% | 0.40 |
| PI-9 | T 25 | 18°13'23" | 1092 | 175.13 | 345.85 | 347.31 | 13.78 | 13.95 | Km 1388+292 | Km 1388+639 | 2% | 0.40 |
| PI-10 | T 29 | 40°57'23" | 500 | 186.73 | 349.85 | 357.41 | 31.60 | 33.73 | Km 1392+296 | Km 1392+653 | 2% | 0.40 |

Donde: Δ es el ángulo de deflexión, R es el radio de la curva, T es la longitud de tangente, L.C. es la longitud de la cuerda, L es la longitud de la curva, M es la longitud entre los puntos medios de la curva y cuerda, E es la distancia entre el punto medio de la curva hasta el P.I., P.C. es el punto donde inicia la curva, P.T. es el punto de tangencia de la curva.

4.5.4 Propuesta económica para pavimento reciclado en tramo con baches

De acuerdo con el inventario vial realizado en esta investigación (ver Anexo 7), se identificaron tramos críticos en condiciones de mala transitabilidad. Por esta razón, se ha elaborado una propuesta económica para la reparación de estos tramos críticos.

Figura 80

Presencia de baches en el ingreso a Ilave



Figura 81

Presencia de baches en Plateria



Para la propuesta económica, se llevó a cabo un Análisis de Costos Unitarios (ACU) de las partidas que más inciden en la ejecución de la reparación del pavimento. Este análisis, detallado en el Anexo 8, se elaboró considerando un tramo de 01 kilómetro de longitud.

Según Yanapa (2024) en su tesis titulada "Evaluación del porcentaje de pavimento asfáltico reciclado para el diseño de mezcla asfáltica en caliente, tramo Plateria - Acora 2022", se establece que los porcentajes del 40% y 50% de pavimento reciclado cumplen con los parámetros establecidos por la norma MTC-2013. Además, propone una evaluación de costos para el 50% de pavimento reciclado (ver tabla 39).

Tabla 39

Análisis de los precios al 50% de material reciclado

| COSTO CON UN 50% DE RECICLADO | | | | | |
|-------------------------------|----------------|-----------|-------------------------------------|--------|---------------|
| Descripción Insumo | Unidad | Cuadrilla | Costo unitario por m ³ : | | Parcial |
| | | | Cantidad | Precio | |
| Materiales | | | | | |
| pedra de 3/4" | m ³ | | 0.30 | 40.29 | 12.25 |
| arena chancada | m ³ | | 0.15 | 40.00 | 6.08 |
| Arena natural | m ³ | | 0.03 | 23.71 | 0.73 |
| filler | kg | | 17.12 | 0.70 | 11.98 |
| asfalto liquido pen 120/150 | gln | | 9.44 | 13.00 | 122.67 |
| capa asfáltica reciclado | m ³ | | 0.50 | 117.00 | 58.97 |
| | | | | | 212.68 |
| equipo | | | | | |
| cargador | HM | 1.00 | 0.03 | 190.00 | 0.06 |
| planta de asfalto | HM | 1.00 | 0.03 | 950.00 | 0.30 |
| | | | | | 0.36 |

Nota: Extraído de (Yanapa, 2024, p. 138)

Rojas (2022) en su tesis "Técnicas de reutilización del fresado de asfalto para optimizar costos en pavimentos urbanos", destaca que el empleo de pavimento asfáltico reciclado reduce los costos en comparación con el uso de materiales nuevos. Los ahorros más significativos se observan durante las fases

de traslado de tierras y transporte. Además, propone una evaluación de los costos de las partidas que más inciden en este proceso (ver tabla 40).

Tabla 40

Presupuesto de la carpeta asfáltica reciclada

| ITEM | PARTIDA | UNIDAD | METRADO | PU | PARCIAL |
|---------------|---|--------|---------|----------|----------|
| 1 | OBRAS PROVISIONALES | | | | 2,000.00 |
| 1.1 | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | GLB | 1.00 | 2,000.00 | 2,000.00 |
| 2 | MOVIMIENTO DE TIERRA | | | | 1,625.00 |
| 2.1 | DEMOLICION Y REMOCION DEL PAVIMENTO EXISTENTE (CON FRESADORA A 1") | M2 | 250.00 | 6.50 | 1,625.00 |
| 3 | PAVIMENTOS | | | | 3,061.75 |
| 3.1 | IMPRIMACION | M2 | 250.00 | 2.12 | 530.00 |
| 3.2 | REPOSICION DE CARPETA ASFALTICA CON MEZCLA DE ASFALTO RECICLADO EN FRIO | M3 | 12.50 | 202.54 | 2,531.75 |
| 4 | TRANSPORTE | | | | 582.00 |
| 4.1 | TRANSPORTE DE RECICLADO ASFALTICO | M3/KM | 75.00 | 7.76 | 582.00 |
| 5 | SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL | | | | 533.94 |
| 5.1 | SEÑALES PREVENTIVAS | UND | 3.00 | 177.98 | 533.94 |
| COSTO DIRECTO | | | | | 7,802.69 |

Nota: Extraído de (Rojas, 2022, p. 67)

El Gobierno Regional Puno (2019) en su proyecto denominado “Mejoramiento de carretera Azangaro-Saytocochoa-Sandia San Juan del Oro”, incluye un presupuesto detallado y un análisis de los costos unitarios para la partida 08.07.00 Demarcación en el pavimento, como se detalla en la tabla 41.

Tabla 41

Análisis de costos unitarios de demarcación en el pavimento

| Partida | 08.07.00 | DEMARCAACION EN EL PAVIMENTO | | | | | |
|--------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|----------|--------|---------|--|
| Rendimiento | 800.000 | M2/DIA | Costo unitario directo por : M2 | | | 7.20 | |
| Código | Descripción Insumo | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| 470102 | OPERARIO | HH | 2.00 | 0.0200 | 7.07 | 0.14 | |
| 470104 | PEON | HH | 8.00 | 0.0800 | 6.03 | 0.48 | |
| Materiales | | | | | | | |
| 530333 | SOLVENTE | GLN | | 0.0100 | 15.97 | 0.16 | |
| 540236 | PINTURA ESMALTE PARA TRAFICO | GLN | | 0.1100 | 54.62 | 6.01 | |
| Equipos | | | | | | | |
| 370101 | HERRAMIENTAS MANUALES | %MO | | 3.0000 | 0.62 | 0.02 | |
| 480866 | MAQUINA PARA PINTAR PAVIMENTO | HM | 1.00 | 0.0100 | 38.60 | 0.39 | |
| | | | | | | 0.41 | |

Nota: Extraído del ACU (Gobierno Regional Puno, 2019, p. 47)

De acuerdo a la Municipalidad provincial de San Roman – Juliaca (2019) en su proyecto denominado “Renovacion de infraestructura del transporte; en el(la) jr. Inca Garcilazo, jr. Jauregui, jr. Cusco, jr. San Roman, jr. San Martin, jr. Union, jr. Calixto arestegui, jr. Mariano Nuñez b., jr. Noriega del distrito de Juliaca, provincia de San roman, departamento de Puno”, incluye un presupuesto detallado y un análisis de los costos unitarios para la partida 07.01.03 Pintura en pavimetno, como se muestra en la tabla 42.

Tabla 42

Análisis de costos unitarios de pintura en pavimento

| 07.01.03 PINTURA EN PAVIMENTO | | | | | |
|-------------------------------|-------------|-------------|-----------------------|-----------|-------------|
| Rendimiento | MO: 50.0000 | EQ: 50.0000 | Costo unitario por m: | 5.44 | |
| Descripción de Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Presio S/ | Parcial S/ |
| Mano de Obra | | | | | |
| Operario | hh | 1.0000 | 0.1600 | 13.87 | 2.22 |
| Peón | hh | 0.5000 | 0.0800 | 9.60 | 0.77 |
| | | | | | 2.99 |
| Materiales | | | | | |
| Pintura para Tráfico | gln | | 0.0134 | 45.00 | 0.60 |
| Thiner | gln | | 0.0111 | 15.00 | 0.17 |
| | | | | | 0.77 |
| Equipos | | | | | |
| Equipo de pintura | hm | 1.0000 | 0.1600 | 10.50 | 1.68 |
| | | | | | 1.68 |

Nota: Extraído del ACU (Municipalidad provincial de San Roman, 2019, p. 12)

Según la información proporcionada por PROVIAS Nacional (2011), y en calidad de consultor, el Consorcio Motlima – Eli Córdova, se desarrolló el proyecto “Estudio definitivo del mejoramiento y construcción de la carretera Ruta 10, tramo: Huamachuco - Puente Pallar - Juanjui”. En este marco, se elaboraron el presupuesto y el análisis de costos unitarios correspondientes a la partida 805.B Tacha retroreflectiva, como se detalla en la tabla.

Tabla 43*Análisis de costos unitarios de tacha retrorreflectiva*

| 805.B | | TACHA RETRORREFLECTIVA | | | |
|------------------------|-------------|------------------------|-------------------------|-----------|-------------|
| Rendimiento | MO: 50.0000 | EQ: 50.0000 | Costo unitario por und: | 13.54 | |
| Descripción de Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Presio S/ | Parcial S/ |
| Mano de Obra | | | | | |
| Capataz | hh | 0.2000 | 0.0320 | 18.44 | 0.59 |
| Operario | hh | 1.0000 | 0.1600 | 14.75 | 2.36 |
| Peón | hh | 2.0000 | 0.3200 | 11.58 | 3.71 |
| | | | | | 6.66 |
| Materiales | | | | | |
| Pegamento Epóxico | kg | | 0.0100 | 38.43 | 0.38 |
| Tacha | und | | 1.0000 | 6.17 | 6.17 |
| | | | | | 6.55 |
| Equipos | | | | | |
| Herramientas manuales | %MO | | 5.0000 | 6.66 | 0.33 |
| | | | | | 0.33 |

Nota: Extraído del análisis de costos unitarios (PROVIAS Nacional, 2011, p. 24)

Para la propuesta económica de este estudio, se considera utilizar un 50% de pavimento reciclado, siguiendo las recomendaciones de Yanapa (2024) para el tramo objeto de investigación. Además, se adoptará la especificación de pintura en pavimento utilizada por la Municipalidad Provincial de San Román (2019) como referencia cercana. Finalmente, para la instalación de tachas retrorreflectivas, se tomarán en cuenta las especificaciones de PROVIAS Nacional (2011).

A continuación se muestra el cuadro resumen de la propuesta económica para la reparación del pavimento, considerando una longitud de 1 kilómetro.



Tabla 44

Propuesta económica para la reparación del pavimento

| CÓD. | DESCRIPCIÓN | UND. | METRADO | A.C.U | S/ | PRECIO | S/ |
|--------------------|---|------|---------|--------|----|-----------|------------------|
| 01.00 | PAVIMENTO RECICLADO A UN 50% | m3 | 70.00 | 251.34 | | 17593.84 | |
| 02.00 | SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL, PINTURA AMARILLA | m | 42.00 | 5.59 | | 234.73 | |
| 03.00 | SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL, PINTURA BLANCA | m | 1000.00 | 5.59 | | 5588.70 | |
| 04.00 | REPOSICIÓN DE TACHA RETRORREFLECTIVA | und | 250.00 | 12.46 | | 3115.30 | |
| COSTO TOTAL | | | | | | S/ | 26,532.56 |

Según la Tabla 44 el costo directo total estimado para un kilómetro de longitud es de S/ 26,532.56 (veintiséis mil quinientos treinta y dos con 56/100 soles).



V. CONCLUSIONES

De acuerdo con el reporte policial, del total de los accidentes de tránsito, el 50% fueron mortales, el 45% graves y el 5% leves. Según el método de control de calidad de la tasa de accidentes de alta peligrosidad, se localizaron 5 puntos críticos en la vía Puno - Ilave entre los años 2021 y 2022. Esta evaluación demuestra que los accidentes de tránsito no solo son atribuibles a la imprudencia de los conductores, sino también a otros factores como el deficiente diseño geométrico, el mal estado de la vía y la insuficiencia de señalización.

- Las deficiencias en las características de diseño geométrico, tales como el ancho de la calzada, el ancho de la berma, el peralte en las curvas y los tramos rectos, tienen una notable influencia en los accidentes de tránsito en la vía Puno – Ilave. Se pudo verificar que el 55% de los accidentes ocurrieron en tramos rectos y el 45% en tramos curvos. En cuanto a los elementos geométricos en curva, el 30% no cumple con el radio ni el peralte exigidos, y el 100% no alcanza el ancho mínimo de la calzada ni de la berma. Además, se constató que todas las curvas carecen de sobreancho, a pesar de ser necesario debido a los tipos de vehículos que transitan en la vía. En los tramos rectos, el 73% no cumple con la tangente máxima, y el 100% tampoco cumple con el ancho mínimo de la calzada ni de la berma, según lo establecido por la norma DG-2018.
- La rugosidad del pavimento, medida con el instrumento Merlin, no incide en los accidentes de tránsito en la vía Puno – Ilave. Según la evaluación realizada, se verificó que todos los valores del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en cada tramo son menores que 4 m/km, lo cual es permisible según lo establecido por la norma EG-2013. Sin embargo, Lavaud (2011) señala que si los valores del IRI



superan los 1.61 m/km, estos altos valores pueden incrementar significativamente los accidentes de tránsito, ya que obligan a los conductores a realizar maniobras peligrosas o a desequilibrar su vehículo al tener que esquivar irregularidades en el pavimento.

- Las deficiencias que presentan los dispositivos de control de tránsito en la vía Puno – Ilave son: el desgaste notable de las líneas marcadas en el pavimento, como los trazos del borde y del eje de la vía, y a la falta de tachas reflectivas a lo largo de la mayor parte de la vía. Además, se observa una carencia generalizada de señalizaciones relacionadas con el control de velocidades, incluidas señales de restricción, así como señalizaciones preventivas adecuadas para la zona, como las que advierten sobre la presencia de animales, zonas urbanas y escolares. Con respecto a los reductores de velocidad, en muchos tramos es necesaria su instalación, mientras que en otros están muy desgastados, casi planos, o mal ubicados, lo que conduce a un manejo inapropiado de las velocidades.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios más exhaustivos que incluyan investigaciones sobre la concentración de accidentes de tránsito en la región de Puno. Esto permitirá crear un mapa detallado de los lugares críticos que puedan ser evaluados posteriormente con el objetivo de disminuir o reducir la tasa de accidentes.
- Basado en el análisis del flujo vehicular y la evaluación del diseño geométrico actual, se recomienda una modificación en las especificaciones de la infraestructura vial para incrementar el ancho de la calzada a 7.20 m y el ancho de la berma a 3.00 m a lo largo de toda la vía en estudio según la norma DG-2018, con el objetivo de optimizar la capacidad y seguridad del tránsito.
- Se sugiere la implementación de evaluaciones detalladas del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para analizar su correlación estadística con la incidencia de siniestros viales, con el objetivo de desarrollar estrategias efectivas de mitigación y mejora en la infraestructura vial.
- Con base en el inventario de dispositivos de control de tránsito de la vía, se recomienda a las entidades involucradas que implementen medidas de prevención y realicen mantenimientos periódicos y/o rutinario en la vía.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, L. V. (2019). *Análisis de las características geométricas de la vía Puno Laraqueri que inciden en accidentes de tránsito en relación a las características geométricas de la normatividad vigente*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12679>
- Asprilla Lara, Y., García De Quevedo, F., & González Pérez, M. G. (2017). Señalización y seguridad vial en buses de tránsito rápido: el transmilenio en Bogotá. *Infraestructura Vial*, 19(33), pp. 15-25. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-37052017000100015&script=sci_arttext
- Berardo, M. G., Baruzzi, A., Vanoli, G., Freire, R., Tartabini, M., & Dapás, O. (2008). *Identificación de tramos de concentración de accidentes en rutas nacionales de la Provincia de Córdoba*. (U. N. Córdoba, Ed.) Argentina.
- Cadengo Ramírez, M., Casanova Zavala, W. A., & Mendoza Díaz, A. (2020). *Clasificación de las carreteras según su riesgo de siniestralidad vial considerando la interacción de sus elementos físicos, geométricos y operacionales*. México: Instituto Mexicano del Transporte,. Obtenido de <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt607.pdf>
- Chambi, J. V., & Suaña, C. A. (2017). *Identificación y evaluación de tramos de concentración de accidentes de tránsito en la vía Puno – Juliaca entre los años 2012 – 2016 y propuesta de acciones de mejora para su prevención*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/6564>
- Cubillaz Ramirez, C. L., Vicente Trujilio, J. M., & Sagastume Bautista, I. A. (2015). *Factores de riesgo de accidentes de tránsito en conductores de vehículos motorizados de cuatro ruedas*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3512/1/TESIS.pdf>



- Cusi, W. R. (2021). *Identificación y evaluación de tramos de concentración de accidentes de tránsito en la vía evitamiento de Cusco*. Universidad Peruana Unión. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12840/4499>
- Del Águila Rodríguez, P. (1999). *Metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos*. Lima.
- Diario el Correo. (28 de mayo de 2021). Policía murió en trágico accidente en la vía Juliaca-Rinconada. Obtenido de https://diariocorreo.pe/edicion/puno/policia-murio-en-tragico-accidente-la-via-juliaca-rinconada-noticia/#google_vignette
- DIVOPUS. (2023). *Registro de datos estadísticos sobre accidentes de tránsito en la vía Puno - Ilave entre los años 2021 y 2022*. Puno.
- Eduard Andres Perez Gutierrez y Jorge Mario Lastre. (2014). EVALUACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS DE ACCIDENTALIDAD VIAL EN LA CIUDAD DE SINCELEJO. doi:<https://hdl.handle.net/11227/1220>
- Elvik, R., Høy, E., Vaa, T., & Sørensen, M. (2013). *Manual de medidas de seguridad vial* (2da ed.). (J. Monclús, Trad.) Madrid: FUNDACIÓN MAPFRE.
- Gobierno Regional Puno. (2019). *Mejoramiento de carretera Azangaro - Saytococho - Sandia - San Juan del Oro*. Puno.
- Guillermo, D. (2018). *Mejoras en la seguridad vial con medidas de bajo costo*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/13044>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. P. (2014). *Metdología de la investigación 6ta edicion*. México: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.



- Hinojosa, R., Jiménez, P. L., Hernández, V., & Campos, J. (2012). Siniestralidad por accidentes de tránsito en México: Una aproximación desde el análisis espacial. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*, (4), pp. 291-309. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55088153/14-HINOJOSA-GEOSIG4-2012-libre.pdf?1511418958=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSINIESTRALIDAD_POR_ACCIDENTE_S_DE_TRANSIT.pdf&Expires=1705082722&Signature=Q4hdFZgl4hT7F9u4Kc53-boVugarBCTKVQ81J
- INEI. (2022). *Compendio estadístico*. Puno: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- Irureta, V. A. (2003). *Accidentología vial y pericia*. La Rocca S.R.L.
- Irureta, V. A. (2017). *Accidentología Vial Científica*. Cathedra Jurídica.
- ISO 39001. (2012). *Sistema de Gestión de la Seguridad Vial*.
- La República. (18 de agosto de 2022). Accidentes de tránsito en Puno dejaron 2 muertos y varios heridos. Obtenido de <https://larepublica.pe/sociedad/2022/08/18/accidentes-de-transito-en-puno-dejaron-2-muertos-y-varios-heridos-lrsd>
- Lavaud, P. (2011). *Importancia de la regularidad superficial (IRI) en la construcción de pavimentos asfálticos en caliente*. México.
- Malaga, H. (2010). Medidas y estrategias para la prevención y control de los accidentes de tránsito: experiencia peruana por niveles de prevención. *Rev. Perú. med. exp. salud pública [online]*, 27(2), pp. 231-236. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342010000200011&lng=es&nrm=iso
- Martinez, R., & Olivares, E. R. (2013). *Metodología para la atención de puntos críticos apra garantizar la seguridad vial en carreteras*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/9928>



- MITMA. (2014). *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes* (Vols. PG-03). España: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.
- MITMA. (2020). *Trazado. Norma 3.1-IC de la Instrucción de Carreteras* (1ra ed.). España: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Obtenido de https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/pdfhandler.pdf
- MOP. (2010). *Especificaciones Técnicas Generales de Construcción* (Vol. 5). Chile: Ministerio de Obras Públicas. Obtenido de https://www.cesmec.cl/medios/DIC/Documentos/VOL_5_DIC_2010.pdf
- MTC. (2009). *Texto Único Ordenado del Reglamento Nacional de Tránsito - Código de Tránsito*. Obtenido de <https://www.sutran.gob.pe/wp-content/uploads/2020/07/Decreto-Supremo-N%C2%B0-016-2009-MTC-C%C3%B3digo-de-Transito.pdf>
- MTC. (2013). *Especificaciones técnicas generales para la construcción EG-2013*. Obtenido de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20\(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%20](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%20)
- MTC. (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-05-14%20Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf



- MTC. (2016a). *Manual de dispositivos de control de tránsito automotor para calles y carreteras*. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-09-16%20Manual%20de%20Dispositivos%20de%20Control%20del%20Transito%20FINALIZADO_24%20Mayo_2016.pdf
- MTC. (2016b). *Manual de Inventarios Viales*. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-11-14%20Manual%20de%20Inventarios%20Viales_Aprobado%20y%20Parte%20IV%20Version%20Digital%20del%20Original_OK.pdf
- MTC. (2017). *Manual de Seguridad Vial*. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-10-17%20Manual_de_Seguridad_Vial_2017.pdf
- MTC. (2018). *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018*. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-02-18%20Dise%C3%B1o%20Geometrico%20DG-2018.pdf
- Ñaupas, H., Valdivia, M. R., Palacios, J. J., & Romero, H. E. (2018). *Metodología de la Investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis* (Vol. Quinta edición). Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Ochoa, J., & Yunkor, Y. (2021). *El estudio descriptivo en la investigación científica* (Vol. Vol. 2 Núm. 2 (2019): ACTA JURIDICA PERUANA). Obtenido de <http://201.234.119.250/index.php/AJP/article/view/224>
- Onda Azul. (27 de diciembre de 2023). Puno: choque frontal de dos unidades vehiculares deja varios heridos. Obtenido de <https://radioondaazul.com/puno-choque-frontal-de-dos-unidades-vehiculares-deja-varios-heridos/>



- Organización Mundial de la Salud OMS. (2023). *Traumatismos causados por el tránsito*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries#:~:text=La%20OMS%20act%C3%BAa%20como%20secretar%C3%A1Da,menos%20un%2050%25%20para%202030>.
- Ortiz Valverde, J. R. (2015). *Investigación de accidentes de tránsito*. Perú. Obtenido de https://www.mpfm.gob.pe/escuela/contenido/actividades/docs/3970_exposicion_de_accidentes_de_transito_jose_ortiz.pdf
- Pachamama Radio. (10 de junio de 2018). Accidente en Ilave. Obtenido de <https://www.facebook.com/100064548228601/posts/2126243137646309/>
- Pampamallco, M. R., & Huaquisto, G. J. (2020). *Ubicación y evaluación de los puntos negros en la vía Juliaca - Marangani entre los años 2013-2018 y formulación de un plan de mitigación para su prevención*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18468>
- Perez, E. A., & Lastre, J. M. (2014). *Evaluación de puntos críticos de accidentalidad vial en la ciudad de Sincelejo*. Colombia: Universidad de Cartagena. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11227/1220>
- Perú 21. (18 de agosto de 2013). Camión impactó contra la parte posterior de bus interprovincial de la empresa La Veloz. Al menos 40 personas resultaron heridas. Obtenido de <https://archivo.peru21.pe/amp/actualidad/puno-accidente-vehicular-deja-tres-muertos-2145171>
- Polcía Nacional de Colombia. (2017). Seguridad Vial y Procesos Psicológicos: Acciones Preventivas. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 8(2), 3. doi:<https://doi.org/10.22335/rict.v8i2.362>
- Policia Nacional del Perú . (2020). *Manual de Normas y Procedimientos para las Intervenciones de Prevención e Investigación de Accidentes de Tránsito*. Perú.
- Policia Nacional del Perú. (2021). *Anuario Estadístico Policial*. Puno.



- PROVIAS Nacional. (2011). *Estudio definitivo del mejoramiento y construcción de la carretera Ruta 10, tramo: Huamachuco - Puente Pallar - Juanjui*. La Libertad. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12543/5218>
- Reyes Trigos, Y. E. (2021). *Influencia de la Señalización Vial en los Accidentes de Tránsito en el Distrito de Huancayo – Junín*. 2019. Junin: Universidad Peruana los Andes. Obtenido de <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/3046>
- Rojas Vivanco, P. E. (2022). *Técnicas de reutilización del fresado de asfalto para optimizar costos en pavimentos urbanos*. Lima: Universidad Ricardo Palma. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/6408/T030_73076803_T%20PAMELA%20EMILY%20ROJAS%20VIVANCO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- RPP. (17 de febrero de 2017). Ilave: camioneta de Redess Puno atropella y mata a una persona. Obtenido de <https://rpp.pe/peru/puno/ilave-vehiculo-de-redess-puno-atropella-y-mata-a-una-persona-noticia-1031659>
- SCT. (2011). *Prácticas para evaluar la calidad de infraestructura carretera de cuota*. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Obtenido de <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt353.pdf>
- SCT. (2018). *Manual de proyectos geométricos de carreteras* (2da ed.). México: Secretaria de Comunicaciones y Transportes. Obtenido de <https://www.rosarito.gob.mx/ix-transparencia/archivo/2021-12/manual-del-proyecto-geometrico-de-carreteras,-2018.pdf>
- Suca, N. L. (2014). *Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica en Ingeniería Civil* (Vol. Primera edición). Puno, Perú: Sagitario Impresores.
- Vargas, W. E., Mozo, E., & Herrera, E. (2014). Análisis de los puntos más críticos de accidentes de tránsito en Bogotá. *Revista de Topografía AZIMUT*, (4), pp 61-67. Obtenido de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/azimut/article/view/5741>



Yanapa Layme, F. E. (2024). *Evaluación del porcentaje de pavimento asfáltico reciclado para el diseño de mezcla asfáltica en caliente, tramo Plateria - Acora 2022*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/21493>



ANEXOS

ANEXO 1: Aforo vehicular.

ANEXO 2: Reporte de accidentes de tránsito DIVOPUS PNP PUNO.

ANEXO 3: Estudio de velocidades.

ANEXO 4: Levantamiento topográfico.

ANEXO 5: Cuadro resumen de elementos geométricos.

ANEXO 6: Cuadro de registros del IRI.

ANEXO 7: Inventario vial en los puntos críticos.

ANEXO 8: Propuesta económica A.C.U.

ANEXO 9: Planos



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Gustian Bunin Quispe Huamacuni
identificado con DNI 72432063 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
"LOCALIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS DE ACCIDENTES
DE TRÁNSITO EN LA VÍA PUNO-ILAVE ENTRE LOS AÑOS 2021-2022 Y
PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS"

Es un tema original.


Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 02 de mayo del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Cristian Bunin Quispe Huanacuni
identificado con DNI 72432063 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"LOCALIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN LA VÍA PUNO-LLAVE ENTRE LOS AÑOS 2021-2022 Y PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.


En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia: Creative

Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 02 de mayo del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella