



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Evaluación de la seguridad vial del camino de montaña
EMP. PE 3S - Pumamarca - EMP. CU 1105 de la provincia
de Cusco - Perú.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Transporte, Territorio y Urbanismo

AUTOR/A: Quispe Mejia, Jose Luis

Tutor/a: Pérez Zuriaga, Ana María

Cotutor/a: Camacho Torregrosa, Francisco Javier

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Evaluación de la seguridad vial del camino de montaña
EMP. PE 3S - Pumamarca - EMP. CU 1105 de la provincia
de Cusco Perú.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Transporte, Territorio y Urbanismo

AUTOR: Quispe Mejía, José Luis

Tutor/a: Pérez Zuriaga, Ana María

Cotutor: Camacho Torregrosa Francisco Javier

CURSO ACADÉMICO: 2023-2024



DEDICATORIA

. A mis padres Gerardo y Paulina, quienes me impartieron y criaron con valores para ser una persona de bien, a mi novia Nadia por ser testigo de este trabajo arduo, por sus consejos y por estar presente en cada momento difícil de mi vida.

A mis hermanos Johan y Nayeli, quienes confían en mi plenamente y me motivan a diario para seguir adelante.



AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios, por darme vida, salud y la oportunidad de poder alcanzar mis objetivos trazados. A mis seres queridos, por confiar y darme el apoyo incondicional durante todo este proceso de estudio.

También agradecer a los profesores de la Universidad Politécnica de Valencia, Dres. Javier Camacho y David Llopis, quienes con su aporte a la rama de caminos me inspiraron a poder llegar a esta casa de estudios y seguir nutriéndome académicamente y poder así aportar con un granito en la seguridad vial de mi país.



ÍNDICE

| | |
|---|----|
| ÍNDICE DE TABLA | 7 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 9 |
| RESUMEN | 12 |
| ABSTRACT | 14 |
| RESUM | 16 |
| INTRODUCCIÓN | 18 |
| CAPITULO I.- GENERALIDADES | 19 |
| 1.1. ANTECEDENTES | 19 |
| 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 19 |
| 1.3. OBJETIVOS | 20 |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL | 20 |
| 1.3.2. OBJETIVO ESPECIFICOS | 20 |
| 1.4. METODOLOGÍA | 20 |
| 1.5. ALCANCE DEL PROYECTO | 21 |
| 1.5.1. APORTE DEL PROYECTO | 22 |
| 1.5.2. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO | 22 |
| CAPITULO II.- ESTADO DEL ARTE | 23 |
| 2.1. RECUENTO HISTÓRICO DE FALLECIDOS EN SINIESTROS DE TRÁNSITO FATALES ENTRE LOS AÑOS 2010 Y 2021 CIFRAS REGIÓN CUSCO | 23 |
| 2.1.1. TASA DE FALLECIDOS POR 100 MIL HABITANTES | 24 |
| 2.1.2. VULNERABILIDAD FRENTE A SINIESTROS DE TRÁNSITO SEGÚN REGIÓN. | 25 |
| 2.1.3. VULNERABILIDAD FRENTE A SINIESTROS DE TRÁNSITO SEGÚN TIPO DE VÍA | 26 |
| 2.1.4. IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE ALTA SINIESTRALIDAD (PAS) | 27 |
| 2.2. CONCEPTO DE SEGURIDAD VIAL | 29 |
| 2.3. ACCIDENTE DE TRANSITO | 30 |
| 2.4. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL SINISTRO O CHOQUE | 30 |
| 2.4.1. TIPOS DE SINIESTROS DE TRANSITO | 32 |
| 2.5. DISEÑO DE CARRETERAS | 39 |
| 2.5.1. CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS | 39 |
| 2.5.2. CRITERIOS Y CONTROLES PARA EL DISEÑO DE ACUERDO AL DG-2018 | 42 |
| 2.5.3. NIVELES DE ESTUDIOS PRELIMINARES | 42 |
| 2.5.4. CRITERIOS BÁSICOS | 42 |
| 2.6. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS PROYECTOS VIALES | 43 |
| 2.7. CONCEPTO DE LA VELOCIDAD | 44 |



| | | |
|---|---|----|
| 2.7.1. | VELOCIDAD DE DISEÑO | 45 |
| 2.7.2. | VELOCIDAD DE OPERACIÓN | 46 |
| 2.7.3. | VELOCIDAD DE OPERACIÓN INERCIAL..... | 48 |
| 2.8. | PERFIL DE VELOCIDADES | 49 |
| 2.8.1. | PERFIL DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN POR PÉREZ-ZURIAGA (2012) | 50 |
| 2.8.2. | PERFIL DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN INERCIAL..... | 52 |
| 2.9. | CONSISTENCIA DE DISEÑO GEOMÉTRICO | 53 |
| 2.9.1. | CRITERIOS I Y II DE LAMM | 56 |
| 2.9.2. | ÍNDICE DE CONSISTENCIA INERCIAL (ICI) | 57 |
| 2.9.3. | CRITERIO GLOBAL DE POLUS | 58 |
| 2.9.4. | MODELO GLOBAL DE CAMACHO-TORREGROSA ET AL. | 59 |
| 2.9.5. | MODELOS CALIBRADOS POR LLOPIS - CASTELLO | 60 |
| 2.9.5.1. | MODELO DE CONSISTENCIA GLOBAL | 60 |
| 2.9.5.2. | MODELOS DE CONSISTENCIA LOCAL..... | 63 |
| 2.10. | APLICACIÓN DE LA CONSISTENCIA EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO | 64 |
| 2.11. | ESTIMACIÓN DE LA SINIESTRALIDAD CALIBRADOS POR LLOPIS | 66 |
| 2.11.1. | ESTIMACIÓN DE SINIESTRALIDAD PARA EL MODELO GLOBAL | 66 |
| 2.11.2. | ESTIMACIÓN DE SINIESTRALIDAD PARA EL MODELO LOCAL | 66 |
| 2.12. | PROGRAMA INTERNACIONAL DE EVALUACIÓN DE CARRETERAS (iRAP) | 67 |
| 2.13. | METODOLOGÍA Irap | 68 |
| 2.14. | TIPOS DE INSPECCIÓN VIAL iRAP | 70 |
| 2.15. | PROCESAMIENTO DE DATOS | 72 |
| 2.16. | SOFTWARE EN LÍNEA VIDA-iRAP | 73 |
| 2.16.1. | ATRIBUTOS VIALES | 74 |
| 2.16.2. | CLASIFICACIÓN POR ESTRELLAS (SRS) | 75 |
| 2.16.3. | CLASIFICACIÓN POR ESTRELLAS SUAVIZADA | 76 |
| 2.16.4. | BANDAS DE CLASIFICACIÓN POR ESTRELLAS | 77 |
| 2.16.5. | ESTIMACIÓN DE MUERTOS Y LESIONADOS GRAVES POR EL iRAP | 78 |
| 2.16.6. | PLANES DE INVERSIÓN PARA VÍAS MÁS SEGURAS (SRIP) | 81 |
| CAPITULO III EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LA VÍA..... | | 83 |
| 3.1. | IMPORTANCIA ACTUAL DEL TRAMO DE ESTUDIO..... | 83 |
| 3.2. | LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ESTADO CLIMATOLÓGICO | 83 |
| 3.3. | CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA EN ESTUDIO | 85 |
| 3.3.1. | CLASIFICACIÓN DE LA CARRETERA | 86 |
| 3.3.2. | CALCULO DEL INDICIE MEDIO DÍA ANUAL ACTUAL..... | 87 |



| | | |
|--|--|-----|
| 3.4. | ESTADO DE LAS ALINEACIONES..... | 90 |
| 3.4.1. | VELOCIDAD DE DISEÑO | 90 |
| 3.4.2. | RESTITUCIÓN GEOMÉTRICA DE LOS TRAMOS DE ESTUDIO | 90 |
| 3.4.3. | ALINEAMIENTO HORIZONTAL | 91 |
| 3.4.4. | TRAZADO EN ALZADO | 96 |
| 3.4.5. | SECCIÓN TRANSVERSAL..... | 99 |
| 3.5. | INSPECCIÓN DE SEGURIDAD VIAL | 100 |
| 3.5.1. | MÁRGENES Y SISTEMAS DE CONTENCIÓN | 101 |
| 3.5.2. | POSIBLES INCIDENTES SEGÚN EL IRAP | 104 |
| 3.5.3. | SEÑALIZACIÓN | 107 |
| 3.5.4. | FIRME | 122 |
| 3.5.5. | INTERSECCIONES Y ACCESOS..... | 123 |
| 3.6. | OBTENCIÓN DE VELOCIDADES. | 125 |
| 3.6.1. | VELOCIDAD DE DISEÑO DEL CAMINO EN ESTUDIO..... | 125 |
| 3.6.2. | VELOCIDAD DE OPERACIÓN DESARROLLADO POR PÉREZ-ZURIAGA | 127 |
| 3.6.3. | VELOCIDAD DE OPERACIÓN INERCIAL DESARROLLADOS POR LLOPIS CASTELLO | 133 |
| 3.6.4. | VELOCIDADES DE CAMPO | 141 |
| 3.6.5. | COMPARACIÓN DE LOS PERFILES DE VELOCIDADES..... | 150 |
| CAPITULO IV.- ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA..... | | 154 |
| 4.1. | ÍNDICE DE CONSISTENCIA LOCAL ICI | 154 |
| 4.2. | PARÁMETRO DE CONSISTENCIA GLOBAL (C) | 160 |
| 4.2.1. | ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE INCIDENTES CON VÍCTIMAS EN CARRETERAS..... | 168 |
| 4.3. | APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA IRAP AL TRAMO DE ESTUDIO DE LA CARRETERA CU - 1103 | 169 |
| 4.3.1. | CODIFICACIÓN DE ATRIBUTOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS | 170 |
| 4.3.2. | CLASIFICACIÓN DE ESTRELLAS CRUDAS Y ATENUADAS | 174 |
| 4.3.3. | BANDAS Y COLORES DE LA CALIFICACIÓN POR ESTRELLAS..... | 177 |
| 4.3.4. | ESTIMACIÓN DE MUERTOS Y LESIONADOS GRAVES..... | 178 |
| CAPITULO V.- RESULTADOS Y SOLUCIONES DE LA EVALUACIÓN..... | | 181 |
| 5.1. | SOLUCIONES Y MEJORAS EN LA SEGURIDAD VIAL DEL TRAMO EVALUADO..... | 181 |
| 5.1.1. | SOLUCIONES PARA LOS MODELOS DE CONSISTENCIA DEL DISEÑO | 182 |
| 5.1.2. | PARA EL CASO DE LOS RESULTADOS MOSTRADOS POR EL IRAP | 186 |
| 5.1.2.1. | MEJORAMIENTO DE LA DELINEACIÓN | 188 |
| 5.1.2.2. | MEJORAR LA CALIDAD DE LAS INSTALACIONES PARA PEATONES | 191 |
| 5.1.2.3. | ALUMBRADO PÚBLICO (INTERSECCIÓN)..... | 193 |



| | | |
|----------|---|-----|
| 5.1.2.4. | CARRIL DE ADELANTAMIENTO | 196 |
| 5.1.2.5. | VALLADO PEATONAL | 200 |
| 5.1.2.6. | DELINEACIÓN Y SEÑALIZACIÓN (INTERSECCIÓN)..... | 202 |
| 5.1.2.7. | BARRERAS EN CARRETERA - LADO DEL PASAJERO Y CONDUCTOR..... | 205 |
| 5.1.2.8. | RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (CAMINO PAVIMENTADO)..... | 211 |
| 5.1.2.9. | DISTANCIA DE VISIÓN (ELIMINACIÓN DE OBSTRUCCIONES) | 213 |
| | CONCLUSIONES | 217 |
| | RECOMENDACIONES..... | 219 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 220 |
| | ANEXOS | 223 |
| | ANEXO 1. Condiciones Detalladas de la Codificación del Tramo de Estudio | 223 |



ÍNDICE DE TABLA

| | |
|---|-----|
| Tabla N° 1 Listado de PAS identificados en la región Cusco, 2021..... | 29 |
| Tabla N° 2 Umbrales para la determinación de la consistencia del diseño. Criterios I y II de Lamm et al. | 57 |
| Tabla N° 3 Umbrales de consistencia para el ICI | 58 |
| Tabla N° 4 Umbrales del Índice de Consistencia Global | 59 |
| Tabla N° 5 Tasa de siniestralidad de los umbrales del modelo de consistencia global. | 62 |
| Tabla N° 6 Tasa de siniestralidad de los umbrales del modelo de consistencia local. . | 63 |
| Tabla N° 7 Atributos que evalúa iRap para realizar la clasificación por estrellas..... | 74 |
| Tabla N° 8 Bandas de colores para puntajes de calificación por estrellas..... | 77 |
| Tabla N° 9 Características técnicas del tramo en estudio de acuerdo al expediente técnico 2013 | 86 |
| Tabla N° 10 Índice medio diario semanal por tipo de vehículo | 87 |
| Tabla N° 11 Factores de corrección por tipo de vehículo | 88 |
| Tabla N° 12 Índice medio diario anual..... | 89 |
| Tabla N° 13 Elementos geométricos en planta | 92 |
| Tabla N° 14 Elementos geométricos en alzado..... | 97 |
| Tabla N° 15 Inspección de márgenes y sistemas de contención de la vía. | 101 |
| Tabla N° 16 Tipos de incidentes para ocupantes de vehículos | 105 |
| Tabla N° 17 Tipos de incidentes para ocupantes de motocicleta | 106 |
| Tabla N° 18 Tipo de incidentes para ciclistas..... | 106 |
| Tabla N° 19 Tipo de incidente para peatones | 107 |
| Tabla N° 20 Inspección de seguridad vial en señales | 108 |
| Tabla N° 21 Inspección de seguridad vial en el firme..... | 123 |
| Tabla N° 22 Velocidad de diseño de acuerdo al expediente técnico. | 126 |
| Tabla N° 23 Estimación de velocidades de operación..... | 128 |
| Tabla N° 24 Resultados de la velocidad de operación inercial a partir de la calculadora automática | 135 |
| Tabla N° 25 Velocidades de vehículos en campo. | 144 |
| Tabla N° 26 Análisis del índice de consistencia local del tramo | 155 |
| Tabla N° 27 Análisis de la consistencia global del tramo de estudio | 162 |
| Tabla N° 28 Estimación del número de incidentes del tramo de estudio | 169 |
| Tabla N° 29 Condiciones detalladas del borde de la carretera..... | 172 |
| Tabla N° 30 Banda de clasificación de estrellas..... | 177 |



| | |
|--|-----|
| Tabla N° 31 Estimación de víctimas mortales | 180 |
| Tabla N° 32 Estimación de heridos graves | 180 |
| Tabla N° 33 Cuadro resumen de la seguridad vial del tramo | 181 |
| Tabla N° 34 Plan de inversión para la vía evaluada | 187 |
| Tabla N° 35 Problemas de implementación y beneficios de las delineaciones..... | 190 |
| Tabla N° 36 Resumen del tratamiento para las delineaciones | 191 |
| Tabla N° 37 Problemas de implementación y beneficios para las instalaciones para peatones en la vía. | 192 |
| Tabla N° 38 Resumen del tratamiento para las instalaciones para peatones en la vía | 192 |
| Tabla N° 39 Problemas de implementación y beneficios para el alumbrado público. | 194 |
| Tabla N° 40 Resumen del tratamiento para el alumbrado público..... | 195 |
| Tabla N° 41 Problemas de implementación y beneficio del carril de adelantamiento. | 198 |
| Tabla N° 42 Resumen del tratamiento para el carril de adelantamiento | 199 |
| Tabla N° 43 Problemas de implementación y beneficio en el vallado peatonal. | 200 |
| Tabla N° 44 Resumen del tratamiento en el vallado peatonal | 202 |
| Tabla N° 45 Problemas de implementación y beneficios en la delineación y señalización de intersecciones..... | 203 |
| Tabla N° 46 Resumen del tratamiento de las delineaciones y señalización de intersecciones..... | 205 |
| Tabla N° 47 Problemas de implementación y beneficios en las barras de carretera | 208 |
| Tabla N° 48 Resumen del tratamiento de las barras de carretera. | 210 |
| Tabla N° 49 Problemas de implementación y beneficio a la resistencia al deslizamiento. | 212 |
| Tabla N° 50 Resumen de la resistencia al deslizamiento..... | 213 |
| Tabla N° 51 Problemas de implementación y beneficio a la distancia en la visión. | 215 |
| Tabla N° 52 Resumen de la distancia de visión. | 216 |
| Tabla N° 53 Condición del borde del camino | 224 |
| Tabla N° 54 Condición de las características de la vía..... | 225 |
| Tabla N° 55 Condición del flujo vehicular..... | 228 |
| Tabla N° 56 Condición infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo | 231 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| Imagen N° 1 Personas fallecidas en siniestros de tránsito, región Cusco, 2010-2020. | 24 |
| Imagen N° 2 Tasa de Fallecidos por 100 mil habitantes, región Cusco, 2010-2021.... | 25 |
| Imagen N° 3 Personas fallecidas por siniestros de tránsito, según región, 2021 | 26 |
| Imagen N° 4 Personas fallecidas por siniestros de tránsito, según tipo de vía, región Cusco, 2021 | 27 |
| <i>Imagen N° 5 Siniestros de tránsito en la región Cusco, 2021.....</i> | <i>28</i> |
| Imagen N° 6 Los tres factores que contribuyen en los siniestros viales de acuerdo al MSV..... | 31 |
| Imagen N° 7 Perfil de velocidades de operación..... | 52 |
| Imagen N° 8 Perfil de velocidades de operación inercial..... | 53 |
| Imagen N° 9 Perfil de velocidad de operación inercial y la velocidad de operación..... | 62 |
| Imagen N° 10 Esquema que simula el proceso de distracción | 65 |
| Imagen N° 11 Actuación de iRAP en Países a Nivel Mundial..... | 68 |
| Imagen N° 12 Etapas de la metodología iRAP..... | 69 |
| Imagen N° 13 Vehículo con equipamiento iRAP | 71 |
| Imagen N° 14 Ejemplo acerca de algunos de los elementos y categorías que se registran en el software..... | 72 |
| Imagen N° 15 Participación del software VIDA – iRAP dentro del proceso | 73 |
| Imagen N° 16 Puntajes de Clasificación por Estrellas (gris) y SRS suavizados (blanco) | 77 |
| Imagen N° 17 Delimitación actual del tramo..... | 83 |
| Imagen N° 18 Localización del estudio | 84 |
| Imagen N° 19 Diagrama de precipitación en la zona de estudio. | 84 |
| Imagen N° 20 Inauguración de la carretera CU – 1103 (año 2013)..... | 85 |
| Imagen N° 21 Bionda de seguridad en estado malo km 04+700..... | 86 |
| Imagen N° 22 porcentaje del tránsito vehicular por tipo de vehículo | 89 |
| Imagen N° 23 Levantamiento topográfico en campo..... | 90 |
| Imagen N° 24 Importación y procesamiento de datos en el Civil 3D | 91 |
| Imagen N° 25 Procesamiento del alineamiento horizontal | 91 |
| Imagen N° 26 Procesamiento del alineamiento vertical | 97 |
| Imagen N° 27 Sección transversal del camino. | 99 |
| Imagen N° 28 Sección típica procesadas en el civil 3D..... | 99 |
| Imagen N° 29 Localización de zonas urbanas y bifurcaciones..... | 101 |
| Imagen N° 30 Rangos de velocidad de diseño en función a la clasificación de la vía | 126 |



| | |
|---|-----|
| Imagen N° 31 Perfil de velocidades de operación..... | 133 |
| Imagen N° 32 Calculado automática de estimación de velocidades de operación inercial..... | 135 |
| Imagen N° 33 Perfil de velocidades de operación inercial..... | 140 |
| Imagen N° 34 Panel de fotografías de toma de velocidades de campo..... | 142 |
| Imagen N° 35 Perfil de velocidades de campo..... | 149 |
| Imagen N° 36 Versus del perfil de velocidad de operación y de campo..... | 150 |
| Imagen N° 37 Versus del perfil de velocidad de operación inercial y de campo..... | 152 |
| Imagen N° 38 Perfil del índice de consistencia Inercial local del tramo de estudio.... | 154 |
| Imagen N° 39 Mapa de del índice de consistencia local del tramo de estudio..... | 160 |
| Imagen N° 40 Diferencia del perfil de Vi y el perfil de V85 del tramo de estudio | 161 |
| Imagen N° 41 Umbrales del parámetro de consistencia global | 162 |
| Imagen N° 42 Mapa de la consistencia Global del tramo 00+00 al 03+00..... | 167 |
| Imagen N° 43 Mapa de la consistencia Global del tramo 03+00 al 05+00..... | 168 |
| Imagen N° 44 Mapa de la consistencia Global del tramo 05+00 al 09+260..... | 168 |
| Imagen N° 45 Inicio de sesión con credenciales de VIDA..... | 170 |
| Imagen N° 46 Herramientas VIDA y aplicaciones RAP | 170 |
| Imagen N° 47 Creación del alineamiento de la vía..... | 171 |
| Imagen N° 48 Atributos viales del camino de estudio..... | 171 |
| Imagen N° 49 Perfil de Distancia vs Clasificación de Estrellas en crudo para vehículo | 174 |
| Imagen N° 50 Perfil de Distancia vs Clasificación de Estrellas suavizado para vehículo | 175 |
| Imagen N° 51 Mapa de clasificación de estrellas del tramo | 176 |
| Imagen N° 52 Estimación de FSI de ocupantes de vehiculó en mapa..... | 179 |
| Imagen N° 53 Estimación de FSI por tipo de ocupante en cuadro | 180 |
| Imagen N° 54 Inconsistencia local kilómetro 00+379.25 | 182 |
| Imagen N° 55 Inconsistencia local kilómetro 00+379.25 | 183 |
| Imagen N° 56 Inconsistencia local kilómetro 02+510.00 | 184 |
| Imagen N° 57 Inconsistencia local kilómetro 05+643.97, 05+678.65, 06+578.41, 06+617.18, 06+660.68, 07+455.39 y 07+486.34..... | 185 |
| Imagen N° 58 Mejoramiento de las delineaciones en el tramo de estudio..... | 188 |
| Imagen N° 59 Mejoramiento de las instalaciones para peatones en la vía..... | 188 |
| Imagen N° 59 Mejoramiento de las instalaciones para peatones en la vía..... | 191 |



| | |
|--|-----|
| Imagen N° 60 Mejoramiento del alumbrado público en la vía.Imagen N° 59 | |
| Mejoramiento de las instalaciones para peatones en la vía | 191 |
| Imagen N° 60 Mejoramiento del alumbrado público en la vía..... | 193 |
| Imagen N° 61 Mejoramiento del carril de adelantamiento en la vía.Imagen N° 60 | |
| Mejoramiento del alumbrado público en la vía. | 193 |
| Imagen N° 61 Mejoramiento del carril de adelantamiento en la vía..... | 196 |
| Imagen N° 62 Mejora del vallado peatonal en la vía.Imagen N° 61 Mejoramiento del carril de adelantamiento en la vía. | 196 |
| Imagen N° 62 Mejora del vallado peatonal en la vía. | 200 |
| Imagen N° 63 Mejoras en la delineación y señalización de intersecciones de la vía en estudioImagen N° 62 Mejora del vallado peatonal en la vía. | 200 |
| Imagen N° 63 Mejoras en la delineación y señalización de intersecciones de la vía en estudio..... | 202 |
| Imagen N° 64 Mejoras de las barras en carreteras de la vía en estudio.Imagen N° 63 Mejoras en la delineación y señalización de intersecciones de la vía en estudio | 202 |
| Imagen N° 64 Mejoras de las barras en carreteras de la vía en estudio..... | 205 |
| Imagen N° 65 Mejoras a la resistencia al deslizamiento en la vía.Imagen N° 64 Mejoras de las barras en carreteras de la vía en estudio..... | 205 |
| Imagen N° 65 Mejoras a la resistencia al deslizamiento en la vía. | 211 |
| Imagen N° 66 Mejora a la distancia de visión en la vía.Imagen N° 65 Mejoras a la resistencia al deslizamiento en la vía..... | 211 |
| Imagen N° 66 Mejora a la distancia de visión en la vía. | 213 |
| Imagen N° 67 Mapa post prevención de víctimasImagen N° 66 Mejora a la distancia de visión en la vía. | 213 |
| Imagen N° 67 Mapa post prevención de víctimas | 216 |
| Imagen N° 67 Mapa post prevención de víctimas | 216 |



RESUMEN

El Cusco - Perú presenta un incremento poblacional en su diversa topografía, y con el fin de interconectar y articular todas sus localidades, las entidades encargadas ejecutan vías de dos carriles en zonas de montaña, sin embargo, deja de lado algo importante y es la seguridad de sus vías.

A todo esto, de acuerdo al último reporte de la (Dirección de Seguridad Vial, 2022), las personas fallecidas en el 2021 a nivel nacional, sufrió un incremento alarmante de un 40.4% respecto al año anterior y como parte de esa estadística la ciudad del Cusco presentó un 78.0 % de incidentes solo en carreteras del tipo montañoso.

Es así frente a esta situación, el presente Trabajo de Fin de Master, tuvo como objetivo evaluar la Seguridad Vial de la Carretera EMP. PE 3S - Pumamarca - EMP. CU 1105, debido a que este, es una red vial importante de la provincia del Cusco y principalmente es un desvío de tránsito alterno a sus provincias con atractivos turísticos. Para poder alcanzar este objetivo se realizó previamente la recolección de datos de campo como: el conteo vehicular, levantamiento topográfico y la restitución de la geometría con la finalidad de obtener las condiciones geométricas de la vía a detalle.

Para los procedimientos de la evaluación se adoptaron dos herramientas fundamentales, como primero los propuestos por Pérez Zuriaga y Llopis Castelló para la estimación de velocidades de operación e inercial. Para el caso de la consistencia y estimación del número de incidentes con víctimas en carretera, por el autor antes último mencionado, así mismo se midió las velocidades en campo con el fin de construir un perfil de velocidades y realizar un versus entre estos. Determinado estos resultados se procedió a la evaluación, y se obtuvo de este análisis 12 puntos inconsistentes y 9.65 incidentes con víctimas en la carretera.

La otra herramienta, utilizada fue el software iRAP – VIDA (International Road Assessment Programme), del cual previo al resultado se procesó los atributos de la carretera cada 100 metros, así encontrándose de este, que más del 50%



del tramo presenta calificación de estrellas entre “1 y 2”. Ahora referente a la estimación de víctimas en la carretera mediante esta herramienta se obtuvo 50.1 incidentes.

Finalmente, de la evaluación realizada por ambas herramientas, se planteó un plan de inversión para vías más seguras, proponiéndose 11 contramedidas que en conjunto tienen un costo de inversión de S/. 5,893,648.00 soles peruanos destinados a salvar la vida de 457 personas, obteniendo así una relación costo – beneficio de 21.33, el cual se encuentra dentro del umbral de la relación costo beneficio del iRAP.

Palabras Clave: iRAP - VIDA, Seguridad Vial, Clasificación por Estrellas, Plan de Inversión para Vías, Contramedidas, Usuarios Viales.



ABSTRACT

Cusco - Peru presents a population increase in its diverse topography, and in order to interconnect and articulate all its localities, the entities in charge execute two-lane roads in mountain areas, however, it leaves aside something important and that is security. of its tracks.

To all this, according to the latest report from the (Road Safety Directorate, 2022), the number of people who died in 2021 at the national level suffered an alarming increase of 40.4% compared to the previous year and as part of that statistic, the city Cusco had 78.0% of incidents only on mountainous roads.

Thus, in view of this situation, the present Master's Thesis aimed to evaluate the Road Safety of the EMP Highway. PE 3S - Pumamarca - EMP. CU 1105, because this is an important road network in the province of Cusco and is mainly an alternative traffic detour to its provinces with tourist attractions. In order to achieve this objective, field data was previously collected, such as: vehicle counting, topographic survey and geometry restitution in order to obtain the geometric conditions of the road in detail.

For the evaluation procedures, two fundamental tools were adopted, first those proposed by Pérez Zuriaga and Llopis Castelló for the estimation of operating and inertial speeds. In the case of consistency and estimation of the number of incidents with victims on the road, by the last mentioned author, the speeds in the field were also measured in order to build a speed profile and perform a versus between them. Once these results were determined, the evaluation was carried out, and from this analysis 12 inconsistent points and 9.65 incidents with victims on the road were obtained.

The other tool used was the iRAP – VIDA software (International Road Assessment Programme), from which, prior to the result, the attributes of the road were processed every 100 meters, thus finding that more than 50% of the section has a star rating between “1 and 2”. . Now regarding the estimation of victims on the road using this tool, 50.1 incidents were obtained.



Finally, from the evaluation carried out by both tools, an investment plan for safer roads was proposed, proposing 11 countermeasures that together have an investment cost of S/. 5,893,648.00 Peruvian soles destined to save the lives of 457 people, thus obtaining a cost-benefit ratio of 21.33, which is within the threshold of the cost-benefit ratio of the iRAP.

Keywords: iRAP - VIDA, Road Safety, Star Rating, Investment Plan for Roads, Countermeasures, Road Users.



RESUM

El Cusco - Perú presenta un increment poblacional en la seua diversa topografia, i amb la finalitat d'interconnectar i articular totes les seues localitats, les entitats encarregades executen vies de dos carrils en zones de muntanya, no obstant això, deixa de costat una cosa important i és la seguretat de les seues vies.

A tot això, d'acord amb l'últim reporte de la (Dirección de Seguridad Viaria, 2022), les persones mortes en el 2021 a nivell nacional, va patir un increment alarmant d'un 40.4% respecte a l'any anterior i com a part d'eixa estadística la ciutat del Cusco presente un 78.0% d'incidentes sol en carreteres del tipus muntanyenc.

És asi enfront d'esta situació, el present Treball de Fi de Màster, va tindre com a objectiu avaluar la Seguretat Viària de la Carretera EMP. PE 3S - Pumamarca - EMP. CU 1105, pel fet que este, és una xarxa viària important de la província del Cusco i principalment és un desviament de trànsit altern a les seues províncies amb atractius turístics. Per a poder aconseguir este objectiu es va realitzar prèviament la recol·lecció de dades de camp com: el comptatge vehicular, alçament topogràfic i la restitució de la geometria amb la finalitat d'obtindre les condicions geomètriques de la via a detall.

Per als procediments de l'avaluació es van adoptar dues eines fonamentals, com primer els proposats per Pérez Zuriaga i Llopis Castelló per a l'estimació de velocitats d'operació i inercial. Per al cas de la consistència i estimació del numere d'incidentes amb mates en carretera, per l'autor abans ultime esmentat, *asi mateix es va mesurar les velocitats en camp amb la finalitat de construir un perfil de velocitats i realitzar un versus entre estos. Determinat estos resultats es va procedir a l'avaluació, i es va obtindre d'esta anàlisi 12 punts inconsistents i 9.65 incidents amb víctimes en la carretera.

L'altra eina, utilitzada va ser el programari iRAP – VIDA (International Road Assessment Programme), del qual previ al resultat es va processar els atributs de la carretera cada 100 metres, *asi trobant-se d'este, que més del 50% del tram presenta qualificació d'estreles entre "1 i 2". Ara referent a l'estimació de víctimes en la carretera mitjançant esta eina es va obtindre 50.1 incidents.



Finalment, de l'avaluació realitzada per totes dues eines, es va plantejar un pla d'inversió per a vies més segures, proposant-se 11 contramesures que en conjunt tenen un cost d'inversió de S/. 5,893,648.00 sols peruans destinats a salvar la vida de 457 persones, obtenint així una relació cost – benefici de 21.33, el qual es troba dins del llindar de la relació cost benefici del *iRAP.

Paraules Clau: iRAP - VIDA, Seguretat Viària, Classificació per Estreles, Pla d'Inversió per a Vies, Contramesures, Usuaris Viaris.



INTRODUCCIÓN

La carretera EMP. PE 3S - Pumamarca - EMP. CU 1105 del departamento de Cusco – Perú, es una red vial que presenta un alto grado de inseguridad, debido a su topografía accidentada y al diseño con norma límite con el que fue construida sus elementos geométricos. Todo esto conllevando a una baja correlación de las expectativas de los conductores con el trazado de la vía, dicho de otra manera, la consistencia del diseño.

Ante esto, para poder entender más a detalle lo indicado, varios especialistas a nivel mundial han tratado de evaluar este aspecto, como por ejemplo las velocidades de operación, estabilidad vehicular, índices de trazado y cargas de trabajo del conductor, no obstante, el uso de las velocidades de operación para determinar la consistencia es el método más utilizado comúnmente, es así que varios intentaron relacionar el número de accidentes ocurridos con diferentes variables relacionados con la exposición al riesgo, y entre ellos hay uno que destaca y son los modelos de consistencia inercial local y global propuestos por (Llopis Castello, 2017), el cual incorpora esta variable importante que son las expectativas de los conductores.

Por otra parte, existe otra herramienta que está siendo utilizada a nivel mundial y también plantea determinar una evaluación de la seguridad vial a detalle, y es el programa iRAP (International Road Assessment Programme) donde a partir de la identificación de atributos viales a cada 100 metros, clasifica una vía en estrellas, estima el número de accidentes, así mismo propone soluciones o llamados también planes de inversión para vías.

A todo esto, conocido ambas metodologías de cómo funcionan y resultan, se aplicó en el presente trabajo, encontrando un alto grado de efectividad en la evaluación de la vía de estudio, esto debido a que coinciden con los reportes de donde ocurrieron los accidentes de acuerdo al informe por la Dirección de Seguridad Vial (2022) de Perú.

Sin más preámbulo, a continuación se muestra el desarrollo del presente Trabajo de Fin de Master, utilizando ambos métodos y herramienta.



CAPITULO I.- GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

La carretera EMP. PE 3S - Pumamarca - EMP. CU 1105, es una red vial de la provincia del Cusco y principalmente es un desvío de tránsito alterno hacia otras provincias, distritos y centros arqueológicos entre (Calca, Pisac, San Sebastián, San Jerónimo y Saylla y los distritos de Wanchaq, Santiago de la parte sureste de la ciudad del Cusco) así mismo es una ruta alternativa de descongestionamiento del centro histórico y arqueológico de la ciudad de Cusco.

Ahora bien, la idea de desarrollar esta vía como alternativa para articular las diferentes localidades y centros arqueológicos funciona, debido que el centro histórico de la ciudad presenta desde ese entonces un notable cambio de descongestionamiento, sin embargo, obviaron algo primordial y es la seguridad a lo largo de toda la vía.

Actualmente esta vía en estudio, presenta numerosos reportes de incidentes como lo muestra el informe realizado por observatorio de seguridad vial de Perú y los reportes de la policía nacional de tránsito, ante ello las entidad competentes del Perú no ha sido ajeno a proponer iniciativas y trato de introducir el concepto de seguridad vial a los usuarios, mediante la creación del Consejo Nacional de Seguridad Vial (CNSV), la Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas, Carga y Mercancías (SUTRAN) y la Dirección de Seguridad Vial, así mismo mediante la legislación fomento leyes que regulan el tránsito y campañas de sensibilización, sin embargo, quedo todo como una idea general y regulaciones plasmadas en un papel, y el Perú aun continua con la tasa alta de mortalidad por accidente de tránsito a nivel mundial.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como se ha podido explicar en el anterior ítem, el Perú ha intentado mejorar la seguridad vial de sus carreteras, el trabajo y compromiso es amplio a desarrollar debido a los diversos factores que influyen en esta y no como detalla los reportes de la estadística el cual responsabiliza al factor humano en tu totalidad.



Frente a esto, mediante el presente trabajo fin de master, se pretende evaluar la seguridad vial de la carretera CU-1103 en la ciudad del Cusco-Perú, el cual representa una vía importante entre la zona sureste de ciudad de Cusco con el valle sagrado de los incas, que a su vez a presentado diversos siniestros, con y sin víctimas mortales, mediante modelos de consistencia y el Programa Internacional de Evaluación de Carreteras iRAP.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la evaluación de la Seguridad Vial, del camino de montaña EMP. PE-3S - PUMAMARCA - EMP. CU-1105, de la Provincia de Cusco – Perú, a partir del programa de evaluación de la consistencia propuesta por Llopis - Castello y la calificación por estrellas iRAP (International Road Assessment Programme).

1.3.2. OBJETIVO ESPECIFICOS

- Estimar y obtener las diferentes velocidades de operación, inercial y de campo, a partir de la restitución geométrica.
- Evaluar su seguridad vial, mediante los modelos de consistencia propuestos por Llopis Castello.
- Obtener la clasificación por estrellas a partir del iRAP, entre segmentos de la carretera en estudio por tipo de usuario.
- Estimar la cantidad de incidentes, mediante los modelos propuestos por Llopis Castello y el iRAP.
- Identificar y proponer soluciones a tramos de la carretera, a partir del análisis de ambas metodologías, para mejorar sus condiciones de seguridad y prevenir accidentes.

1.4. METODOLOGÍA

- Antecedentes y Análisis del Tramo. En este apartado se pretende obtener información sobre vía en estudio (expediente técnico), así mismo recopilar datos de campo, análisis de accidentalidad, frecuencia, severidad,



causantes, etc. Esto ayudara para determinar la secuencia del análisis con los resultados obtenidos por las metodologías.

- Análisis de la seguridad vial mediante los Modelos de consistencia calibrados por (Llopis Castello, 2017), el cual está basado en la diferencia entre la velocidad de operación inercial, que representa las expectativas de los conductores, y la velocidad de operación, que representa el comportamiento de la carretera. Estos modelos permiten estimar el número de accidentes.
- La Metodología (iRAP, 2023) ayudará a determinar la valoración o calificación mediante estrellas, la seguridad vial de toda una red de carreteras, esto proporciona una plataforma de suma importancia, debido a que utiliza cuando no hay registros sobre datos de accidentes o cuando son inexactos, esta metodología tiene como etapas, la inspección, valoración, generación de contramedidas, tasar programas de inversión, diseño detallado de proyectos y construir mejoras en seguridad.
- Conclusiones y Recomendaciones. Se generan recomendaciones o contramedidas a partir de la evaluación realizada, para el mejoramiento de la infraestructura favoreciendo la Seguridad Vial, concluyendo así con saber cuan incidente es una vía diseñada con norma limite en las expectativas del conductor.

1.5. ALCANCE DEL PROYECTO

Con el presente trabajo, se pretende determinar la seguridad vial del tramo EMP. PE-3S - Pumamarca - EMP. CU-1105, de la Provincia de Cusco – Perú, basándome en los datos recopilados en campo y procesados en gabinete, aplicando la metodología de consistencia de diseño calibrado por (Llopis Castello, 2017) y la calificación por (iRAP, 2023), para asi proponer condiciones de mejora en la infraestructura y garantizar la seguridad de los usuarios.

Por otra parte, es importante indicar que la orientación del trabajo es profesional. Para el caso de la ampliación del software iRAP, el estudio será descriptivo, debido a que la aplicación de la metodología requiere de vehículos oficiales los



cuales deben ser certificados y aprobados por la empresa iRAP, ante ello se mostrara únicamente el funcionamiento y resultado conforme a lo indicado.

1.5.1. APORTE DEL PROYECTO

Con el presente estudio y análisis, se pretende demostrar que el modelo de consistencia y el Programa Internacional de Evaluación de Carreteras (IRAP), son herramientas eficaces para evaluar y sustentar técnicamente vías del Perú que presentan alto grado de inseguridad.

1.5.2. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El presente trabajo se compone en 5 capítulos, el cual se describen a continuación:

CAPITULO I.- En el primer capítulo se indican las generalidades del proyecto, tales como los antecedentes, planteamiento del problema, objetivos, metodología, alcance, aportes y estructura del mismo.

CAPITULO II.- Se realizará un análisis del estado del arte y de la literatura existente relacionada con el tema. Además, a su vez se mostrará diversos conceptos necesarios a tener en cuenta para el desarrollo del trabajo.

CAPITULO III.- Se describirá las características generales de la carretera en estudio, diseño geométrico y velocidades de operación medidas en campo.

CAPITULO IV.- Se desarrollará el análisis de la problemática mediante la metodología de consistencia de diseño y el Programa Internacional de Evaluación de Carreteras (IRAP).

CAPITULO V.- Se presentarán los resultados de la evaluación realizada, así mismo las contramedidas a considerar en corto y mediano plazo.

Por último, se describirán las conclusiones y recomendaciones del proyecto.



CAPITULO II.- ESTADO DEL ARTE

La seguridad vial es un problema muy importante a nivel mundial. Según la Organización Mundial de la Salud en su Informe SÉPTIMA SEMANA MUNDIAL DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA SEGURIDAD VIAL, todos los años fallecen personas aproximadamente más de 1,3 millones, como consecuencia de accidentes de tráfico en todo el mundo y otros 50 millones resultan con lesiones, el grupo principal de mortalidad a nivel mundial son de niños y jóvenes de 15 a 29 años respectivamente (Organización Mundial de la Salud, 2023).

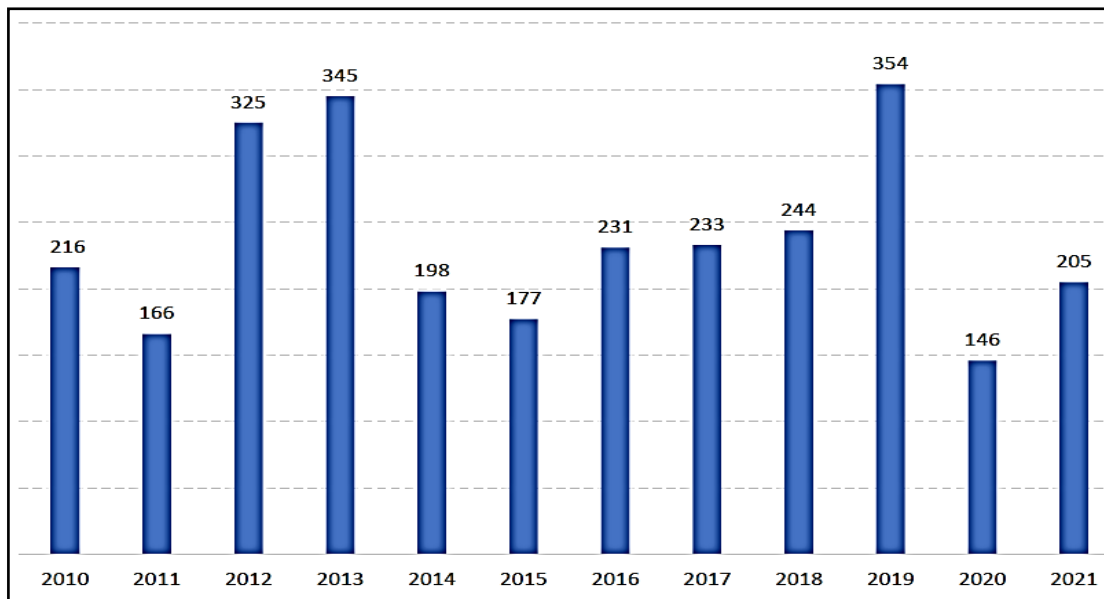
Frente a este reporte por parte de OMS, los países en desarrollo como el Perú son quienes aportan en mayoría a la estadística a estos trágicos hechos, y parte de ello se puede reafirmar en el informe del Observatorio Nacional de Seguridad Vial del Ministerio de Transportes, el diagnóstico del estado situacional de la seguridad vial de la región del Cusco – Perú.

2.1. RECUENTO HISTÓRICO DE FALLECIDOS EN SINIESTROS DE TRÁNSITO FATALES ENTRE LOS AÑOS 2010 Y 2021 CIFRAS REGIÓN CUSCO

Del informe realizado por la (Dirección de Seguridad Vial, 2022), indica que durante el periodo 2010 al 2021, el número de personas fallecidas por siniestros viales muestra una tendencia oscilante, con un pico máximo en el año 2019. La reducción de personas fallecidas en el 2020 coincide con la coyuntura de la emergencia nacional de salud a consecuencia del Coronavirus (COVID-19) y las restricciones de movilidad relacionadas.

Referente a las personas fallecidas en el año 2021, ha tenido un incremento del 40.4% respecto al año anterior. Sin embargo, hay que considerar que el año 2020 fue atípico por las restricciones establecidas a consecuencia de la Covid - 9. Respecto al año 2019, se identifica un decremento del 42.1% de personas fallecidas, como se detalla en el siguiente gráfico:

Imagen N° 1 Personas fallecidas en siniestros de tránsito, región Cusco, 2010-2020.



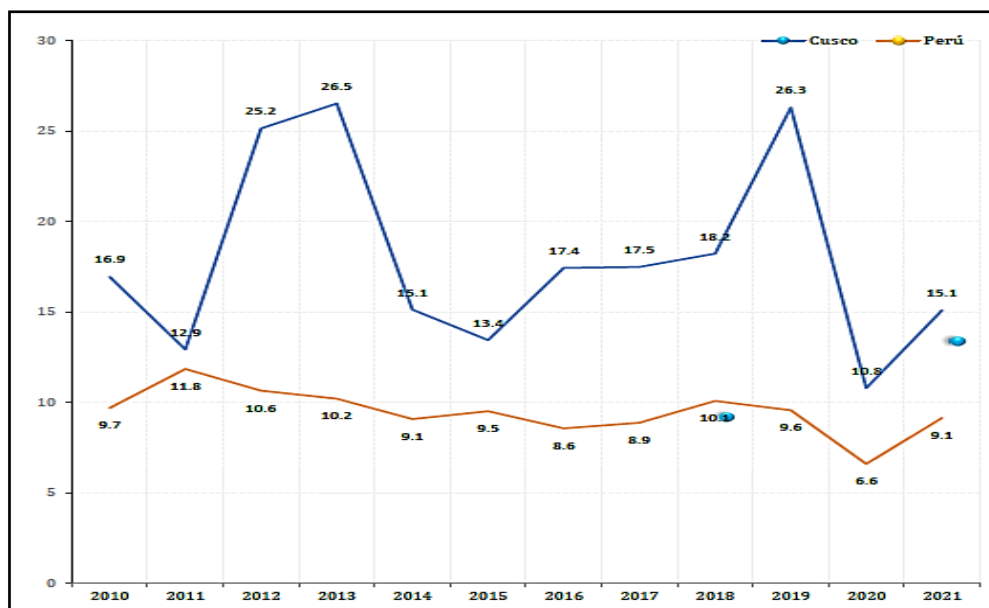
Fuente: Policía Nacional del Perú. Siniestros de tránsito 2010 – 2020
Observatorio Nacional de Seguridad Vial, 2021
Elaboración: Dirección de Seguridad Vial - MTC

2.1.1. TASA DE FALLECIDOS POR 100 MIL HABITANTES.

La (Dirección de Seguridad Vial, 2022), realizó el análisis de la tasa de fallecidos por 100 mil habitantes en la región Cusco para el periodo 2010 a 2021, encontrando que la tasa de fallecidos en el 2020 disminuyó en 59.0% con respecto al 2019. Mientras que, para el 2021, producto de la eliminación progresiva de las restricciones de movilización por la Covid-19, se incrementó en 39.9% con respecto al 2020.

Podemos apreciar también, que la tasa de fallecidos en la región Cusco es mayor a la tasa nacional, en el periodo de tiempo del 2010 al 2021, siendo la más alta el año 2013, donde se tuvo una tasa de 26.5 fallecidos por 100 mil habitantes, a continuación, se muestra la gráfica de la Tasa de Fallecidos por 100 mil habitantes:

Imagen N° 2 Tasa de Fallecidos por 100 mil habitantes, región Cusco, 2010-2021.



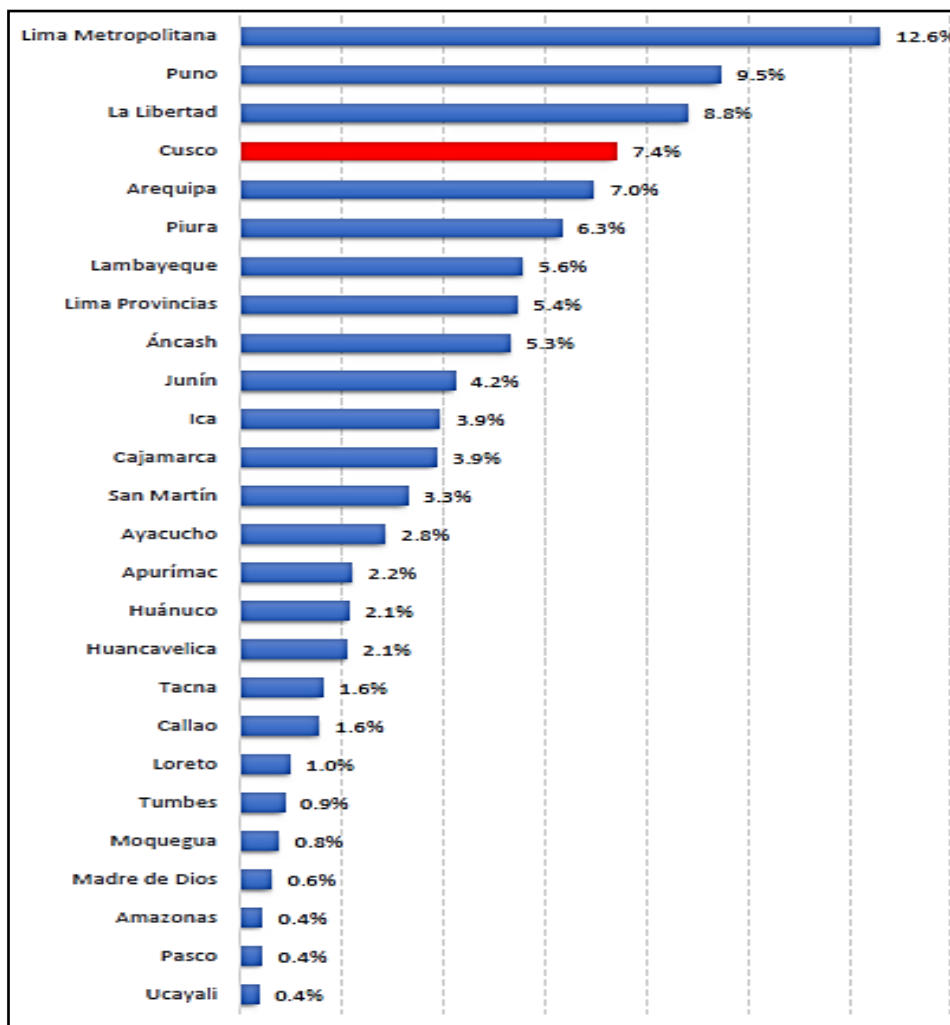
Fuente: Policía Nacional del Perú. Siniestros de tránsito 2010 – 2020
Observatorio Nacional de Seguridad Vial, 2021
Elaboración: Dirección de Seguridad Vial – MTC

2.1.2. VULNERABILIDAD FRENTE A SINIESTROS DE TRÁNSITO SEGÚN REGIÓN.

La ocurrencia de los siniestros viales muestra un componente geográfico que es importante explorar para visualizar las diferentes condiciones de seguridad vial a nivel territorial. En ese sentido, las estadísticas de usuarios fallecidos en función del tipo de la zona, zonificación, tipo de vía y red vial, son un instrumento clave para aterrizar las políticas locales. El análisis de usuarios víctimas de siniestros viales con consecuencias fatales en la región Cusco se realiza durante el 2021.

Según la información registrada mediante el ONSV, se puede apreciar la frecuencia de los siniestros de tránsito fatales ocurridos a nivel nacional durante el año 2021, en el que identificó un total de 2 772 personas fallecidas, de las cuales 205 corresponden a la región Cusco, representando el 7.4% de participación con respecto al total de decesos en el Perú y la cuarta región con mayor índice de fallecidos por siniestros de tránsito. (Dirección de Seguridad Vial, 2022)

Imagen N° 3 Personas fallecidas por siniestros de tránsito, según región, 2021



Fuente: Observatorio Nacional de Seguridad Vial

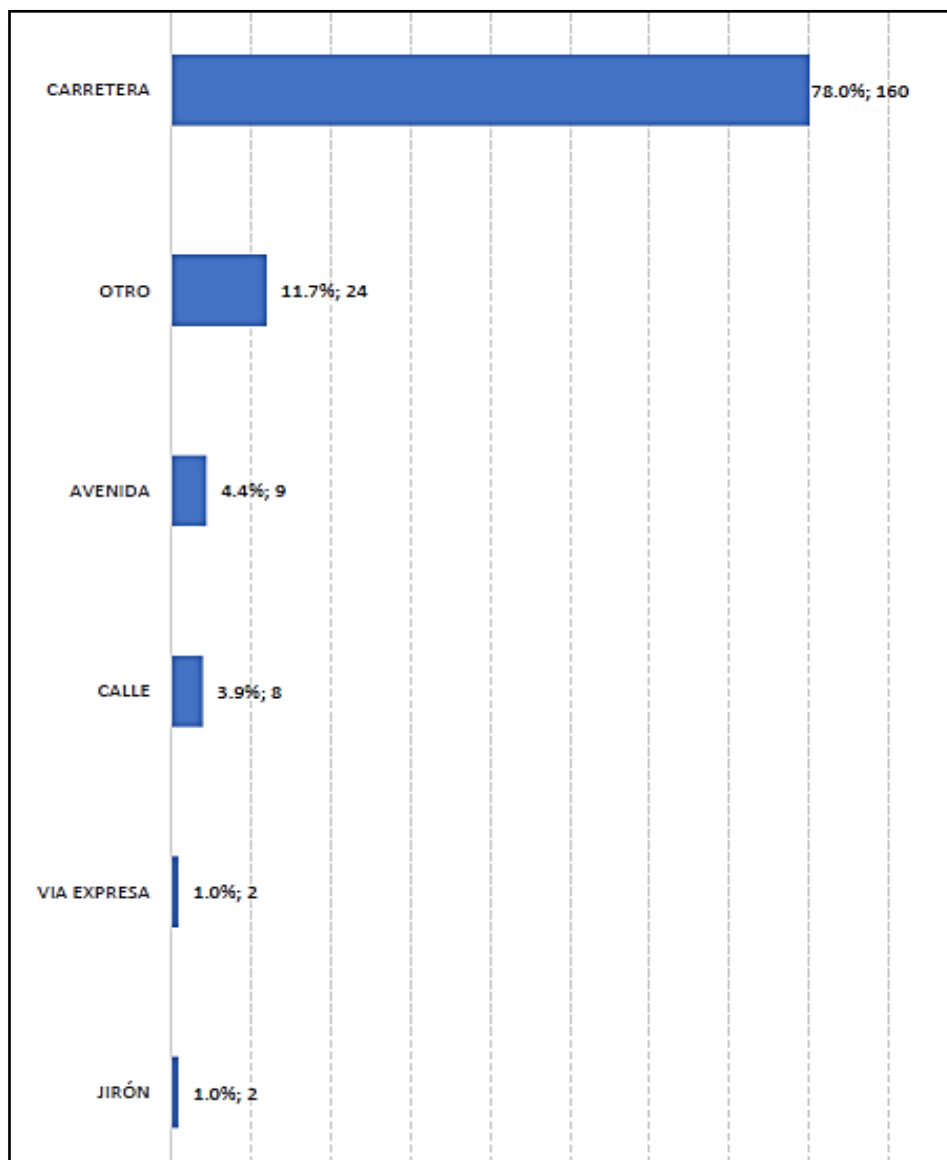
Elaboración: Dirección de Seguridad Vial - MTC

2.1.3. VULNERABILIDAD FRENTE A SINIESTROS DE TRÁNSITO SEGÚN TIPO DE VÍA.

Según el tipo de vía donde se produjeron los fallecimientos a consecuencia de siniestros de tránsito; se identificó que el 78.0% (160) de

personas perdieron la vida en carreteras, seguido por el 11.7% (24) en otro tipo de vía, y el 4.4% (9) personas fallecidas en avenidas.

Imagen N° 4 Personas fallecidas por siniestros de tránsito, según tipo de vía, región Cusco, 2021



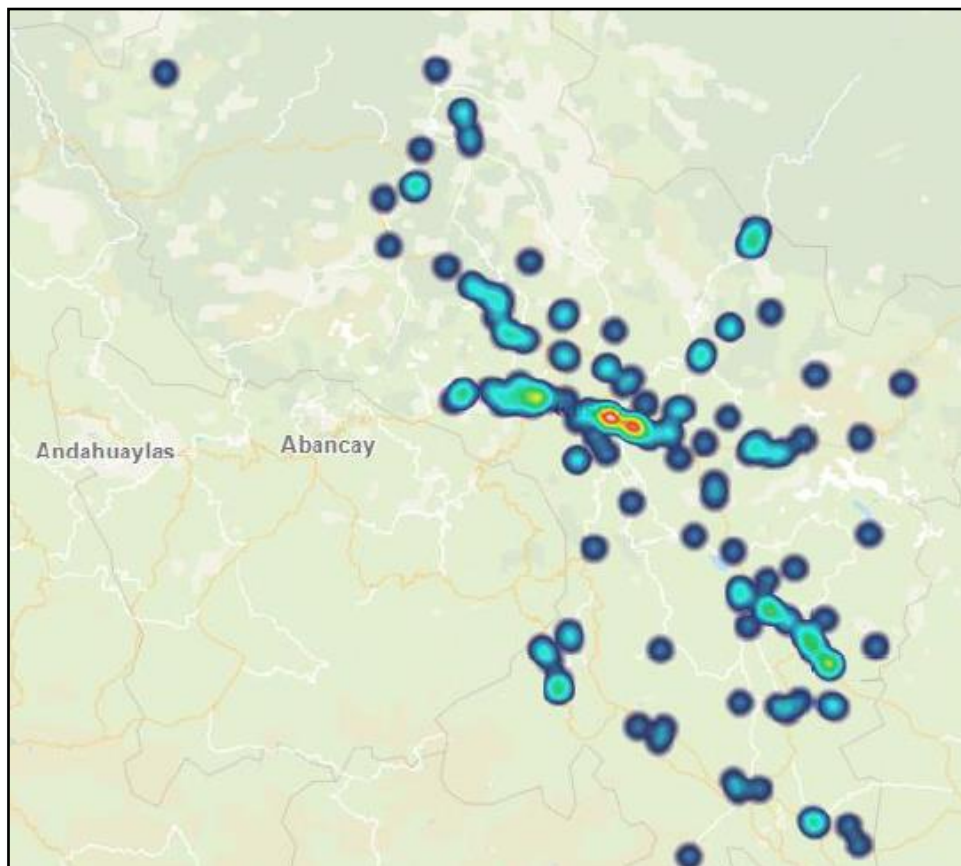
Fuente: Observatorio Nacional de Seguridad Vial
Elaboración: Dirección de Seguridad Vial - MTC

2.1.4. IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE ALTA SINIESTRALIDAD (PAS)

Realizado el análisis descriptivo de la situación de la seguridad vial, el presente informe también presenta los resultados de la identificación de los puntos de alta siniestralidad (PAS) de la región Cusco, a partir de los

175 siniestros de tránsito con consecuencias fatales registrados en el periodo 2021. (Dirección de Seguridad Vial, 2022)

Imagen N° 5 Siniestros de tránsito en la región Cusco, 2021.



Fuente: Observatorio Nacional de Seguridad Vial
Elaboración: Dirección de Seguridad Vial – MTC

La (Dirección de Seguridad Vial, 2022), a través de su plataforma tecnológica identificó ocho puntos de alta siniestralidad en la región Cusco, que comprende 30 siniestros de tránsito fatales, que ocasionaron 32 fallecidos.

El criterio de identificación de un PAS, se definió como un espacio geográfico de un kilómetro de radio, donde ocurrieron al menos tres siniestros de tránsito fatales.

Sobre el particular, de los ocho puntos de concentración detectados, el 77% de los siniestros se concentraron en carreteras, el 33% de los siniestros de tránsito fueron de clase choque, seguido por 30% de clase



atropello, además del 47% de los siniestros de tránsito la causa específica fue el exceso de velocidad, entre otros datos relevantes.

En relación a los fallecidos el 38% corresponde a conductores, el 41% a peatones y el 22% a pasajeros.

Tabla N° 1 Listado de PAS identificados en la región Cusco, 2021

| PAS | Región | Provincia | Distrito | Siniestros | Fallecidos |
|---|--------|--------------|-----------------------------|------------|------------|
| Carretera Cusco - Abancay KM. 895 | Cusco | Anta | Limatambo | 3 | 3 |
| Jirón Jaquijahuama - Izcuchaca | Cusco | Anta | Anta | 4 | 4 |
| Carretera Cusco - Saylla | Cusco | Cusco | Saylla | 4 | 5 |
| Carretera Cusco - Tipón | Cusco | Cusco | Saylla | 3 | 3 |
| Carretera Cusco - Sicuani altura de San Pedro. | Cusco | Canchis | San Pedro | 4 | 4 |
| Carretera Sicuani - Juliaca altura Roca del Rey León. | Cusco | Canchis | Marangani | 4 | 5 |
| Longitudinal de la Sierra sur altura Av. Santa Bárbara. | Cusco | Chumbivilcas | Santo Tomás | 3 | 3 |
| Av. De La Cultura y Prolongación. | Cusco | Cusco | San Jerónimo, San Sebastián | 5 | 5 |
| Total | | | | 30 | 32 |

Fuente: Observatorio Nacional de Seguridad Vial
Elaboración: Dirección de Seguridad Vial – MTC

De lo expuesto párrafos anteriores, referente al recuento historio de incidentes en la región de Cusco-Perú, a continuación, se desarrollará los conceptos básicos a considerar para el presente trabajo:

2.2. CONCEPTO DE SEGURIDAD VIAL

El (Ministerio Transportes y Comunicaciones, 2017) de Perú, conceptualiza que la seguridad vial, es el conjunto de acciones orientadas a incrementar la seguridad intrínseca y la calidad de protección de las redes viales, en beneficio de las y los usuarios de las vías. De este modo, la seguridad vial es el conjunto de acciones que se orientan a cuidar la vida de la población del país en su proceso de movilidad, y eso implica la observancia a todos los factores que inciden en dicho proceso.

Por otra parte, indica también que la seguridad vial, es considerada como un proceso integral donde se articulan y ejecutan, políticas, estrategias, normas, procedimientos y actividades, con la finalidad de proteger a las y los usuarios del sistema de tránsito y su medio ambiente, en un marco de respeto a sus derechos fundamentales.



2.3. ACCIDENTE DE TRANSITO

De la investigación de (Diaz Orta, 2015), se pudo recopilar que un accidente de tránsito, es considerado como un producto de la casualidad, desgracia, contratiempo, catástrofe, infortunio, desventura o cualquier otra situación relacionada al azar, a lo inevitable, también piensa que poco se puede hacer para prevenirlos o evitarlos.

Sin embargo, la definición de accidente desde el punto de vista de la seguridad vial tiene un sentido totalmente distinto, pues se define como “evento en el cual uno o más vehículos colisionan, ocasionando daños a la propiedad, lesiones o muerte. Dicho evento es aleatorio pero su probabilidad de ocurrencia puede ser minimizada mediante modificaciones del comportamiento del usuario, diseño del vehículo, geometría del camino o ambiente de viaje”.

De estos conceptos sobre accidente de tránsito, diferentes autores como J.C. Dextre y A. García señalan que estos sucesos viales no suelen ocurrir de manera fortuita, más bien estos obedecen a factores ligados con la conducta humana, con el vehículo y el entorno que pueden ser prevenidas y controladas. Por tanto, ambos autores ponen énfasis en diferenciar el término “accidente” de “siniestro” a fin de frenar la confusión y la atenuación de responsabilidades. De igual manera, según el Banco Interamericano de Desarrollo una palabra puede hacer la diferencia. Necesitamos dejar de llamarles “accidentes” y comenzar a hablar de “siniestros”.

Análogamente las organizaciones internacionales dedicadas a aspectos de seguridad en carreteras, han sugerido reemplazar la palabra “accidente” por la palabra “choque o siniestro”, porque choque o siniestro implica que la colisión pudo haberse evitado o minimizado su efecto mediante la modificación del comportamiento del conductor, del diseño del vehículo, la geometría del camino o las condiciones del medio ambiente. La palabra “choque” no es una terminología universalmente aceptada en todas sus modalidades del transporte, y es muy común en el contexto de incidentes de tránsito y en el de carreteras.

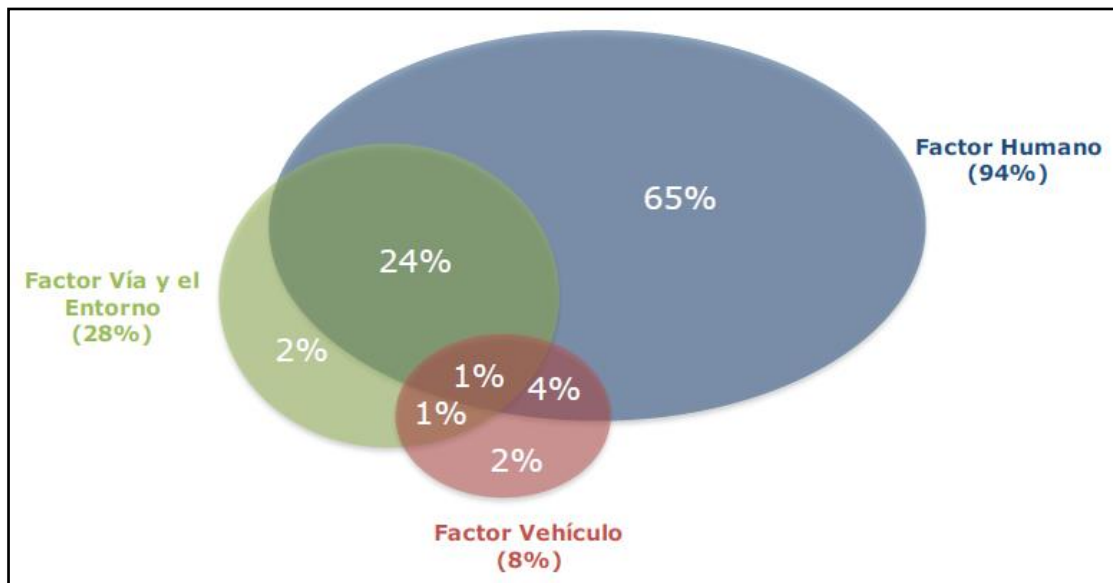
2.4. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL SINISTRO O CHOQUE

Los factores que influyen la siniestralidad de acuerdo al (Ministerio Transportes y Comunicaciones, 2017) son, la infraestructura y/o vía, el vehículo y usuario.

Una determinada colisión, puede tener a dos o incluso a los tres factores como contribuyentes en mayor o menor medida. Este hecho genera dificultad al momento de asignar responsabilidad de una colisión ya que puede asignarse erróneamente a un elemento como el factor contribuyente principal, cuando se desconoce la contribución de los otros elementos.

A continuación, se muestra los factores que interactúan en un siniestro vial

Imagen N° 6 Los tres factores que contribuyen en los siniestros viales de acuerdo al MSV



Fuente: Manual de Seguridad Vial Perú, 2017

Elaboración: New South Wales Roads and Traffic Authority (RTNSW), 1996

Por consiguiente, al momento de obtener data estadística se debe tener precaución en la interpretación de la misma, ya que en el Perú en la mayoría de los casos el personal policial no registrará la contribución de la vía en la ocurrencia de la colisión, salvo que esta sea muy evidente (semáforo apagado, por ejemplo). Este hecho genera que se sobreestime la contribución del usuario en la ocurrencia de accidentes. Es por este motivo que las estadísticas que se manejan a nivel nacional, casi siempre muestran una contribución desproporcionadamente alta del usuario sobre aquella de la vía o vehículo.

A modo de entender a detalle sobre los factores como influyen en el siniestro el (Llopis Castello, 2017) en su investigación describió de la siguiente manera:



- **FACTOR INFRAESTRUCTURA:** Este factor está relacionado con el diseño geométrico de la carretera. Las carreteras deben ser diseñadas de acuerdo a las expectativas de los conductores, de manera que aquellas zonas donde no se cumplan dichas expectativas podrían presentar una mayor tasa de siniestralidad. Según Treat et al. (1979), en casi un tercio de los accidentes la infraestructura juega un papel de especial relevancia. En este sentido, los accidentes tienden a concentrarse en puntos concretos del trazado.
- **FACTOR HUMANO:** Este factor considera el autor en mención, que es el más importante en la producción de accidentes, ya que está presente en más del 90 % de los mismos (Treat et al., 1979). Este factor se centra en la tarea de conducción de los usuarios a partir de sus condiciones físicas y psíquicas. Además, su interacción con el factor infraestructura cobra gran importancia en el estudio de la consistencia del diseño geométrico.
- **FACTOR VEHÍCULO:** Este factor se centra en cómo el vehículo puede estar implicado en la generación de un accidente. Se centra en fallos de algún elemento del vehículo, bajo mantenimiento, etc. A medida que la tecnología avanza, menor importancia cobra este factor.
- **FACTOR TRÁFICO:** Este, junto al siguiente factor, son menos importantes que los tres anteriores. Las condiciones del tráfico influyen especialmente en el tipo de accidente que se produce.
- **FACTOR ENTORNO:** por último, este factor incluye cualquier factor externo que pueda tener algún tipo de influencia en la producción de un accidente, como por ejemplo las condiciones meteorológicas o lumínicas.

2.4.1. TIPOS DE SINIESTROS DE TRANSITO

Los siniestros de tránsito de acuerdo a (Diaz Orta, 2015), se clasifican de la siguiente manera:

- **Colisión con dos vehículos automotores:** es aquel encuentro violento, accidental o imprevisto de dos o más vehículos en una vía de circulación, del cual resultan averías, daños, pérdida parcial o total de vehículos o



propiedades, así como lesiones leves y/o fatales a personas. Puede ser lateral, frontal, por alcance o por cambio de carril.

- **Colisión frontal:** Las colisiones frontales generalmente son las más graves entre los tipos de colisiones de vehículos. Es usual que la combinación de masa y velocidad de los vehículos conlleve a consecuencias graves o fatales para los ocupantes del vehículo.

La posibilidad de sobrevivir a una colisión frontal se reduce, aun en los autos más modernos, si el vehículo va a una velocidad superior de 70 km/h. En caso de vehículos más viejos o en colisiones de varios vehículos de diferente tamaño, la posibilidad es aún menor a velocidades mucho más bajas.

Este tipo de colisión ocurre cuando un vehículo sale de su carril y entra en el carril del vehículo que viene en sentido contrario. Entre las causas directas de las colisiones frontales tenemos:

- Fatiga o adormecimiento del conductor.
- Conducción bajo los efectos del alcohol, drogas o medicamentos.
- Errores por adelantar a un vehículo, incluida la equivocación al juzgar la velocidad del vehículo que se aproxima.
- Falta de cálculo respecto al pronunciamiento de la curva.
- Pérdida del control o deslizamiento del vehículo.
- Delineación inadecuada.
- Distracción del conductor, incluida la falta de atención debido a los ocupantes del vehículo o al uso de teléfonos móviles.

Es frecuente que este tipo de colisión se deba al ajuste excesivo del volante; por ejemplo, un conductor que vira hacia el borde de la carretera, instintivamente gira el volante para volver a la vía y cruza la calzada. Por ello, la prevención de este tipo de colisión incluye objetos protectores en el centro de la vía y también en los costados. La posibilidad de sobre virar aumentará si hay un desnivel entre la vía y el borde de la carretera o berma,



lo que hará más difícil retornar a la vía. Se debe evitar que haya demasiados desniveles.

- **Colisión por alcance:** Una colisión por alcance involucra a un vehículo o usuario de la vía que impacta contra la parte trasera de otro vehículo o usuario de la vía. Esto puede ocurrir cuando el vehículo delantero reduce la velocidad o se detiene, o porque el vehículo que le sigue está transitando a una mayor velocidad que el vehículo que va delante. Este es un tipo común de colisión vial, aunque a menudo es menos grave que otros tipos de colisiones ya que las velocidades de los vehículos involucrados en una colisión por alcance por lo general son relativamente menores, al estar transitando en el mismo sentido. Además, con frecuencia ocurren después de que ambos vehículos han frenado y por lo tanto, cualquier impacto secundario en el entorno vial circundante es menos grave.

Dicha colisión puede ser más severa si se entra en contacto con vehículos que tienen diferente masa (por ejemplo, auto y ciclista, camión y auto). Las principales causas de una colisión por alcance son el hecho de no dejar suficiente espacio al vehículo que está delante, o la falta de atención. En ambos casos, puede que no haya suficiente tiempo para frenar a fin de evitar una colisión. El tiempo que requiere el conductor para tomar una decisión y frenar es un factor importante y variará de acuerdo con las condiciones de conducción, la velocidad del vehículo y el entorno de la vía. Entre los factores más comunes que pueden contribuir al riesgo de colisiones por alcance se encuentran los siguientes:

- Calidad deficiente de las vías, o vías mal mantenidas (incluyendo presencia de aceite, escombros o agua en la vía).
- Fricción del tránsito debido a frecuentes movimientos de peatones y vehículos que se aparcan en la vía.
- Tránsito que se detiene.
- Mala condición de los neumáticos, frenos y luces de freno de los vehículos.



- Flujo de tránsito inestable en una vía de alta velocidad (por ejemplo, paradas inesperadas en algunas vías durante periodos de mayor tránsito).
- **Colisión por cambio de carril:** Las colisiones por cambio de carril ocurren cuando un vehículo intenta cambiar de carril o colisiona con otro vehículo que viaja en la misma dirección. Este tipo de colisión es más común en vías de alto volumen de tránsito con múltiples carriles (como las autopistas y las vías principales de las ciudades).

También es común donde hay actividades al costado de la carretera (como mercados o lugares en los que los vehículos públicos recogen y dejan pasajeros).

Es frecuente que la gravedad de la colisión entre los vehículos sea baja debido a que la velocidad es relativamente baja. Sin embargo, si colisionan vehículos de diferente tamaño o usuarios de la vía, las consecuencias pueden ser muy graves (por ejemplo, una colisión entre un motociclista y un auto, o entre un auto y un camión).

Algunos de los factores relacionados con los conductores que contribuyen a este tipo de colisiones son:

- Fatiga
- Distracción
- Conducción bajo los efectos del alcohol, drogas o medicamentos
- Sobrecarga de información (el conductor debe tomar demasiadas decisiones a la vez)
- Falta de familiaridad con la ruta
- Poca visibilidad, incluidos los 'puntos ciegos'.

Las causas relacionadas con las vías incluyen:

- Carriles de incorporación inesperados o desniveles deficientes en los carriles
- Actividad al lado de la carretera



- Falta de señales de dirección o líneas divisorias
- **Colisión con peatón (atropellamiento):** Evento vial donde un vehículo de motor arrolla o golpea a una persona que transita o que se encuentra en alguna vía pública, provocando lesiones leves o fatales.

Las colisiones entre peatones y vehículos ocurren en diversas situaciones, tales como:

- Cruzarse en el camino de un vehículo, especialmente al intentar cruzar la vía.
- Caminar por el costado de la carretera, o en la vía misma
- Jugar o trabajar en la vía
- En caminos de entrada o aceras
- Al subir o bajar de vehículos de transporte público.

La gravedad de las colisiones con peatones depende en gran medida de la velocidad del tránsito. Algunas investigaciones han demostrado que la probabilidad de que un peatón sobreviva a un impacto con un vehículo motorizado se reduce drásticamente por encima de 30 km/h e incluso a velocidades menores, puede causar daños graves, especialmente a niños o personas de la tercera edad. El riesgo de que los peatones sufran lesiones se incrementa por diversos factores relacionados con el entorno de la vía, tales como:

- Tránsito a alta velocidad
- Cruces inadecuados
- Falta de oportunidades para el cruce de peatones (brechas en el tráfico que pasa)
- Número de carriles para cruzar
- Complejidad e imprevisibilidad de los movimientos de tránsito en una intersección



- Separación inadecuada del tránsito
- Distancia de visibilidad deficiente en un cruce.
- **Colisión con animal:** Es aquel accidente en el que un vehículo de motor arrolla a cualquier tipo de animal provocando daños materiales, inclusive lesiones leves o fatales a personas ocupantes o no del vehículo.
- **Colisión con objeto fijo:** Encuentro violento de un vehículo de motor con cualquier tipo de objeto, que por sus características se encuentre sujeto al piso o asentado en él, tales como postes, guarniciones, señales de tránsito, árboles y contenedores de basura.

También se incluye en este tipo de colisión, el percance de un automotor en movimiento contra otro estacionado.

- **Volcadura:** Es el tipo de accidente que debido a las circunstancias que lo originan, provocan que el vehículo pierda su posición normal, incluso dé una o varias volteretas.
- **Caída de pasajero:** Accidente donde una o más personas que viajan en el vehículo, (excluyendo al conductor), caen fuera del mismo. No se considera este tipo de accidente si la caída fue por consecuencia de otro tipo de accidente.
- **Salida de camino:** Evento en donde el vehículo, por causas circunstanciales, abandona de manera violenta e imprevista la vía de circulación por la cual transita. Incluso si por la acción del vehículo cae a una zanja, cuneta o barranca.

Las colisiones por salirse de la vía son comunes, especialmente en áreas de alta velocidad. Ocurren tanto en las curvas como en los tramos rectos. Sus consecuencias pueden ser graves en áreas de alta velocidad, particularmente si chocan con un objeto (árboles, postes, peatones) o si hay un terraplén empinado o precipicio.

Algunas investigaciones demuestran que la tasa de supervivencia de una colisión frontal se reduce notoriamente cuando el vehículo se conduce a más



de 70 km/h, mientras que un impacto lateral contra un poste o árbol se reduce en gran medida a una velocidad por encima de 40 km/h. Por ello, es frecuente que las consecuencias de salirse de la vía por encima de esta velocidad sean graves.

Este tipo de colisiones ocurre por diversas causas, entre ellas:

- Fatiga del conductor
- Conducir bajo los efectos del alcohol, drogas o medicamentos
- Exceso de velocidad
- Evitar peligros en la vía.

Además, los siguientes elementos de las vías contribuyen a que haya una incidencia más alta de colisiones por salida de vía:

- Presencia de curvas en las vías (especialmente cuando son inesperadas o más cerradas de lo usual)
- Bermas angostas o ausencia de ellas
- Malas condiciones de la superficie de rodamiento.
- **Incendio:** Es el accidente ocasionado por un corto circuito, derrame de combustible o cuestiones desconocidas, que propician la generación de fuego mediante el cual se consume parcial o totalmente el vehículo automotor. No se clasifica el accidente en este tipo, si el incendio es resultado de una colisión con otro vehículo automotor en circulación, o si el fuego se produce después de una colisión, volcadura o salida del camino.
- **Colisión con ferrocarril:** Choque de un vehículo automotor con una locomotora, vagón, góndola o cualquier otro vehículo clasificado como transporte ferroviario.

Colisión con motocicleta: Percance vial en donde un vehículo automotor de cualquier tipo, tiene un encuentro violento, accidental o imprevisto con una motocicleta. Incluso se puede dar el caso de que sea entre dos motocicletas.



- **Colisión con ciclista:** Hecho en el cual un vehículo automotor de cualquier tipo, arrolla a un ciclista sobre la vía de circulación o en un cruce vial.

2.5. DISEÑO DE CARRETERAS

El diseño geométrico en una carretera, es la parte principal para determinar las condiciones de funcionalidad, seguridad, comodidad, integración ambiental, armonía y estética.

Aunque el resultado del diseño es tridimensional, la realidad es que se trata de un proceso iterativo en el que entran en juego el trazado en planta, el trazado en alzado y la sección transversal. En cada una de las iteraciones se intenta optimizar la consecución de los objetivos para los que ha sido diseñada la infraestructura a partir de las restricciones que presenta la misma.

El parámetro más importante en el proceso de diseño, es la velocidad de diseño. Esta velocidad es seleccionada por los ingenieros a partir de la clasificación funcional de la carretera, las expectativas de los conductores, la orografía y el uso del suelo por consiguiente tiene también una influencia mayúscula en las características del trazado, ya que establece, entre otros, el radio mínimo de las curvas horizontales, la distancia de visibilidad mínima, el parámetro mínimo de los acuerdos verticales y las dimensiones de la sección transversal. (Llopis Castello, 2017)

2.5.1. CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS

De acuerdo al (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Diseño Geométrico DG-2018, 2018), las carreteras del Perú se clasifican por su demanda y orografía, a continuación, desarrollaré ambos parámetros estipulados en el manual antes mencionado:

Clasificación por su demanda:

- **Autopistas de Primera Clase:** Son carreteras con IMDA (Índice Medio Diario Anual) mayor a 6 000 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central mínimo de 6.00 m; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3.60 m de ancho como mínimo, con control total de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos



vehiculares continuos, sin cruces o pasos a nivel y con puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

- **Autopistas de Segunda Clase:** Son carreteras con un IMDA entre 6000 y 4 001 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central que puede variar de 6.00 m hasta 1.00 m, en cuyo caso se instalará un sistema de contención vehicular; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3.60 m de ancho como mínimo, con control parcial de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos; pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel y puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

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

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

- **Carreteras de Segunda Clase:** Son carreteras con IMDA entre 2 000 y 400 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.30 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

- **Carreteras de Tercera Clase:** Son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3.00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2.50 m, contando con el sustento técnico correspondiente.



Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase.

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

Por otra parte, la clasificación de la vía prevalece en función a la orografía predominante del terreno por dónde discurre su trazo, a continuación de detalla los tipos:

- **Terreno plano (tipo 1):** Tiene pendientes transversales al eje de la vía, menores o iguales al 10% y sus pendientes longitudinales son por lo general menores de tres por ciento (3%), demandando un mínimo de movimiento de tierras, por lo que no presenta mayores dificultades en su trazo.
- **Terreno ondulado (tipo 2):** Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 11% y 50% y sus pendientes longitudinales se encuentran entre 3% y 6 %, demandando un moderado movimiento de tierras, lo que permite alineamientos rectos, alternados con curvas de radios amplios, sin mayores dificultades en el trazo.
- **Terreno accidentado (tipo 3):** Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 51% y el 100% y sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre 6% y 8%, por lo que requiere importantes movimientos de tierras, razón por la cual presenta dificultades en el trazo.



- **Terreno escarpado (tipo 4):** Tiene pendientes transversales al eje de la vía superiores al 100% y sus pendientes longitudinales excepcionales son superiores al 8%, exigiendo el máximo de movimiento de tierras, razón por la cual presenta grandes dificultades en su trazo.

2.5.2. CRITERIOS Y CONTROLES PARA EL DISEÑO DE ACUERDO AL DG-2018

En esta sección se presentan los criterios, factores y elementos que deberán adoptarse para realizar los estudios preliminares que definen el diseño geométrico de las carreteras, así como las carreteras que serán rehabilitadas y mejoradas especialmente en su trazo de acuerdo al (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Diseño Geométrico DG-2018, 2018).

2.5.3. NIVELES DE ESTUDIOS PRELIMINARES

Los estudios preliminares deben dar respuesta, básicamente, a cuatro interrogantes fundamentales, estos son:

- Definición preliminar de las características y parámetros de diseño.
- Identificación de rutas posibles.
- Anteproyectos preliminares de las rutas posibles.
- Selección de rutas.

2.5.4. CRITERIOS BÁSICOS

Proyecto y estudio: El término “proyecto” incluye las diversas etapas que van desde la concepción de la idea, hasta la materialización de una obra civil, complejo industrial o programa de desarrollo en las más diversas áreas. En consecuencia, el proyecto es el objetivo que motiva las diversas acciones requeridas para poner en servicio una nueva obra vial, o bien recuperar o mejorar una existente.

Las materias tratadas en el manual de diseño geométrico – 2018, están referidas a los diversos estudios preliminares y estudios definitivos requeridos, en sus diferentes fases, todo lo cual será identificado como “Estudios”.



No obstante, dentro de la amplitud asignada al término “Proyecto”, se le identificará bajo el término “Proyectista” a la organización, equipo o persona que asume la responsabilidad de realizar los estudios en sus diferentes fases.

Estándar de diseño de una carretera: La Sección Transversal, es una variable dependiente tanto de la categoría de la vía como de la velocidad de diseño, pues para cada categoría y velocidad de diseño corresponde una sección transversal tipo, cuyo ancho responde a un rango acotado y en algunos casos único.

El estándar de una obra vial, que responde a un diseño acorde con las instrucciones y límites normativos establecidos en el presente, queda determinado por:

1. La Categoría que le corresponde (autopista de primera clase, autopista de segunda clase, carretera de primera clase, carretera de segunda clase y carretera de tercera clase).
2. La velocidad de diseño (V).
3. La sección transversal definida.

2.6. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS PROYECTOS VIALES

Los proyectos viales para efectos del diseño geométrico se clasifican de la siguiente manera:

- **Proyectos de nuevo trazo:** Son aquellos que permiten incorporar a la red una nueva obra de infraestructura vial.

El caso más claro corresponde al diseño de una carretera no existente, incluyéndose también en esta categoría, aquellos trazos de vías de evitamiento o variantes de longitudes importantes.

Para el caso de puentes y túneles, más que un nuevo trazo constituye un nuevo emplazamiento. Tal es el caso de obras de este tipo generadas por la construcción de una segunda calzada, que como tal corresponde a un cambio de trazo de una ruta existente, pero para todos los efectos, dichas obras requerirán de estudios definitivos en sus nuevos emplazamientos.



- **Proyectos de mejoramiento puntual de trazo:** Son aquellos proyectos de rehabilitación, que pueden incluir rectificaciones puntuales de la geometría, destinadas a eliminar puntos o sectores que afecten la seguridad vial. Dichas rectificaciones no modifican el estándar general de la vía.
- **Proyectos de mejoramiento de trazo:** Son aquellos proyectos que comprenden el mejoramiento del trazo en planta y/o perfil en longitudes importantes de una vía existente, que pueden efectuarse mediante rectificaciones del eje de la vía o introduciendo variantes en el entorno de ella, o aquellas que comprenden el rediseño general de la geometría y el drenaje de un camino para adecuarla a su nuevo nivel de servicio.

En casos de ampliación de calzadas en plataforma única, el trazo está controlado por la planta y el perfil de la calzada existente. Los estudios de segundas calzadas con plataformas independientes, deben abordarse para todos los efectos prácticos, como trazos nuevos.

2.7. CONCEPTO DE LA VELOCIDAD

La velocidad de los vehículos es el parámetro clave en el diseño geométrico de carreteras. Una cuestión fundamental en las guías de carreteras es sobre qué velocidad se debería realizar el diseño de la misma. A nivel mundial, la respuesta se tiene a la velocidad de proyecto o diseño.

Sin embargo, recientemente han incrementado las preocupaciones sobre la selección y aplicación de la velocidad de diseño. El principal problema radica en que esta velocidad es bastante dispar a la velocidad real con la que los conductores operan sus vehículos. A principios de los años 70, Australia y varios países europeos, que previamente utilizaban el concepto de velocidad de diseño de manera similar a España y EEUU, reexaminaron el concepto y revisaron sus métodos para hacer frente a dicha problemática. (Llopis Castello, 2017)

A continuación, se definen los conceptos más interesantes relacionados con la velocidad: velocidad de diseño, velocidad de operación y velocidad de operación inercial.



2.7.1. VELOCIDAD DE DISEÑO

(Felipe Chiquito, 2014) en su investigación menciona que el origen de la velocidad de diseño ha evolucionado durante el transcurso de los años, en 1936, Barnett definió a la velocidad de diseño como "la máxima velocidad, razonablemente, uniforme que adoptaría el grupo más rápido de conductores, una vez alejados de zonas urbanas", concepto que adoptaría la AASTHO a partir de 1938 realizándole una pequeña corrección "la velocidad de diseño es la velocidad máxima, aproximadamente, uniforme que, probablemente, será adoptada por el grupo más rápido de conductores, pero no, necesariamente, por el pequeño porcentaje de imprudentes". Pero no fue sino hasta la década de los 60 cuando se inició darle importancia a la verdadera velocidad de conducción con el objetivo de poder evaluar los parámetros de diseño.

Actualmente (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Diseño Geométrico DG-2018, 2018), conceptualiza a la velocidad diseño como aquel en el cual se escoge para el diseño, entendiéndose que será la máxima que se podrá mantener con seguridad y comodidad, sobre una sección determinada de la carretera, cuando las circunstancias sean favorables para que prevalezcan las condiciones de diseño.

En el proceso de asignación de la Velocidad de Diseño, se debe otorgar la máxima prioridad a la seguridad vial de los usuarios. Por ello, la velocidad de diseño a lo largo del trazo, debe ser tal, que los conductores no sean sorprendidos por cambios bruscos y/o muy frecuentes en la velocidad a la que pueden realizar con seguridad el recorrido.

Los proyectistas, para garantizar la consistencia de la velocidad, debe identificar a lo largo de la ruta, tramos homogéneos a los que, por las condiciones topográficas, se les pueda asignar una misma velocidad. Esta velocidad, denominada Velocidad de Diseño del tramo homogéneo, es la base para la definición de las características de los elementos geométricos, incluidos en dicho tramo. Para identificar los tramos homogéneos y establecer su Velocidad de Diseño, se debe atender a los siguientes criterios:



1. La longitud mínima de un tramo de carretera, con una velocidad de diseño dada, debe ser de tres (3.0) kilómetros, para velocidades entre veinte y cincuenta kilómetros por hora (20 y 50 km/h) y de cuatro (4.0) kilómetros para velocidades entre sesenta y ciento veinte kilómetros por hora (60 y 120 km/h).
2. La diferencia de la Velocidad de Diseño entre tramos adyacentes, no debe ser mayor a veinte kilómetros por hora (20 km/h).

2.7.2. VELOCIDAD DE OPERACIÓN

El (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Diseño Geométrico DG-2018, 2018), indica que la velocidad de operación, es aquella velocidad máxima a la que pueden circular los vehículos en un determinado tramo de una carretera, en función a la velocidad de diseño, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito, estado del pavimento, meteorológicas y grado de relación de ésta con otras vías y con la propiedad adyacente.

Si el tránsito y las interferencias son bajas, la velocidad de operación del vehículo es del orden de la velocidad de diseño por tramo homogéneo, no debiendo sobrepasar a ésta. A medida que el tránsito crece, la interferencia entre vehículos aumenta, tendiendo a bajar la velocidad de operación del conjunto. Este concepto es básico para evaluar la calidad del servicio que brinda una carretera, así como parámetro de comparación, entre una vía existente con características similares a una vía en proyecto, a fin de seleccionar una velocidad de diseño por tramos homogéneos, lo más acorde con el servicio que se desee brindar.

Del mismo modo, la velocidad de operación es definida por la AASHTO como “la velocidad a la cual los usuarios de la vía pueden conducir sus vehículos bajo condiciones de flujo libre”. Esta condición de flujo libre se consigue cuando la selección de la velocidad no está influenciada por la interacción con otros vehículos o por la presencia de dispositivos de control de la velocidad. Habitualmente, se considera que un conductor circula en flujo libre cuando entre su vehículo y su sucesor han transcurrido como mínimo 5 segundos.



Esta velocidad refleja la operación o comportamiento real de los conductores al recorrer un determinado tramo de carretera. Los usuarios seleccionan su velocidad de acuerdo, entre otros factores, a las características geométricas de la carretera, el entorno, la clasificación funcional de la carretera y las normas de tráfico.

Los conductores no conocen la velocidad de diseño con la cual ha sido proyectado un determinado tramo de carretera. Por tanto, puede darse el caso de que se produzcan velocidades de operación distintas a la velocidad de diseño. Si la diferencia entre ambas velocidades es elevada, podrían llegar a producirse problemas serios de seguridad. Por ello, la velocidad de operación debería tenerse en cuenta de alguna forma a lo largo del proceso de diseño de carreteras.

La aplicación de esta velocidad en la práctica se realiza, comúnmente, a través del percentil 85 de la distribución de velocidades a la que operan los vehículos ligeros en condiciones de flujo libre y sin restricciones ambientales. Así pues, se debe distinguir entre vehículos ligeros, comprendido por turismos y camiones ligeros, y vehículos pesados, debido a la diferencia de distribución de velocidades entre ambos grupos. Además, destacar también que la velocidad de operación dependerá del punto donde sea medida con respecto a la curva horizontal, incluso pudiendo diferir de un sentido de circulación al otro para una misma curva. A pesar de que esta velocidad se desarrollará en la carretera en la etapa de explotación, existen multitud de modelos que permiten, con mayor o menor precisión, estimar el perfil de velocidad de operación de un tramo de carretera a partir, fundamentalmente, de variables relacionadas con la geometría del trazado.

Muchas han sido las investigaciones llevadas a cabo para determinar qué variables tienen mayor influencia en la velocidad de operación, las cuales pueden agruparse en los siguientes grupos de factores:

- Factores geométricos: algunos elementos de la carretera, tales como las curvas horizontales o puntos de baja visibilidad, condicionan significativamente el comportamiento de los conductores. En estos elementos, un exceso de velocidad podría conducir a menores niveles



de seguridad o confort. Por tanto, algunas de las variables que mayor influencia tienen en la elección de la velocidad de operación son el radio en las curvas horizontales y la longitud y la pendiente en rectas.

- Factores no geométricos: en aquellos elementos de la carretera donde el trazado no actúa de control sobre el comportamiento de los conductores, estos son libres para escoger su velocidad. En estos casos, las variables que el conductor considera para seleccionar su velocidad hacen referencia al entorno o la clasificación funcional de la carretera, entre otras. Estas variables son más difíciles de cuantificar y, por tanto, de incluir en los modelos.
- Factores sociales: cada conductor es único y, por tanto, diferente al resto. Ellos presentan diferentes niveles de estrés o concentración, propósitos de viaje, experiencia, habilidades, etc. Además, cada vehículo presenta diferentes características. Todo esto también influye en la selección de la velocidad de operación. Sin embargo, los modelos son calibrados para todos los conductores. Por ello, la gran parte de la variabilidad no explicada de los modelos está asociada a las condiciones particulares de los conductores.

2.7.3. VELOCIDAD DE OPERACIÓN INERCIAL

El concepto y estudio sobre la velocidad de operación inercial es tratado en la tesis doctoral de (Llopis Castello, 2017), en donde define como la medida sustitutoria de las expectativas ad hoc de los conductores. Estas expectativas son creadas en cada conductor a medida que recorren un determinado tramo de carretera, por lo que la memoria a corto plazo tiene un papel fundamental en este proceso.

Esta velocidad media ponderada ofrece mejores resultados que la media aritmética. La distribución de pesos que mostró en su investigación fueron los resultados de la distribución lineal, donde otorgo un peso igual a 0 a aquella velocidad de operación desarrolladas es 15 segundos antes y un peso de 1 a aquella velocidad de operación desarrollada inmediatamente anterior a un determinado punto de la carretera.



Por tanto, el perfil de velocidad de operación inercial responde adecuadamente al comportamiento de la mente de los conductores y, como consecuencia, es capaz de representar de manera precisa las expectativas ad hoc de los conductores.

2.8. PERFIL DE VELOCIDADES

La velocidad de operación es el pilar fundamental sobre el que se asienta este proceso de diseño, por lo que es necesario introducir los fundamentos y las metodologías para su estimación.

Para desarrollar un perfil de velocidad de operación es necesario contar con modelos de velocidad de operación para los elementos geométricos curva circular y recta, además de modelos para estimar las tasas de aceleración y deceleración, y unas reglas de construcción.

A continuación, se muestra las reglas de la construcción de un perfil de velocidades:

1. Cálculo de la velocidad de operación en todas las rectas y curvas circulares que componen el trazado. Las velocidades calculadas deberán extenderse hasta los límites de dichos elementos geométricos. Las curvas de transición (clotoides) permanecerán sin velocidad asignada.
2. Eliminación de velocidades anómalas. Cuando se emplean modelos de velocidad de operación para curvas y rectas procedentes de diversas fuentes, es posible que ocurran pequeñas discordancias, dando lugar a, por ejemplo, rectas con velocidad inferior a las dos curvas adyacentes. En este caso la velocidad de la recta se elimina.
3. Se recorre el perfil desde el inicio hasta el final, para localizar cada una de las zonas donde cambia la velocidad. Existen dos posibilidades: que haya curva de transición o que no. Para cada una de ellas se procede del siguiente modo:
 - a) En el caso de que exista curva de transición, desde el elemento con menor velocidad se aplica la tasa de aceleración o deceleración, según corresponda el sentido del escalón de velocidades, hasta llegar a la velocidad del otro elemento o intersectar el perfil de velocidad de

operación. En caso de que siga habiendo un tramo sin velocidad, se completará con la del elemento de mayor velocidad.

- b) En el caso de que no haya curva de transición, el salto teórico es puntual. Desde el elemento con menor velocidad se aplica la tasa de aceleración o deceleración, según corresponda el sentido del escalón de velocidades, hasta interceptar el perfil de velocidad de operación.

Estos modelos, responden al comportamiento observado de los conductores gráficamente, a continuación, se van a describir los métodos desarrollados por (Pérez et al. 2010) y (Llopis Castello, 2017), el cual se adecua al estudio del presente trabajo final de master:

2.8.1. PERFIL DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN POR PÉREZ-ZURIAGA (2012)

El perfil de velocidades de operación propuestos por (Pérez-Zuriaga, 2012), representa la velocidad de operación para curvas y tramos de tangencia, a continuación, se muestra para ambos tipos de geometría de una vía.

EL MODELO DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN EN CURVA (V85C):

Viene definido por el radio de la misma (R) según la expresión:

$$V85C = 106.863 - \frac{60,1185}{e 0.00422596.R} (km/h)$$

EL MODELO DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN EN RECTA (V85R):

Depende de la longitud en metros de la misma (L):

- Rectas con longitud mayor o igual a 700 metros:

$$V85R = \sqrt{-1464,72 + 351,288 * \sqrt{L}}(km/h)$$

- Rectas con longitud menor a 700 metros:

Donde R1 y R2 son los radios de las curvas anterior y posterior a la recta, respectivamente (m); y V85C la velocidad de operación de la curva anterior (km/h).

$$V_{85R} = 0,362739 * V_{85c} + \frac{59,6982}{e^{-0,0000472302*GM}} \text{ (km/h)}$$

$$GM = \frac{L * \sqrt{R1 * R2}}{100}$$

- Radio de la curva anterior mayor a 600 metros:

$$V_{85R} = \sqrt{7399,27 + 3,03956 * L} \text{ (km/h)}$$

Finalmente, las tasas de aceleración (a_{85}) y de deceleración (d_{85}) serán estimadas a partir de las ecuaciones siguientes, donde la variable explicativa es el radio de la curva (R):

$$a_{85} = \frac{1}{-1,49325 + 0,548458 * \ln(R)} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

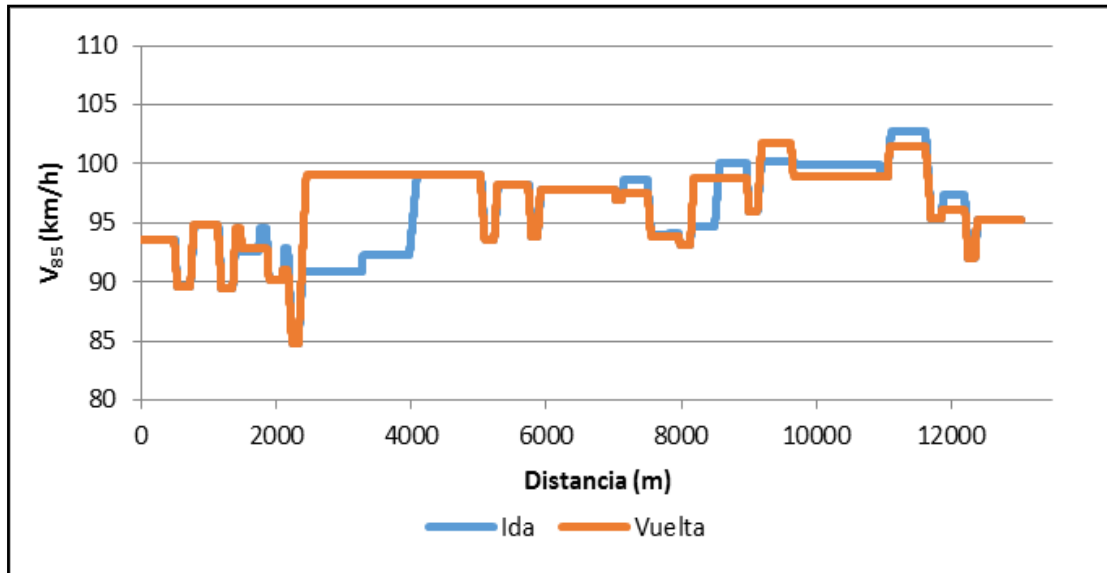
$$d_{85} = \sqrt{-0,0652071 + \frac{201,174}{R}} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

Una vez calculados todos los parámetros del perfil, se tratará de unir las velocidades estimadas en curvas y rectas a partir de las tasas de aceleración y deceleración correspondientes. Este proceso siempre se realizará desde el elemento que presente menor velocidad al que presente mayor velocidad siguiendo las siguientes reglas de construcción:

- La velocidad de operación permanece constante a lo largo del tramo circular de la curva horizontal. Por tanto, la transición de velocidad tendrá lugar en las secciones rectas y las curvas de transición. Esta regla solo puede ser incumplida si se da el caso particular de dos curvas consecutivas o se observa un salto brusco de la velocidad. Entonces, esta regla es solo válida para aquellos elementos geométricos que producen las menores velocidades de operación.
- Si existe una recta con una velocidad de operación menor que la de sus curvas adyacentes, esta velocidad será substituida por la menor velocidad de operación de ambas curvas.

A continuación, se muestra un ejemplo el perfil de velocidades de operación de cada segmento homogéneo, analizado de una vía de España:

Imagen N° 7 Perfil de velocidades de operación



Fuente: David Llopis Castello, 2017

2.8.2. PERFIL DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN INERCIAL

La velocidad de operación inercial (V_i) es la variable principal para desarrollar el perfil de velocidades de este modelo. Esta velocidad trata de representar las expectativas ad hoc de los conductores. En este sentido, se conoce que la memoria a corto plazo de los conductores depende del tiempo y, además, esta se va actualizando a medida que transcurre el mismo (Revlín, 2012). De esta manera, los conductores recuerdan mejor aquello que han visualizado en última instancia.

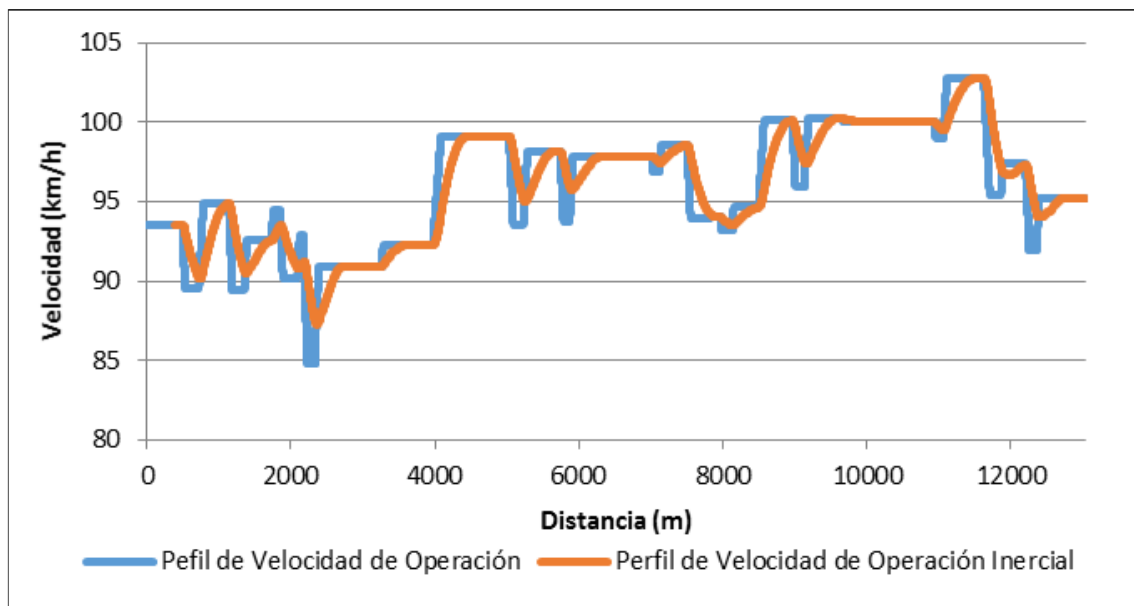
La velocidad de operación inercial se calcula en cada punto del trazado como la media ponderada de las velocidades de operación desarrolladas en un determinado tiempo t o una longitud L anterior a ese punto, considerando una determinada distribución de pesos, que trata de representar cómo la mente humana gestiona la información visual.

$$V_{i,k} = \frac{\sum w_j * V_{85,j}}{\sum w_j}$$

De la ecuación matemática antes mostrada, $V_{i,k}$ es la velocidad de operación inercial en el punto k ; w_j es el valor del peso en el intervalo j ; y $V_{85,j}$ es el valor de la velocidad de operación en el intervalo j .

A continuación, se muestra un ejemplo del perfil de velocidad inercial, obtenido de la estimación de la velocidad inercial de una vía de España. (Llopis Castello, 2017)

Imagen N° 8 Perfil de velocidades de operación inercial



Fuente: David Llopis Castello, 2017

2.9. CONSISTENCIA DE DISEÑO GEOMÉTRICO

(Gallegos Acevedo, 2013), en su investigación definió a la consistencia de diseño de una vía como la homogeneidad geométrica de los elementos que la componen, esto quiere decir, que cuando un conductor recorre un tramo de vía, espera que sus elementos sean los más uniformes considerando que cambios repentinos de los mismos pueden producir situaciones inseguras que se traducen en accidentes.

Gran parte de las normativas de diseño entregan procedimientos para la elección de los elementos geométricos mínimos que componen una vía. Para el alineamiento horizontal se proporcionan recomendaciones según la velocidad de diseño: selección de radio, factor de fricción y peralte. Sin embargo, diversos estudios han demostrado debilidades de los métodos basados en la velocidad de diseño (McLean, 1980), ya que no incorporan el concepto de consistencia explícitamente. No obstante, durante el proceso de diseño, es necesario



anticipar la interacción de los elementos de la carretera, con la operación vehicular y el entorno, con la finalidad de lograr un diseño consistente que cumpla con las expectativas del conductor en la ruta. En las últimas décadas se han documentado estudios en Australia (McLean, 1981), Estados Unidos (Krames, 1995), Chile (Echaveguren y Sáez, 2001) y otros, que demuestran que los conductores superan las velocidades de diseño cuando éstas están bajo los 90 Km/hr. Un estudio realizado en los Estados Unidos demostró que en curvas que obligan a decelerar más de 20 Km/hr, la posibilidad de sufrir accidentes aumenta seis veces si se la compara con la situación de velocidad uniforme. Por lo tanto, el nivel de consistencia de una vía influye en el comportamiento de los conductores que la recorren y en la frecuencia de accidente en el camino. Esta idea fue postulada por Glennon y Horwod (1980) los cuales, determinaron que un diseño consistente tiene directa relación con la expectativa del conductor. En consecuencia, un diseño es considerado consistente si su geometría se encuentra acorde a las expectativas del conductor, de esta manera estos evitan maniobras críticas que pueden resultar en accidentes (Irizarry y Krames, 1998). Así mismo en Cuaderno Tecnológico de la PTC, indica que una de las principales formas de evaluar el nivel de seguridad asociado al diseño geométrico de una carretera es a través del análisis de su consistencia, especialmente en carreteras convencionales de calzada única.

El concepto de consistencia en el diseño geométrico está relacionado con el objetivo de lograr la máxima conformidad entre las características geométricas de la carretera y las operacionales resultantes, y las expectativas del conductor conforme la recorre.

Los conductores adoptan su evolución, principalmente su velocidad, en función de las características que perciben de la carretera y del entorno. Por tanto, la geometría de la misma condiciona de forma importante, pero también la orografía del terreno colindante y la densidad urbanística del entorno. No será igual la velocidad que esperen poder desarrollar en una autopista que en una carretera de calzada única, ni en una orografía llana que ondulada o accidentada.

Estas expectativas de los conductores pueden ser de dos tipos:

- **A PRIORI**, referidas a las expectativas que un conductor tiene asociadas a determinados tipos de carreteras por su experiencia al volante, que le



permiten conducir de forma previsible, especialmente en cuanto a los niveles de velocidad que espera poder desarrollar con comodidad y seguridad.

- **AD HOC**, referidas a las expectativas que el conductor va adquiriendo conforme recorre un determinado tramo de carretera, adaptándose paulatinamente a las características percibidas de lo que se acaba de recorrer. Así, en función de las expectativas previas, el conductor requerirá un diseño coherente entre el tipo de vía y su geometría y equipamiento. Además, según las expectativas que se forman al recorrer el tramo de carretera, el conductor espera que el diseño presente una evolución continua y paulatina de sus características geométricas.

Al ser la consistencia la relación entre el comportamiento de la vía y lo que el conductor espera de la misma, un alto grado de consistencia implica que la carretera se ajusta mucho a las expectativas del conductor, por lo que no se generarán sorpresas. En cambio, una mala consistencia implica que el comportamiento que permite la carretera es muy diferente a dichas expectativas, generando sorpresas en el conductor y presentando por tanto un mayor riesgo potencial de aparición de accidentes.

En resumen, la definición más aceptada internacionalmente para un diseño geométrico consistente entiende que se trata de minimizar las violaciones de las expectativas de los conductores. Por tanto, los conductores demandan del diseño geométrico la máxima homogeneidad del trazado, que no se requiera de los conductores variaciones bruscas en su nivel de atención y la carga de trabajo que supone su conducción, y que les sea fácil adaptarse a las condiciones geométricas y operacionales, que siempre van a ser cambiantes.

De este modo, un diseño será consistente cuando los elementos geométricos que lo componen y su coordinación impliquen una conducción cómoda y libre de sorpresas. El cumplimiento de las diferentes normativas no asegura necesariamente que la carretera diseñada sea consistente.

A continuación, se van a recoger los criterios de consistencia más importantes, tanto por su uso extendido como por su novedad, haciendo



especial hincapié en los modelos propuestos por (Llopis Castello, 2017), esto debido a que considera dentro de sus criterios las expectativas del conductor y la calibración que se le dio con un nivel de confianza al 95%.

2.9.1. CRITERIOS I Y II DE LAMM

Los métodos de evaluación de la consistencia más extendidos son los desarrollados por Lamm et al. (1999). Establecieron dos criterios relacionados con la velocidad de operación, que incluían la diferencia entre la velocidad de operación de cada elemento geométrico y la de diseño (Criterio I) y la diferencia de velocidad de operación entre elementos geométricos consecutivos (Criterio II). La tabla N° 2 presenta un resumen de los umbrales de consistencia para los criterios I y II.

La ventaja de estos criterios reside fundamentalmente en su sencillez de utilización, ya que su obtención es prácticamente directa a partir del perfil de velocidad de operación.

El Criterio II es más utilizado, ya que su relación con la siniestralidad es clara (es totalmente intuitivo que una mayor reducción de velocidad a priori presentará más problemas para el conductor), además de que localiza la zona sobre la que hay que actuar.

El Criterio I requiere el paso adicional de inferir la velocidad de diseño, lo cual en ocasiones puede ser muy inexacto y complejo. Por otra parte, las consecuencias sobre el diseño no son tan evidentes como en el Criterio II, acercándose más a los criterios globales. Un ejemplo de este caso es un tramo con una única curva cerrada. En este caso, el Criterio I mostraría una consistencia aceptable o mala en el resto del tramo, mientras que sería buena en la curva causa de la problemática. Es por ello que su interpretación debe ser realizada siempre por un experto, a continuación, se muestra los umbrales propuestos por Lamm, para la evaluación de consistencia de una vía:

*Tabla Nº 2 Umbrales para la determinación de la consistencia del diseño.
Criterios I y II de Lamm et al.*

| Rango de consistencia | Criterio I (km/h) | Criterio II (km/h) |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Buena | $ V_{85i} - V_d \leq 10$ | $ V_{85i} - V_{85i+1} \leq 10$ |
| Aceptable | $10 < V_{85i} - V_d \leq 20$ | $10 < V_{85i} - V_{85i+1} \leq 20$ |
| Pobre | $ V_{85i} - V_d > 20$ | $ V_{85i} - V_{85i+1} > 20$ |

Fuente: David Llopis Castello, 2017

2.9.2. ÍNDICE DE CONSISTENCIA INERCIAL (ICI)

El Criterio II de Lamm compara las velocidades de operación de un elemento geométrico y del inmediatamente anterior, asumiendo implícitamente que las expectativas ad hoc de los conductores se forman exclusivamente con dicho elemento anterior. Pese a la sencillez de la formulación, esto no es cierto en la realidad, puesto que los conductores basan sus expectativas en un tramo de vía muy superior al de dicho elemento geométrico.

Con el objetivo de paliar dicho déficit, García et al. (2013), propusieron un método basado en la velocidad de operación inercial. Este nuevo parámetro se calcula como la media móvil de la velocidad de operación en los 1000 m anteriores a cada punto. Es, por tanto, una forma más precisa de considerar las expectativas ad hoc de los conductores.

Así pues, se denomina Índice de Consistencia Inercial (ICI) a la diferencia entre la velocidad de operación inercial y la velocidad de operación, calculada para cada punto de la vía y para cada uno de sus sentidos. Los puntos críticos, donde se producen los mayores valores del ICI, se corresponden lógicamente con el inicio de tramos circulares de curvas.

Los umbrales propuestos, tras correlacionar los valores de ICI con la siniestralidad en una muestra amplia de curvas, son los mismos que los propuestos por Lamm para sus criterios I y II, como se muestra en la Tabla siguiente, (Llopis Castello, 2017).

Tabla N° 3 Umbrales de consistencia para el ICI

| Buena | Aceptable | Mala |
|---|--|--|
| $V_{85 \text{ inercial}} - V_{85} \leq 10 \text{ km/h}$ | $10 < V_{85 \text{ inercial}} - V_{85} \leq 20 \text{ km/h}$ | $V_{85 \text{ inercial}} - V_{85} > 20 \text{ km/h}$ |

Fuente: David Llopis Castello, 2017

2.9.3. CRITERIO GLOBAL DE POLUS

Los criterios de consistencia planteados anteriormente tienen la ventaja de que permiten encontrar la zona más proclive a centrar las actuaciones, pero, por otra parte, no permiten estimar cuantitativamente y de forma sencilla la ganancia global en seguridad vial. Por otra parte, determinados tramos de carretera pueden no presentar inconsistencias locales, pero sí una dispersión de velocidad no muy elevada pero continua, que conduce a una mayor siniestralidad.

Los criterios de consistencia globales surgen de la necesidad de considerar la consistencia a nivel global para un determinado tramo de carretera. Por otra parte, es posible calibrar su relación con la siniestralidad, por lo que pueden servir al ingeniero para estimar la variación en la seguridad vial de una determinada actuación o diseño, atendiendo al número estimado de accidentes con víctimas.

El primer modelo de este tipo fue introducido por Polus y Mattar-Habib (2004). Este modelo únicamente puede ser aplicado a tramos homogéneos de carretera, por lo que hay que cuidar este aspecto o los resultados no serán estables. La longitud del tramo debe situarse entre 3 y 10 km, y la pendiente longitudinal no debe ser muy elevada, ya que los modelos de velocidad de operación utilizados no la contemplan.

El primer paso nuevamente consiste en determinar el perfil de velocidad de operación de la carretera, para ambos sentidos de circulación. A partir de ahí se deducen dos parámetros auxiliares: Ra y σ :

$$Ra = \frac{\sum |a_i|}{L}$$

Donde:

Ra: medida de consistencia del área relativa (m/s)



$\Sigma |a_i|$: suma de áreas (en valor absoluto) entre la velocidad de operación en cada punto del perfil y la velocidad de operación media (m2/s)

L: longitud del tramo (m)

Tabla Nº 4 Umbrales del Índice de Consistencia Global

| | Buena | Aceptable | Pobre |
|-----------|---------|----------------|------------|
| C (m/s) | $C > 2$ | $1 < C \leq 2$ | $C \leq 1$ |

Fuente: David Llopis Castello, 2017

2.9.4. MODELO GLOBAL DE CAMACHO-TORREGROSA ET AL.

En el 2013, Camacho-Torregrosa et al. introdujeron un nuevo modelo global de consistencia basado en múltiples parámetros operacionales. En este modelo se prestó especial atención a las condiciones de contorno de los tramos homogéneos, así como a los perfiles de velocidad de operación, ya que se utilizaron los desarrollados por Pérez et al. (2010).

Las secciones de carretera fueron divididas en tramos homogéneos, atendiendo al proceso de tramificación desarrollado por García et al. (2013a), considerando variaciones en la geometría, de tráfico y operacionales. Los tramos finales se pueden clasificar en dos grupos:

- Tramos condicionados. En ellos, al menos uno de los extremos del tramo está en contacto con una población, una intersección, o un elemento que haga que el conductor claramente se dé cuenta de que está cambiando de tramo. Por ello, el usuario será consciente de que está entrando en un tramo nuevo y por tanto su comportamiento inicial se derivará en ir adquiriendo las expectativas ad hoc.
- Tramos libres. Estos tramos no están en contacto con los elementos anteriores, por lo que son tramos separados exclusivamente por características geométricas u operacionales. Por ello, los conductores no son conscientes de que están cambiando de tramo, siendo su comportamiento diferente.



El modelo de consistencia finalmente planteado considera los promedios tanto de la velocidad de operación como de la tasa de deceleración. A continuación, se muestra la siguiente ecuación desarrollada por el autor.

$$C = \sqrt{\frac{V_{85}}{d_{85}}}$$

Donde:

C: Índice de consistencia

v_{85} : Promedio de la velocidad de operación (km/h)

d_{85} : Promedio de la tasa de deceleración (m/s²)

En este caso no se dieron umbrales, sino que se obtuvo directamente la relación con la siniestralidad, considerando también la exposición al riesgo. El comportamiento del tramo en función de sus condiciones de contorno es también diferenciador, y permite una mejor estimación de la siniestralidad.

2.9.5. MODELOS CALIBRADOS POR LLOPIS - CASTELLO

En los modelos anteriores, se vio que existe diferentes métodos de evaluación de la consistencia del diseño de una carretera, así mismo estos investigadores, concluyen en su mayoría, que el nivel de un elemento geométrico influye directamente en la ocurrencia de accidentes, sin embargo, los modelos propuestos hasta la fecha no incorporaron las expectativas de los conductores adecuadamente, esto a que ningún modelo fue capaz de cuantificar y representar el comportamiento de la mente humana.

Es así que los modelos calibrados y propuestos por el (Llopis Castello, 2017), se basan en los parámetros fundamentales de la diferencia entre la velocidad de operación inercial (V_i) y la velocidad de operación en cada elemento, el cual corresponde a la diferencia entre las expectativas de los conductores y el comportamiento del diseño geométrico.

2.9.5.1. MODELO DE CONSISTENCIA GLOBAL

El modelo de consistencia global propuesto, es estimado a partir del diagrama que presenta la diferencia entre el perfil de velocidad de

operación inercial (V_i) y el perfil de velocidad de operación (V_{85}). Este parámetro y sus variables principales son:

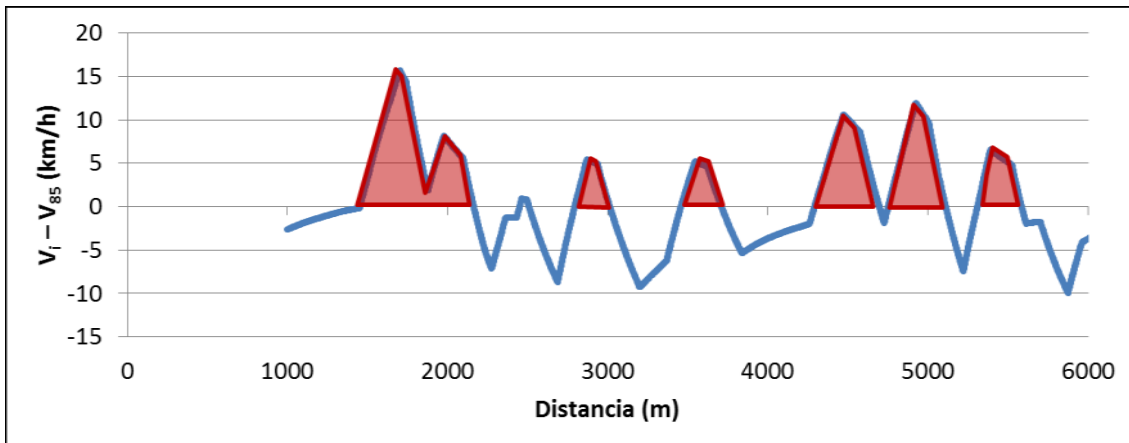
$$C = \sqrt{\frac{A (+) * \sigma (+)}{L (+)}} \text{ (km/h)}$$

- $A (+)$: área encerrada por el diagrama que muestra la diferencia entre V_i y V_{85} , y el eje x considerando únicamente las diferencias positivas ($m \cdot km/h$).
- $L (+)$: longitud de tramo de carretera donde se producen diferencias de velocidad positivas entre V_i y V_{85} (m).
- $\Sigma (+)$: desviación estándar de la diferencia entre V_i y V_{85} considerando únicamente las diferencias de velocidad positivas (km/h).

Cuanto mayor sea $A (+)$ o $\sigma (+)$, menor será el nivel de consistencia de un segmento homogéneo de carretera, puesto que significa que existen mayores diferencias entre las expectativas de los conductores y el comportamiento de la carretera. Además, para un mismo valor de $A (+)$, cuanto mayor sea $L (+)$, mayor será el nivel de consistencia del segmento de carretera homogéneo. Por tanto, a menor valor de C , mayor es el nivel de consistencia del tramo de carretera y, consecuentemente, menor es la probabilidad de ocurrencia de accidentes.

A partir del siguiente diagrama que representa la diferencia entre el perfil de velocidad de operación inercial y la velocidad de operación es que determina el $A (+)$.

Imagen Nº 9 Perfil de velocidad de operación inercial y la velocidad de operación



Fuente: David Llopis Castello, 2017

Cabe destacar que cuanto mayor sea la diferencia entre la velocidad de operación inercial y la velocidad de operación, mayor será la probabilidad de ocurrencia de un accidente, puesto que el conductor estará desarrollando una velocidad inferior a la que esperaría desarrollar según sus expectativas.

El autor estableció tres umbrales de consistencia para el modelo global: buena, aceptable y pobre. Un tramo tiene buena consistencia cuando C es menor que 2,75 km/h, posee un nivel de consistencia pobre cuando C es superior a 4,5 km/h y aceptable cuando C presenta un valor comprendido entre estos dos valores.

Asimismo, se calibró una Función de Estimación de la Siniestralidad que permite estimar el número de accidentes con víctimas en diez años en un segmento de carretera homogéneo. Estos umbrales, junto a la SPF, permiten a los ingenieros diseñar carreteras más seguras. (Llopis Castello, 2017)

Tabla Nº 5 Tasa de siniestralidad de los umbrales del modelo de consistencia global.

| Nivel de Consistencia | Rango (km/h) | Tasa de Siniestralidad Media (acv/10 ⁶ vh-km) | Dispersión de la Tasa de Siniestralidad |
|-----------------------|---------------------|--|---|
| Buena | $C \leq 2,75$ | 0,14259 | 0,06914 |
| Aceptable | $2,75 < C \leq 4,5$ | 0,22278 | 0,15455 |
| Pobre | $C > 4,5$ | 0,31478 | 0,25633 |

Fuente: David Llopis Castello, 2017

2.9.5.2. MODELOS DE CONSISTENCIA LOCAL

El parámetro de consistencia propuesto para desarrollar el modelo local será el Índice de Consistencia Inercial (ICI), definido como la diferencia en cada punto del trazado entre la velocidad de operación inercial y la velocidad de operación.

$$ICI = V_i - V_{85}$$

Cuanto mayor es la diferencia entre ambas velocidades mayor es la probabilidad de ocurrencia de accidentes, puesto que significa que existe una mayor incoherencia entre las expectativas de los conductores, representadas por la velocidad de operación inercial, y el comportamiento de la carretera, definido a partir de la velocidad de operación.

El modelo de consistencia local fue definido a partir de tres niveles de consistencia: buena, aceptable y pobre. Se estableció que un elemento del trazado presentaba buena consistencia cuando el ICI era menor o igual que 5 km/h, que era pobre cuando dicho índice era superior a 12,5 km/h y aceptable cuando el parámetro de consistencia presentaba un valor comprendido entre estos dos valores.

Tabla Nº 6 Tasa de siniestralidad de los umbrales del modelo de consistencia local.

| Nivel de Consistencia | Rango (km/h) | Tasa de Siniestralidad Media (acv/10 ⁶ vh·km) | Dispersión de la Tasa de Siniestralidad |
|-----------------------|---------------------|--|---|
| Buena | $ICI \leq 5$ | 0,18836 | 1,12461 |
| Aceptable | $5 < ICI \leq 12,5$ | 0,60607 | 1,98395 |
| Pobre | $ICI > 12,5$ | 1,59148 | 3,47031 |

Fuente: David Llopis Castello, 2017

La relación entre la exposición al riesgo y la tasa de siniestralidad no es directamente proporcional, sino que la tasa de siniestralidad disminuye a medida que la exposición al riesgo incrementa. En este sentido, la longitud de la curva tiene un efecto significativo en la producción de accidentes y debe ser considerada a la hora de estudiar la siniestralidad en curvas. (Llopis Castelló et al, 2018)



2.10. APLICACIÓN DE LA CONSISTENCIA EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO

(Garcia Garcia et al A. , 2016) nos indica que, un trazado seguro debe ofrecer a los conductores una lectura e interpretación sencillas, que inviten a recorrerlo gradualmente, a los niveles de velocidad para los que se diseñó cada uno de sus elementos. Esto no quiere decir que los conductores deban saber dichas velocidades de referencia, sino que inconscientemente puedan deducirlas del propio trazado y su entorno, y traducirlo en su respuesta.

En el proceso de conducción, cada uno de los usuarios se forma una imagen mental de la carretera en la que se apoya para recorrer la misma. Esta imagen mental es fruto de las expectativas que dicho conductor tiene, y que pueden ser de dos tipos (Gibreel et al., 1999):

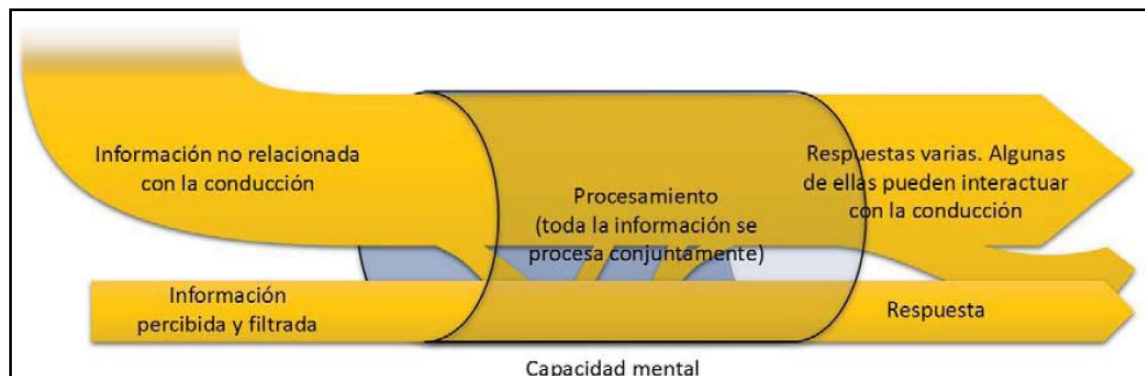
- Expectativas a priori. Son las expectativas que un conductor tiene sobre la carretera formadas a partir de toda su experiencia como conductor. Estas expectativas aumentan a medida que el usuario tiene más experiencia. Un ejemplo es cómo tomar una glorieta o los aspectos básicos de negociación de curvas, así como los diferentes niveles de velocidad esperables al recorrer diferentes tipos de carreteras.
- Expectativas ad hoc. Son independientes de la experiencia del conductor, y diferentes para cada zona de un tramo de carretera. Responden a la imagen que el conductor se va formando de la vía a medida que la va recorriendo. Así pues, el conductor adapta su forma de conducir según lo que ha observado y experimentado en la última parte recorrida y, por tanto, estas expectativas evolucionan de forma inercial.

El hecho de que el conductor tenga unas expectativas sobre la carretera supone una ayuda fundamental en el proceso de conducción. Una vez el conductor tiene sus expectativas formadas, puede dejar de prestar tanta atención al trazado de la misma y centrarse en otros aspectos, como el tráfico, condiciones del entorno imperantes, etc. Además, cuando el conductor se apoya tanto en la información de la vía como en sus expectativas, su carga de trabajo disminuye, reduciendo en principio la probabilidad de sufrir un accidente.

Existen, sin embargo, dos casos en los que la formación de la imagen mental de la vía puede tener un efecto contrario. El primero de ellos es cuando un trazado es muy simple y desde un inicio no requiere una gran carga de trabajo. Ello fomenta la aparición de distracciones (Figura 5). El otro caso es cuando existe una inconsistencia. Se define consistencia del diseño geométrico al grado de adecuación entre las expectativas de los conductores y el comportamiento que permite la vía (Wooldridge et al., 2003).

Mientras estos dos aspectos concuerden, el usuario podrá mantener su carga de trabajo media-reducida, sin variaciones bruscas, y no habrá problemas. Sin embargo, en el momento en el cual la vía presente un cambio súbito en su comportamiento, que no se adapte a las expectativas, supondrá una sorpresa y por tanto en un aumento súbito de la carga de trabajo. En función del grado de discordancia habrá más o menos probabilidad de sufrir un accidente.

Imagen Nº 10 Esquema que simula el proceso de distracción



Fuente: Plataforma Tecnológica Española de la Carretera, 2013

Así pues, hay que lograr un diseño geométrico consistente, homogéneo y fácilmente legible por los conductores, contribuyendo así a minimizar las violaciones de sus expectativas. Se persigue de este modo que estos perciban el trazado de forma homogénea, sin variaciones bruscas en el nivel de atención.

Existen diversos métodos para estimar la consistencia, si bien los más extendidos están basados en el análisis de la velocidad de operación. El motivo es que se tiene un gran conocimiento de la velocidad de operación, debido a la facilidad para estimar e interpretar dicho parámetro.



La evaluación de la consistencia permite confirmar en la fase de diseño de la carretera si el trazado de la misma puede considerarse de consistencia buena, aceptable o pobre, e incluso estimar el número de accidentes que pueden llegar a producirse. En el caso de que un trazado de carretera sea evaluado como pobre o aceptable, deberá replantearse su diseño. Por otra parte, en carreteras en servicio, la evaluación de su consistencia permite identificar qué zonas son más problemáticas y así centrar las actuaciones en ellas, volviendo a emplear el análisis de la consistencia para evaluar las posibles mejoras de trazado.

2.11. ESTIMACIÓN DE LA SINIESTRALIDAD CALIBRADOS POR LLOPIS

2.11.1. ESTIMACIÓN DE SINIESTRALIDAD PARA EL MODELO GLOBAL

Parte de una distribución binomial negativa que, como se ha comentado anteriormente, se ajusta adecuadamente a la naturaleza de los datos de accidentes, es decir, datos discretos que presentan sobre dispersión.

La forma funcional de estas funciones quedó definida por la siguiente expresión (Oh et al., 2003):

$$y_{i,10} = e^{-6,6479} \cdot L^{1,02645} \cdot IMD^{0,86684} \cdot e^{0,14774 \cdot C}$$

Donde $Y_{i,10}$ son los accidentes con víctima estimados en un tramo de carretera en 10 años; L la longitud del tramo de carretera (km); IMD la intensidad media diaria de tráfico (vh/día); y C el parámetro de consistencia (km/h).

2.11.2. ESTIMACIÓN DE SINIESTRALIDAD PARA EL MODELO LOCAL

Esta función de estimación de la siniestralidad permite obtener el número de accidentes en una determinada curva en función de la exposición al riesgo y el Índice de Consistencia Inercial.

$$y_{i,10} = e^{-6,9544} \cdot L^{0,6841} \cdot IMD^{0,8259} \cdot e^{0,1394 \cdot ICI}$$



Donde Y_i , 10 son los accidentes con víctima estimados en una curva en 10 años L la longitud la curva (km); IMD la intensidad media diaria de tráfico (vh/día); y ICI el Índice de Consistencia Inercial (km/h). (Llopis Castello, 2017)

2.12. PROGRAMA INTERNACIONAL DE EVALUACIÓN DE CARRETERAS (iRAP)

El programa iRAP fue formado en el año 2006 como una organización que aglutinó la experiencia y los resultados generados en programas de investigación tales como el EuroRAP (Europa, 1999), usRAP (USA, 2004) y AusRAP (Australia, 2006), (iRAP, 2013). El objetivo primordial del programa iRAP es establecer medidas que mejoren la seguridad de todos los usuarios dentro de la infraestructura vial, enfocándose principalmente a los países de medios y bajos ingresos, puesto que en estos países se concentran más del 90% de las víctimas mortales de accidentes de tránsito en el mundo, aun cuando solo tienen el 48% del parque vehicular (OMS, 2009).

El programa iRAP se aplicó inicialmente (2006 y 2007) como un estudio piloto en Malasia, Chile, Costa Rica y Sudáfrica. Estos países ofrecían ejemplos de una gran variedad de escenarios relativos a la seguridad vial, desde la gran cantidad de motociclistas en Malasia, hasta carreteras de una sola calzada con altos límites de velocidad en Sudáfrica. Esto permitió desarrollar y poner a prueba las herramientas creadas en el programa, mejorando y ampliando su rango de aplicación bajo diferentes escenarios (iRAP, 2009a y 2009b). Desde entonces el programa iRAP ha evolucionado hasta su versión más reciente, “iRAP Versión 3”, lanzada en el año 2012, y con la cual se han evaluado más de 150,000 km de carreteras en el mundo (iRAP, 2013b). En la imagen N.º 11, se puede apreciar la presencia que tiene actualmente el programa iRAP en el escenario mundial. (Hurtado Beltrán, 2015)

Como resultado de la aplicación de este programa se puede obtener la información enlistada a continuación:

- Tablas y mapas con valoraciones por “estrellas” (calificación de tramos carreteros), que indican la seguridad de las carreteras para ocupantes de vehículos, motociclistas, ciclistas y peatones.
- Una base de datos con un inventario de carreteras con más de 30 atributos inspeccionados en la red de carreteras.
- Una estimación del número de personas que resultan muertas o gravemente heridas en cada una de las carreteras inspeccionadas.
- Un programa recomendado de contramedidas rentable para toda la red, para ser considerado por las autoridades locales y entidades a cargo de la financiación.

Imagen Nº 11 Actuación de iRAP en Países a Nivel Mundial

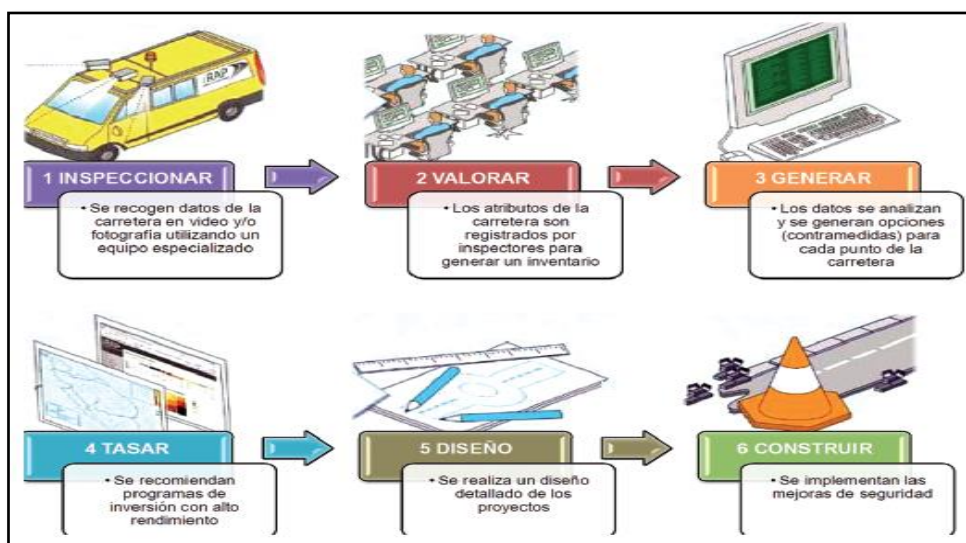


Fuente: Hurtado Beltrán, 2015

2.13. METODOLOGÍA Irap

La idea medular de la metodología iRAP es la valoración o calificación por “estrellas” (SRS, Star Rating Score) para medir la seguridad vial de toda una red de carreteras o parte de ella. Esto proporciona una plataforma valiosa cuando no se dispone de registros sobre datos de accidentes, o cuando son inexactos o escasos. La metodología está conformada por las etapas mostradas en la siguiente figura:

Imagen N° 12 Etapas de la metodología iRAP



Fuente: Hurtado Beltrán, 2015

La aplicación de la metodología comienza con el levantamiento en video y/o fotografía de la mayor parte de los elementos de la infraestructura carretera, utilizando para ello equipo especializado que permita obtener un ángulo de visión mínimo de 150 grados y el posicionamiento GPS de cada imagen recabada. Al ir montado el equipo sobre un vehículo automotor que circula a velocidades de operación el levantamiento puede realizarse con relativa rapidez. Un equipo de inspectores o codificadores acreditados por iRAP dan lectura al levantamiento fotográfico para registrar en gabinete más de 30 diferentes atributos (características) observados en cada sección de la carretera, considerados como los más influyentes en la probabilidad de ocurrencia y la gravedad de accidentes de tránsito.

Los atributos de la carretera son puntuados y combinados con base a la severidad y al peligro utilizando una serie de factores y ecuaciones (para mayor detalle consultar las referencias iRAP, 2013d y 2013e) cuyos resultados reflejan la seguridad general que la carretera ofrece a ocupantes de vehículos, motociclistas, ciclistas o peatones.

Una vez asignada la calificación por “estrellas” a cada sección de la carretera, se detectan tramos o puntos críticos y se analizan para plantear alternativas (contramedidas) que incrementen la calificación por “estrellas”



obtenida inicialmente, lo cual, se traduce en una mejora en términos de seguridad para los usuarios. Las contramedidas aplicables con la mayor relación beneficio-costos son seleccionadas para establecer un programa de inversión para la carretera analizada (o a nivel de la red carretera), y se realiza el diseño detallado del proyecto con la cuantificación y la ubicación puntual de las contramedidas seleccionadas. (Hurtado Beltrán, 2015)

Finalmente, se materializan en el sitio las medidas necesarias para incrementar el nivel de seguridad de la carretera.

2.14. TIPOS DE INSPECCIÓN VIAL iRAP

La Clasificación por Estrellas del iRAP se basa en una inspección visual a detalle de todos los elementos que participan en la infraestructura vial del tramo en análisis y que, de acuerdo a las investigaciones realizadas, influyen en la probabilidad de que ocurran colisiones. La clasificación se lleva a cabo mediante dos tipos de inspecciones visuales, en donde el tipo de inspección a utilizar dependerá de la tecnología disponible, la complejidad de la red vial y el grado al cual se pretenda desarrollar el proyecto.

- **Inspección visual desde el vehículo.** El personal capacitado registra los elementos de la infraestructura vial a medida que se va avanzando en el vehículo, utilizando un Dispositivo de Inspección Rápido (RAP). Este tipo de inspección es de carácter técnico y se utiliza frecuentemente en tramos que no son demasiado complejos o cuando se requiere de mucho tiempo para transportar el vehículo equipado que pueda realizar otro tipo de inspección.

- **Inspección basada en video.** En este tipo de inspecciones primero se realiza un video de imágenes digitales secuenciales utilizando un vehículo equipado (foto 4.1) que las va registrando cada 5-10 metros de distancia, logrando obtener una vista panorámica de la vía al tomar fotografías frontales, posteriores y laterales de izquierda y derecha. La principal vista panorámica se calibra para que posteriormente se puedan realizar mediciones de elementos clave de la infraestructura vial. Cabe mencionar que el vehículo también cuenta con GPS que permite correlacionar las fotos con la ubicación real en la vía de estudio. Después de realizado el video, el personal capacitado, conocidos como calificadores o codificadores, realiza una inspección a nivel de escritorio en donde se registran todos los elementos de la vía que tengan una influencia en la seguridad vial del tramo con la ayuda de un software especializado. (Pérez Castro et al, 2013)

Imagen N° 13 Vehículo con equipamiento iRAP

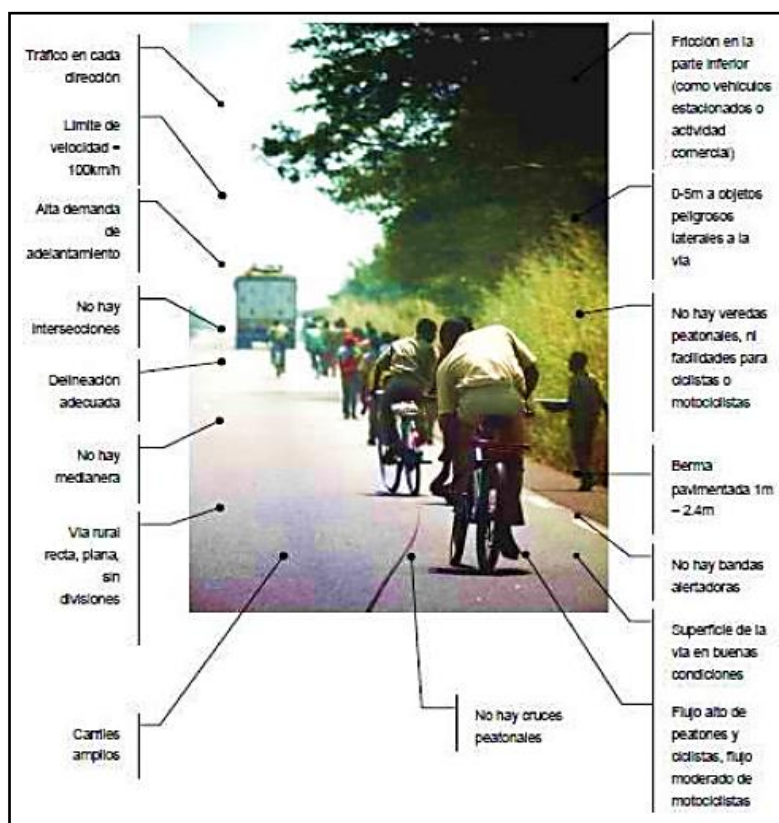


Fuente: Pérez Castro, 2013

2.15. PROCESAMIENTO DE DATOS

Los especialistas asignan a cada elemento de la infraestructura vial, una categoría de acuerdo a su condición. Por ejemplo, el alumbrado en un tramo carretero puede ser registrado como “presente” o “no presente”, y así para cada uno de los elementos a revisar.

Imagen Nº 14 Ejemplo acerca de algunos de los elementos y categorías que se registran en el software



Fuente: Pérez Castro, 2013

A pesar de que las inspecciones visuales desde el vehículo se llevan de manera continua y las inspecciones basadas en video registran imágenes a cada 5 o 10 metros, la calificación por estrellas se basa en tramos de carretera de 100 metros de longitud.

Una vez finalizada la inspección vial y el proceso de calificación para cada 100 metros, los datos se cargan a un software especializado del iRAP. Este software desarrollado con la experiencia de organizaciones líderes en seguridad vial, incluyendo el Grupo ARRB de Australia, el TRL de

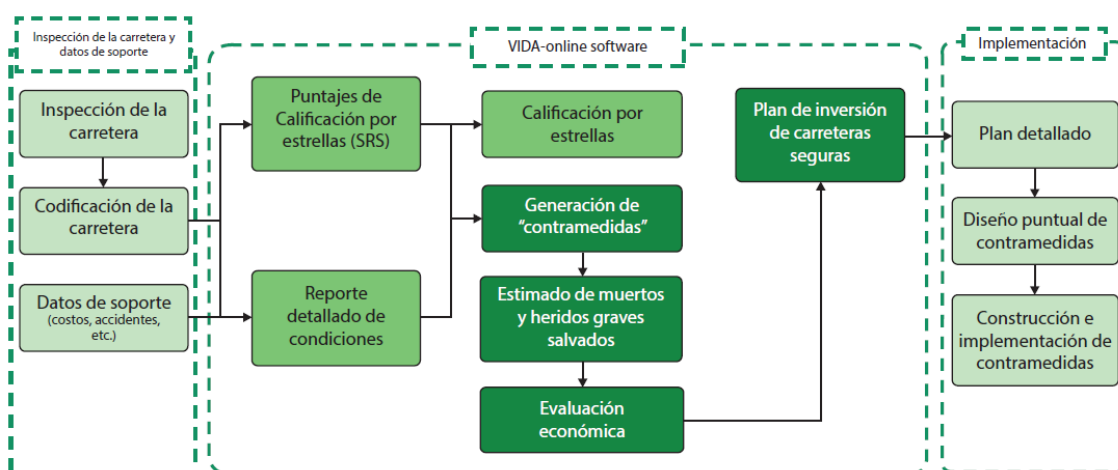
Reino Unido y el Midwest Research Institute de Estados Unidos, fue diseñado con la finalidad de que permita generar el “Puntaje de Protección brindada por la Vía” (PPV) y, a su vez, poder generar la “Clasificación por Estrellas” y los “Planes de Inversión para Vías Más Seguras. (Pérez Castro et al, 2013)

2.16. SOFTWARE EN LÍNEA ViDA-iRAP

El software en línea ViDA-iRAP (Versión Beta) es una herramienta informática con plataforma en la web recientemente desarrollada dentro del programa iRAP para agilizar y hacer más eficiente el procesamiento de tareas que habitualmente demandan una cantidad de tiempo considerable si se ejecutan manualmente (Ver Figura 3), como lo son la calificación por “estrellas” (medida de la seguridad), la generación de contramedidas (alternativas disponibles), y los análisis beneficio-costos (programa de inversión).

Debido principalmente al tamaño de su red carretera, México será el primer país en utilizar el software ViDA-iRAP (Versión Beta). El software utiliza la tecnología informática de última generación denominada “nube informática” para administrar todos los datos de la evaluación de la red carretera, y ofrece las herramientas y los servicios para el procesamiento de la información. Entre las principales características del software ViDA-iRAP (Versión Beta) están (iRAP, 2012b) (Hurtado Beltrán, 2015)

Imagen N° 15 Participación del software ViDA – iRAP dentro del proceso



Fuente iRAP, 2023

2.16.1. ATRIBUTOS VIALES

Todos los atributos incluidos en esta sección son obligatorios para los cálculos del modelo de clasificación por estrellas de iRAP.

En caso de haber dos opciones de codificación en un tramo de 100 metros, se debe registrar el elemento de más alto riesgo.

Las opciones de codificación se presentan en orden de mayor a menor riesgo, los atributos presentados son modificables para cada tipo de proyecto dependiendo del caso, sin embargo, son los de mayor uso en las carreteras de América.

Tabla N° 7 Atributos que evalúa iRap para realizar la clasificación por estrellas.

| N | Atributo | N | Atributo |
|----|--|----|---|
| 01 | Nombre del Codificador | 31 | Tipo de intersección |
| 02 | Nombre de la Vía | 32 | Canalización de Intersección |
| 03 | Tramo | 33 | Volumen de Tránsito en vía intersectada |
| 04 | Distancia | 34 | Calidad de la intersección |
| 05 | Largo del Segmento | 35 | Acceso a propiedades |
| 06 | Latitud & Longitud | 36 | Número de carriles |
| 07 | Comentarios | 37 | Ancho de carril |
| 08 | Etiqueta de calzada | 38 | Curvatura Horizontal |
| 09 | Costo de las Mejoras | 39 | Calidad de la Curva |
| 10 | Flujo de motocicletas observado | 40 | Pendiente |
| 11 | Flujo de bicicletas observado | 41 | Condición de la Superficie |
| 12 | Flujo peatonal observado - Cruzando la Vía | 42 | Resistencia al Deslizamiento |
| 13 | Flujo peatonal observado - Lado derecho | 43 | Delineación |
| 14 | Flujo peatonal observado - Lado izquierdo | 44 | Alumbrado de calles |
| 15 | Uso de suelo - Lado Derecho | 45 | Cruces peatonales - Vía inspeccionada |
| 16 | Uso de suelo - Lado izquierdo | 46 | Calidad del Cruce |
| 17 | Tipo de área | 47 | Cruce peatonales - Vía que intersecta |
| 18 | Límite de velocidad - Automóviles | 48 | Vallas peatonales |
| 19 | Límite de velocidad - Motocicletas | 49 | Aquietamiento de tráfico |
| 20 | Límite de Velocidad - Camiones | 50 | Estacionamiento de Vehículos |
| 21 | Límite de velocidad diferenciales | 51 | Provisión de andén - Lado derecho |
| 22 | Tipo de separador | 52 | Provisión de andén - Lado izquierdo |
| 23 | Bandas alertadoras centrales | 53 | Calles Laterales |
| 24 | Severidad lateral - Distancia a la derecha | 54 | Motovías |
| 25 | Severidad lateral - Objeto a la derecha | 55 | Ciclovías |
| 26 | Severidad lateral - Distancia a la izquierda | 56 | Obra |
| 27 | Severidad lateral - Objeto a la derecha | 57 | Restricción visual a distancia |
| 28 | Bandas alertadoras laterales | | |
| 29 | Ancho de Acotamiento - Lado derecho | | |
| 30 | Ancho de Acotamiento - Lado Izquierdo | | |

Fuente: Irap 2023.

Los atributos de la vía se recolectan durante la inspección, la cual consta de dos partes:



1. Inspecciones que involucran obtención de imágenes o videos del camino, GPS y distancia
2. Codificación que involucra las imágenes obtenidas del vehículo de inspección.

Los atributos recolectados son aquellos que tienen influencia en la probabilidad y severidad de los tipos más comunes de accidentes para usuarios de la vía. Los atributos son registrados en segmentos de 100m.

Un factor de riesgo se define para fines de la metodología iRap como: “Un factor multiplicativo usado para calcular el número de accidentes después de la implementación de una contramedida dada en un sitio específico”. (International Road Assessment Programme, Calificación con estrellas para vías más seguras, 2023)

2.16.2. CLASIFICACIÓN POR ESTRELLAS (SRS)

Según las fichas técnicas de la metodología del (International Road Assessment Programme, Calificación con estrellas para vías más seguras, 2023) obtenidas del sitio web oficial de iRAP www.irap.org, la clasificación de estrellas se basa en datos de inspección de los atributos viales de carreteras y proporciona una medida simple y objetiva del nivel de seguridad que está incorporado a la carretera para los ocupantes de vehículos, motociclistas, ciclistas y peatones. Esta se clasifica entre 1 y 5 estrellas con base en el nivel de seguridad que provee una vía. Las vías más seguras (4 y 5 estrellas) cuentan con atributos de seguridad vial que son apropiados para las velocidades de tráfico predominantes. Los atributos viales de la infraestructura en una vía segura incluyen la separación del tráfico en sentido contrario por medio de una barrera o mediana amplia, una buena demarcación y diseño de intersecciones, carriles amplios y bermas/acotamientos pavimentados, costados de la vía libres de peligros sin protección como los postes, buena infraestructura para ciclistas y peatones tales como aceras, ciclo vías y cruces peatonales. Las vías menos seguras (1 y 2 estrellas) no cuentan con los atributos de seguridad vial apropiados para las velocidades de tráfico predominantes. Por lo general estas son vías con calzadas no divididas con frecuencia de



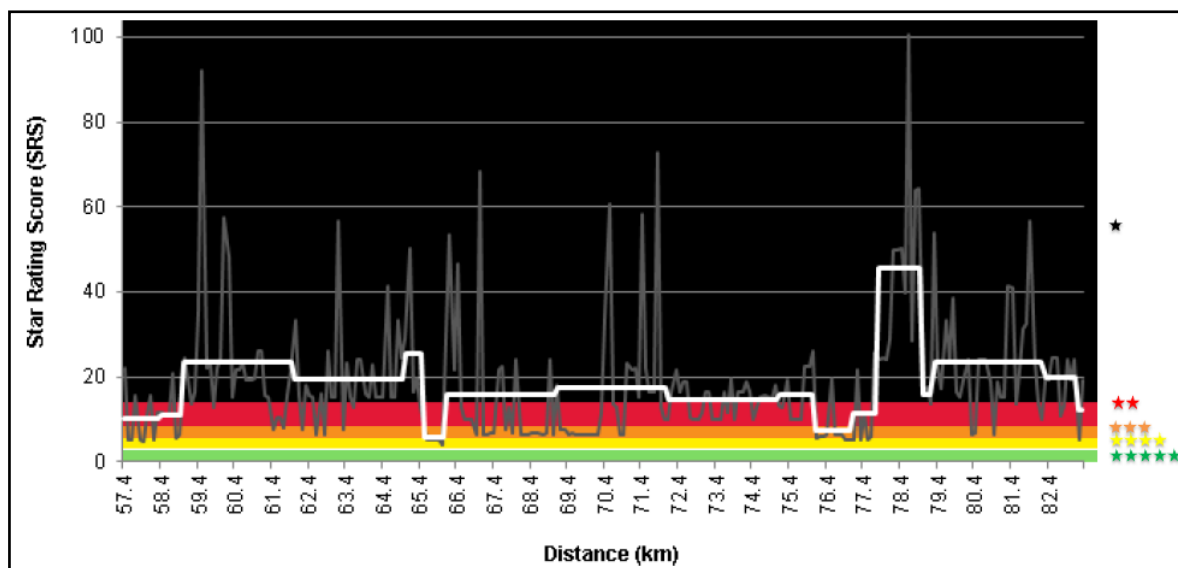
curvas e intersecciones, carriles angostos, bermas/acotamientos sin pavimentar, demarcaciones deficientes, intersecciones escondidas y costados de la vía con peligros sin protección tales como árboles, postes y terraplenes o acantilados pronunciados cerca de los costados de la vía. Estas vías tampoco tienen la capacidad apropiada para ciclistas y peatones con el uso de aceras, ciclo vías y cruces.

Para determinar esta clasificación por estrellas se requiere asignar Puntajes de la Clasificación por Estrellas (Star Rating Score, SRS), estos puntajes están diseñados para estimar el número de muertes y lesiones en una vía y, se basan en tipos de accidentes, y a su vez estos se basan en factores de riesgo de la probabilidad de accidente, severidad o gravedad de accidente, velocidad de operación, influencia de flujo externo, capacidad de transitabilidad de la mediana.

2.16.3. CLASIFICACIÓN POR ESTRELLAS SUAVIZADA

El Puntaje de Clasificación por Estrellas (SRS) se calcula por cada segmento de 100 metros de la vía para los ocupantes de vehículos, motociclistas, peatones y ciclistas. Estos puntajes posteriormente se asignan a las bandas de Clasificación por estrellas para determinar su correspondiente Clasificación por Estrellas para cada 100 metros de camino. Sin embargo, para los fines de generación de un mapa de la vía, el puntaje a cada 100 metros es muy detallado. Por ende, la Clasificación por Estrellas se suaviza (o promedia) en distancias más largas a fin de producir resultados más significativos. El efecto de suavización se ilustra en la siguiente imagen, en la que se muestran los puntajes de Clasificación por Estrellas (SRS) sin suavizar en gris y los SRS suavizados en blanco.

Imagen N° 16 Puntajes de Clasificación por Estrellas (gris) y SRS suavizados (blanco)



Fuente: iRAP,2023

2.16.4. BANDAS DE CLASIFICACIÓN POR ESTRELLAS

La Clasificación por Estrellas se determina al asignar los Puntajes de la Clasificación por Estrellas (SRS) a las bandas que se muestran en la siguiente tabla. Se utilizan bandas independientes para usuarios motorizados (ocupantes de vehículos y motociclistas), ciclistas y peatones ya que sus puntajes se calculan con ecuaciones diferentes. Es decir que los puntajes para los usuarios motorizados de la vía se basan en accidentes frontales, por salida del camino y en intersecciones; por otro lado, los puntajes de los peatones se basan en accidentes que se dan al caminar a lo largo de la vía o al cruzarla; y para los ciclistas los puntajes se basan en accidentes a lo largo de la vía y en intersecciones.

Tabla N° 8 Bandas de colores para puntajes de calificación por estrellas.

| Clasificación por Estrellas | Puntaje de la Clasificación por Estrellas | | | | |
|-----------------------------|---|-----------|-----------|------------|-------------|
| | Ocupantes de vehículos y motociclistas | Ciclistas | Peatones | | |
| | | | Total | A lo largo | Cruces |
| 5 | 0 a < 2.5 | 0 a < 5 | 0 a < 5 | 0 a < 0.2 | 0 a < 4.8 |
| 4 | 2.5 a < 5 | 5 a < 10 | 5 a < 15 | 0.2 a < 1 | 4.8 a < 14 |
| 3 | 5 a < 12.5 | 10 a < 30 | 15 a < 40 | 1 a < 7.5 | 14 a < 32.5 |
| 2 | 12.5 a < 22.5 | 30 a < 60 | 40 a < 90 | 7.5 a < 15 | 32.5 a < 75 |
| 1 | Más de 22.5 | Más de 60 | Más de 90 | Más de 15 | Más de 75 |

Fuente: Irap, 2023



2.16.5. ESTIMACIÓN DE MUERTOS Y LESIONADOS GRAVES POR EL IRAP

Para estimar el número de muertos se utiliza la siguiente ecuación:

$$M = \sum_{i=1}^n (OVM + MCM + PM + CM)$$

Donde:

M= Muertos

n= Numero de segmentos de 100 metros de la vía

OV= Ocupantes de vehículos

MC= Motociclistas

P= Peatones

C= Ciclistas

La cantidad de muertos de ocupantes de vehículos (OVm) en un segmento de 100 metros de la vía durante un año es:

$$OVM = OV_{sc-c} + OV_{sc-p} + OV_{f-pc} + OV_{f-a} + OV_{int} + OV_{ap}$$

Donde:

OV_{sc-c}= Fallecimiento de ocupantes de vehículos por salida del camino (lado del conductor).

OV_{sc-p}= Fallecimiento de ocupantes de vehículos por salida del camino (lado del pasajero).

OV_{f-pc}= Fallecimiento de ocupantes de vehículos por colisiones frontales (pérdida de control).

OV_{f-a}= Fallecimiento de ocupantes de vehículos por colisiones frontales (adelantamiento).

OV_{int}= Fallecimiento de ocupantes de vehículos en intersecciones.

OV_{ap}= Fallecimiento de ocupantes de vehículos en acceso a propiedades.



La cantidad de fallecimientos de ocupantes de vehículos por salida del camino (lado conductor) (OVsc-c) en un segmento de 100 metros de la vía durante un año es:

$$OV_{sc-c} = SRS_{sc-c} \times (TDP_{Ano-mc})^b \times FCov_{sc-c} \times 365 / 10^9$$

Donde:

SRS_{sc-c}= Puntaje de clasificación por estrellas para ocupantes de vehículos.

TDP_{Ano-mc}= Transito promedio anual que no sean motocicletas.

b= Exponente TDP_{Ano-mc}

FCov_{sc-c}= Factor de calibración para fallecimientos de ocupantes de vehículos por colisiones de salida del camino (lado del conductor).

Para efectos de estimaciones de víctimas, en el valor de SRS se utiliza la velocidad media y no la velocidad del percentil 85 (como se usó para el puntaje de la clasificación por estrellas SRS), debido a estudios que mencionan que la velocidad media representa con mayor exactitud la estimación de víctimas.

Cuando se tiene evidencia de estudios para definir una relación no lineal entre el flujo vehicular y los accidentes de carretera se utilizarán valores para “a” y “b”, para estudios con información limitada de estos valores, iRAP considera el valor de 1 para “a” y “b”.

Estas dos últimas ecuaciones se utilizan para calcular la estimación de muertes de los demás usuarios de la vía como, motociclistas, peatones y ciclistas.

Para usuarios ciclistas y peatones el valor de TPDA será el flujo de estos respectivamente.

En la última ecuación se observa un factor de calibración para muertos de ocupantes de vehículos por salida del camino (lado conductor), que viene dado por:

$$FCov_{sc-c} = \frac{\text{Cantidad de muertos de ocupantes de vehiculos en choques por salida del camino (lado del conductor) en la red vial}}{\sum_{i=1}^n (SRS_{ov} \times a \times (TDP_{A})^b \times V_{no-mc} \times CF)}$$



Donde:

- FCov sc-c= Factor de calibración para muertos de ocupantes de vehículos por choques por salida del camino (lado conductor).
- n= Cantidad de segmentos de 100 metros de la vía.
- SRSov= Puntaje de la clasificación por estrellas para ocupantes de vehículos.
- a= Multiplicador de TDPA.
- TDPA= Transito diario promedio anual.
- b= Exponente de TDPA.
- Vno-mc= TDPA de vehículos que no son motocicletas.
- CF= Exponente de crecimiento de fallecimientos.

De la misma manera se utilizan es ecuación para calcular el factor de calibración para los demás usuarios de la vía.

La cantidad de muertes reales se determina por medio de reportes oficiales en la red, porcentajes de fallecimientos o ajustes de estos reportes cuando se cuenta con pruebas sólidas, como cantidad de muertos por tipo de accidente, detalles de las características del accidente tales como ubicación, tipo de vehículo, causa, severidad, condiciones de operación de la vía. Sin embargo, en lugares donde no se encuentre o no se tenga a disposición esta información, la cantidad real de muertes será un estimado con base a asesorías de expertos y otros indicadores en los que se incluyen índices de accidentes regulares en redes viales alrededor del mundo. Por ejemplo, según los resultados reportados en “El verdadero costo de los accidentes viales: valorando la vida y el costo de un lesionado grave” (McMahan and Dahdah, 2008), el número de lesionados graves en cada segmento de la vía se basa en una relación de diez lesionados graves por cada muerto (10:1).

Ahora bien, iRAP también considera el número de lesionados graves en un segmento de 100 metros de la vía, siendo igual a la cantidad de muertos

calculados con la primera ecuación de este apartado por el número real de lesionados graves entre la cantidad real de muertos.

$$LG \text{ total} = \sum_{i=1}^n (LG)$$

Donde:

- n= Numero de segmentos de 100 metros de la vía

Por tanto:

El número total de muertos y lesionados graves (MGL) o (FSI, por sus siglas en ingles), será:

$$MGL_{total} = M_{total} + LG_{total}$$

2.16.6. PLANES DE INVERSIÓN PARA VÍAS MÁS SEGURAS (SRIP)

De acuerdo a (International Road Assessment Programme, Planes de inversión para vías más seguras, 2023), los Planes de Inversión para Vías más Seguras (SRIP) son listas priorizadas de tratamientos de seguridad o medidas de mejoramiento que pueden mejorar la Clasificación por Estrellas de forma eficaz y reducir los riesgos relacionados con la infraestructura.

Los planes se basan en el análisis económico de un rango de tratamientos, el cual se ejecuta al comparar el costo de la implementación de la medida de mejora con la reducción de costos por accidentes que resultarían a partir de su implementación. Los planes contienen una exhaustiva planificación e información de ingeniería tales como atributos de carretera registrados, propuestas de medidas de mejoramiento y evaluaciones económicas para segmentos de 100 metros en una red vial. En otras palabras, los planes de inversión se desarrollan en tres pasos clave:

- Basándose en las clasificaciones de estrellas, los datos de volumen de tráfico y los datos de accidentes (si están disponibles), el número estimado de muertes y lesiones graves se distribuye a través de la red de carreteras.
- Para cada segmento de 100 metros de carretera, las opciones de contramedidas se prueban por su potencial para reducir muertes y



lesiones graves. Se utilizan una serie de factores desencadenantes para seleccionar tratamientos de contramedidas adecuados en ubicaciones viables. Por ejemplo, una sección de la carretera que tiene una baja calificación de estrellas para peatones y una alta actividad peatonal podría ser un candidato para un sendero o una instalación de cruce de peatones.

- Cada opción de contramedida se evalúa según los criterios de asequibilidad y efectividad económica.

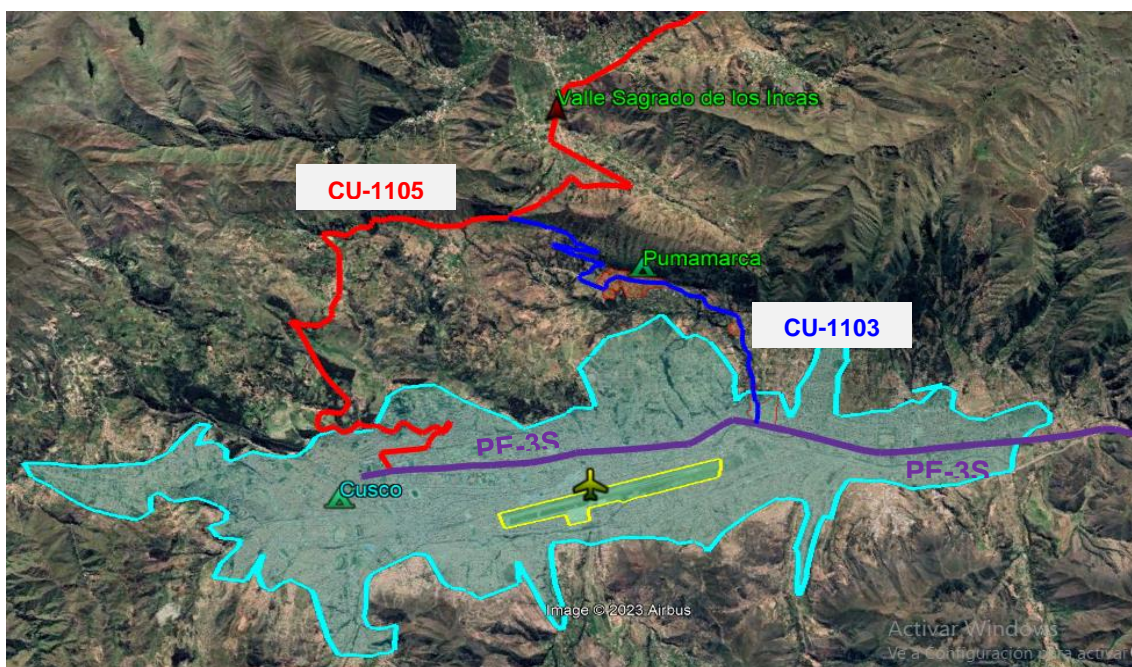
Para el desarrollo de estos pasos se utilizó la información propuesta en las fichas técnicas de la metodología (International Road Assessment Programme, PROGRAMME INTERNATIONAL ROAD ASSESSMENT, 2023), situadas en la web oficial www.irap.org.

CAPITULO III EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LA VÍA

3.1. IMPORTANCIA ACTUAL DEL TRAMO DE ESTUDIO

Por su localización y ubicación, la vía en estudio es considerada como una red vial de la provincia del Cusco y principalmente como un desvío de tránsito alternativo hacia otras provincias y distritos, entre (Calca, Pisac, San Sebastián, San Jerónimo y Saylla y los distritos de Wanchaq, Santiago de la parte sureste de la ciudad del Cusco) y una ruta alternativa de descongestión del centro histórico y arqueológico de la ciudad de Cusco.

Imagen N° 17 Delimitación actual del tramo



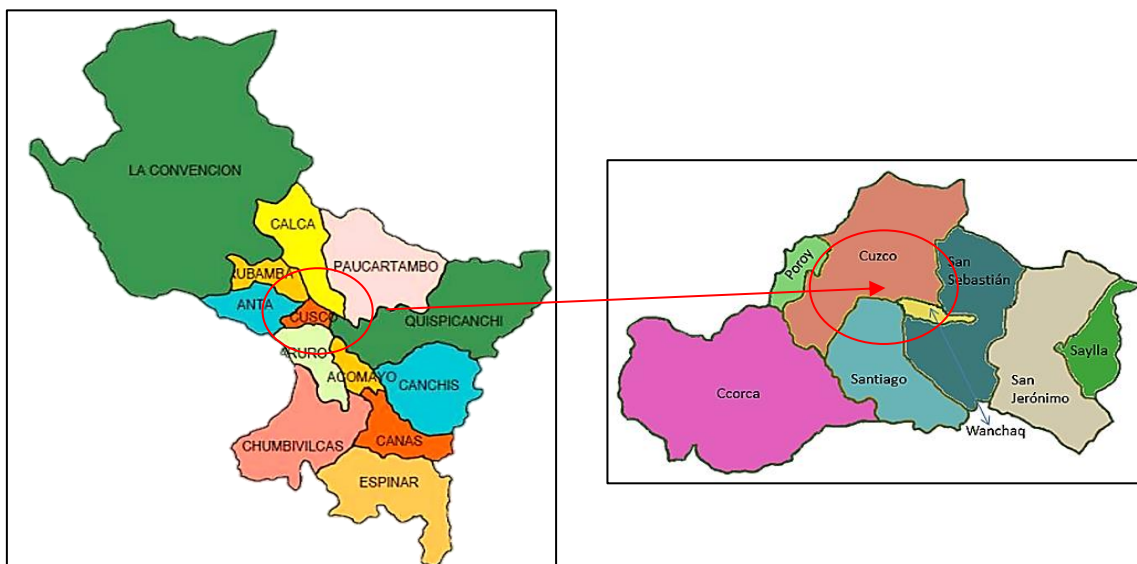
Fuente: elaboración propia.

3.2. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ESTADO CLIMATOLÓGICO

La zona en estudio, se encuentra entre las faldas del cerro Picol, cuyas altitudes varían desde 3250 m. s. n. m en el sector de Tenería Pampa y 3780 m. s. n. m. en el lugar denominado Abra San Martín - Ccorao, que viene a ser el punto final de la vía en estudio, topográficamente la zona está conformada por terrenos llanos, ondulados y accidentados con pendientes variadas, prevaleciendo en gran medida terrenos con pendientes mínimas y terrenos con pendientes relativamente moderadas y que estas en conjunto representan más del 80%.

El lugar presenta un paisaje característico, de una cuenca con abundante vegetación por donde discurre el riachuelo de Tenería.

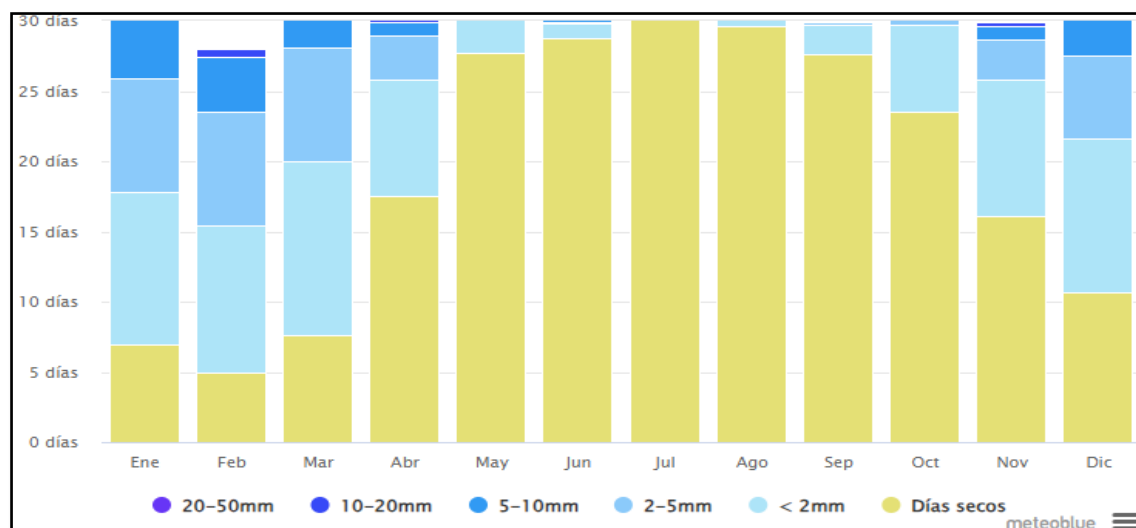
Imagen N° 18 Localización del estudio



Fuente: elaboración propia.

Climatológicamente la zona de estudio se caracteriza por un clima con marcada alternancia de una estación lluviosa, el cual se presenta entre los meses de diciembre a abril y una estación seca entre los meses mayo a noviembre.

Imagen N° 19 Diagrama de precipitación en la zona de estudio.



Fuente: SENAMHI, Perú

3.3. CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA EN ESTUDIO

La carretera EMP. PE-3S - PUMAMARCA - EMP. CU-1105 tiene como código de ruta el CU – 1130, de acuerdo al Sistema Nacional de Carreteras (SINAC - PERU), así mismo el 20 de junio del 2013, fue inaugurada y abierta para el tránsito.

La vía en estudio cuenta con una longitud total de 09+26 km, su inicio parte desde el EMP. PE-3S (a la altura de Enaco) en el kilómetro 00+00 y finaliza en la intersección con la vía EMP. CU-1105 (Abra San Martín) en el kilómetro 09+26km.

Imagen Nº 20 Inauguración de la carretera CU – 1103 (año 2013)



Fuente: Gobierno Regional 2013

En la actualidad la vía en estudio, es una Carreteras de Tercera Clase, compuesta por una carpeta de rodadura de asfalto el cual cuenta con 2 carriles, la zona topográfica es de tipo ondulado (montañoso), en su recorrido las cotas superan los 3250 m. s. n. m, lo que provoca que en épocas de lluvia las cunetas laterales se colmaten por los derrumbes menores y el agua discurra a lo largo del eje longitudinal, siendo este un factor de riesgo para el usuario que lo transite.

A lo largo de sus más de 10 años de operación, la vía no tuvo ningún tipo de mantenimiento ni mucho menos alguna modificación, lo que conlleva a constantes incidentes como reportan las estaciones policiales de tránsito y son testigos los lugareños adyacentes a este.

A continuación, se muestra una bionda de seguridad en estado malo, producto de un aparente choque.

Imagen N° 21 Bionda de seguridad en estado malo km 04+700



Fuente Propia.

3.3.1. CLASIFICACIÓN DE LA CARRETERA

Como parte de la recopilación de información, el cual ayudara a tener detalle sobre las características del camino de estudio, mi persona pudo acceder a la información del expediente técnico (2011), el cual se resume en la siguiente tabla:

Tabla N° 9 Características técnicas del tramo en estudio de acuerdo al expediente técnico 2013

| CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS | VALOR |
|--|-----------------------------|
| LONGITUD DE LA CARRETERA | 9,260.00 m. |
| <u>TIPO DE CARRETERA</u> | |
| - SEGÚN LA FUNCIÓN POR DEMANDA | Carreteras de Tercera Clase |
| - SEGÚN LA OROGRAFIA | Terreno ondulado (tipo 2) |
| VELOCIDAD DIRECTRIZ | 40 km/h |
| RADIO MÍNIMO SIN CURVA DE TRANSICIÓN | 80.00 m |
| RADIO MÍNIMO EXCEPCIONAL CON TRANSICIÓN | 25.00 m |
| RADIO MÍNIMO CURVAS DE VOLTEO (CON TRANSICIÓN) | 20.00 m |
| PENDIENTE MÍNIMA | 0.50% |
| PENDIENTE MÁXIMA | 7.00% |
| PENDIENTE MÁXIMA EXCEPCIONAL | 9.00% |
| SUPERFICIE DE RODADURA | 6.00 m |



| | |
|---|--------------|
| ANCHO DE BERMA | 0.50 m |
| DERECHO DE VÍA | 16.00 m |
| BOMBEO | 2.00% |
| BOMBEO EN BERMAS | 4.00% |
| PERALTE MÁXIMA | 5.00% |
| PERALTE MÁXIMA EXCEPCIONAL (CURVAS DE VOLTEO) | 6.00% |
| SOBREANCHOS | Variable |
| ESPELOR DEL ASFALTO | 2" (5.00 cm) |
| ESPELOR DE BASE | 20.00 cm. |
| ESPELOR DE SUB BASE | 30.00 cm. |

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al expediente técnico, con el cual fue ejecutada la construcción la vía, el tipo de carretera según su función es de tercera clase, es decir que su IMDA en su momento fue menores a 400 veh /día, así mismo de acuerdo a su clasificación por orografía fue de terreno ondulado (tipo 2) es decir tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 11% y 50% y sus pendientes longitudinales se encuentran entre 3% y 6 %, demandando al ser ejecutado un moderado movimiento de tierras, lo que permitía alineamientos rectos, alternados con curvas de radios amplios, sin mayores dificultades en el trazo.

3.3.2. CALCULO DEL INDICIE MEDIO DÍA ANUAL ACTUAL

Para obtener el IMDA (Índice Medio Diario Anual) actual del tramo de estudio, primeramente, se realizó la recolección de datos del tráfico vehicular por un periodo de 7 días en el mes de agosto del 2023, en dos estaciones de control (una en Enaco y la otra en el Abra Ccorao), obteniéndose los siguientes resultados, el cual representa el índice medio diario semanal por tipo de vehículo:

Tabla N° 10 Índice medio diario semanal por tipo de vehículo

| Tipo de Vehículos | IMDS | Distrib. |
|-------------------|------|----------|
| | | % |
| Autos | 336 | 34.4% |
| Satation Wagon | 166 | 17.0% |
| Camioneta Pick Up | 254 | 26.0% |
| Camioneta Panel | 0 | 0.0% |



| | | |
|------------------|------------|---------------|
| Camioneta Rural | 5 | 0.5% |
| Micro | 63 | 6.4% |
| Omnibus 2E y 3E | 5 | 0.5% |
| Camión 2E | 112 | 11.5% |
| Camión 3E | 26 | 2.7% |
| Camión 4E | 0 | 0.0% |
| Semi trayler | 7 | 0.7% |
| Trayler | 4 | 0.4% |
| TOTAL IMD | 978 | 100.0% |

Fuente: Elaboración propia.

Consecuentemente, se aplicó los factores de corrección promedio para vehículos ligeros y pesados del mes de agosto, conforme a la información base de la Dirección General del Sistema Nacional de Inversión Pública, como se detalla a continuación.

Tabla N° 11 Factores de corrección por tipo de vehículo

| Mes | Ligero | Pesado |
|---------------|-----------------|-----------------|
| Enero | 1.012254 | 1.033154 |
| Febrero | 0.962672 | 1.002258 |
| Marzo | 1.064325 | 1.048227 |
| Abril | 1.292215 | 1.197009 |
| Mayo | 1.179586 | 1.087123 |
| Junio | 1.171810 | 1.085906 |
| Julio | 1.045055 | 1.026910 |
| Agosto | 0.979378 | 0.967106 |
| Septiembre | 0.931480 | 0.969674 |
| Octubre | 1.056679 | 0.996550 |
| Noviembre | 1.067440 | 0.959322 |

Fuente: Elaboración propia.

Con estos factores de corrección, y las fórmulas correspondientes se calculó el IMDA, el cual se detalla el resultado en la tabla N° 12:

$$\text{IMDa} = \text{IMDs} \times \text{FC}$$

$$\text{IMDs} = \sum \frac{V_i}{7} \text{ (promedio de los 7 días)}$$

Donde:

IMDs: índice medio diario semanal de la muestra vehicular tomada.

IMDa: índice medio diario anual.

Vi: Volumen vehicular diario de cada uno de los días de conteo.

Fc: Factor de corrección estacional

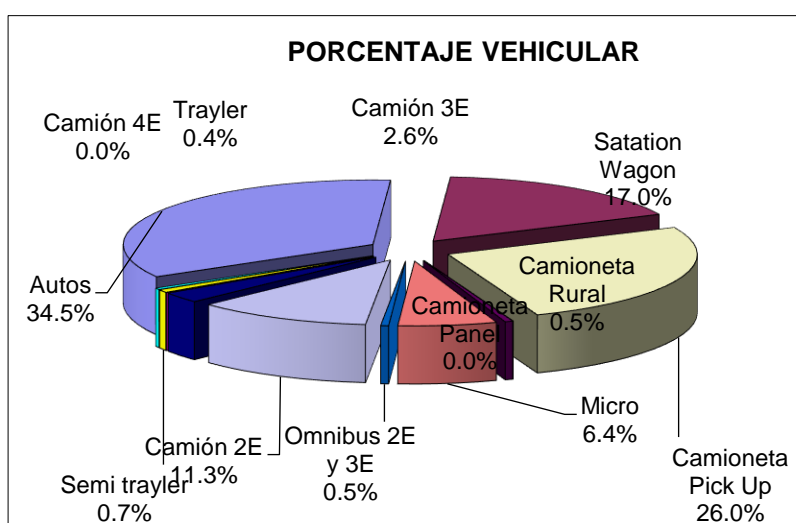
Tabla N° 12 Índice medio diario anual

| Tipo de Vehículos | IMDA | Distrib. % |
|-------------------|------------|---------------|
| Autos | 329 | 34.5% |
| Satation Wagon | 163 | 17.0% |
| Camioneta Pick Up | 249 | 26.0% |
| Camioneta Panel | 0 | 0.0% |
| Camioneta Rural | 5 | 0.5% |
| Micro | 61 | 6.4% |
| Omnibus 2E y 3E | 5 | 0.5% |
| Camión 2E | 108 | 11.3% |
| Camión 3E | 25 | 2.6% |
| Camión 4E | 0 | 0.0% |
| Semi trayler | 7 | 0.7% |
| Trayler | 4 | 0.4% |
| TOTAL IMDA | 955 | 100.0% |

Fuente: Elaboración propia.

Es así que el IMDa del tramo de estudio es de 955 Veh/día, y el mayor porcentaje de tipo de vehículo que transita en la vía son los autos con un 34.5%, a continuación, se muestra los porcentajes de tránsito por tipo de vehículo:

Imagen N° 22 porcentaje del tránsito vehicular por tipo de vehículo



Fuente: Elaboración propia.

3.4. ESTADO DE LAS ALINEACIONES

Una vez realizado un reconocimiento preliminar de la ruta y haber obtenido el expediente técnico con el cual fue ejecutado la vía en el año 2013 a continuación se desarrolló el esta actual de las alineaciones geométricas de la carretera CU-1103, con el fin de obtener los objetivos planteados.

3.4.1. VELOCIDAD DE DISEÑO

La velocidad de diseño con el cual fue diseñada es de 40 km/h para toda la longitud de la vía, esto de acuerdo al (Municipalidad Distrital de San Sebastian, 2008), sin embargo, del recorrido realizado preliminarmente al tramo, se observó que este debió tener como mínimo dos tipos de velocidades, por los tipos de pendiente longitudinal que presenta y topografía, a efectos de obtener la restitución geométrica de la vía como fue ejecutada, se tomó esta velocidad para todos los cálculos.

3.4.2. RESTITUCIÓN GEOMÉTRICA DE LOS TRAMOS DE ESTUDIO

Una vez realizado la verificación de los datos del expediente y haber recorrido en insitu del tramo, se pasó a realizar la restitución geométrica de la vía, para ello, se realizó un levantamiento topográfico de la franja de dominio y posteriormente se importó los puntos el software Autodesk Civil 3D utilizando la herramienta set location, como se muestra en las siguientes imágenes.

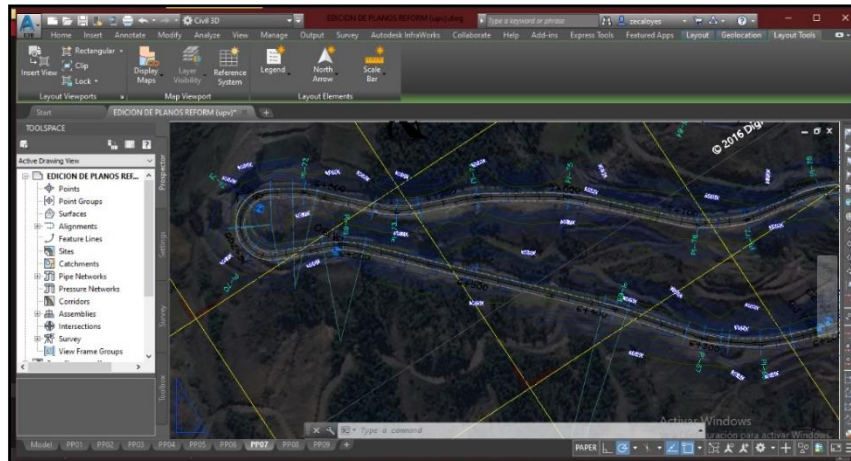
Imagen N° 23 Levantamiento topográfico en campo



Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente imagen se puede visualizar la importación de puntos topográficos al civil 3D y la georreferenciación utilizando las imágenes del Google Earth.

Imagen N° 24 Importación y procesamiento de datos en el Civil 3D



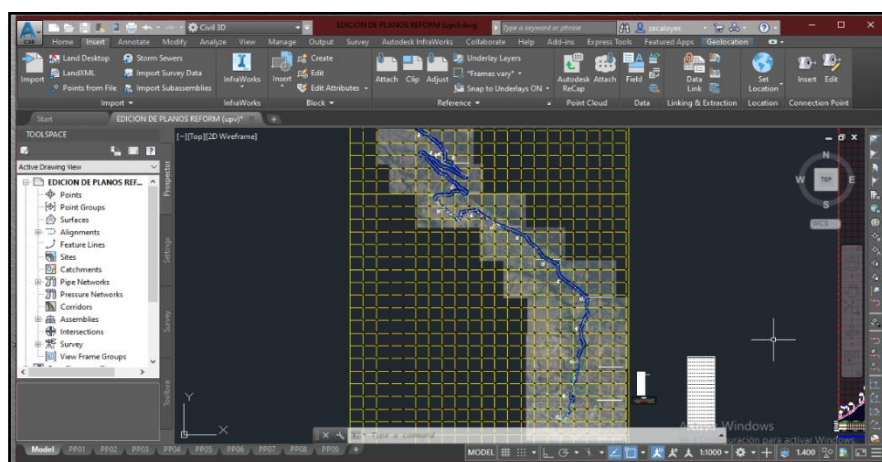
Fuente: Civil 3D.

3.4.3. ALINEAMIENTO HORIZONTAL

El alineamiento horizontal está compuesto de curvas y rectas unidas entre sí, de donde a partir de ellas se obtienen los radios, curvas de transición, longitudes de curvas y tangente, etc.

Para la obtención de los distintos elementos en planta fue necesario restablecer el trazado de la vía utilizando un levantamiento topográfico conjuntamente con imágenes satelitales del programa Google Earth.

Imagen N° 25 Procesamiento del alineamiento horizontal



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se detalla las características geométricas obtenidas del procesamiento de datos realizado:

Tabla N° 13 Elementos geométricos en planta

| <i>Sitio</i> | <i>Elemento</i> | <i>Longitud (m)</i> | <i>Radio (m)</i> | <i>P.C/Inc. de Tang</i> | <i>P.T/Inc. de Tang</i> | <i>Pendiente (%)</i> |
|--------------|-----------------|---------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1 | Tangente | 16.994 | - | 00+00 | 00+016.99 | |
| 2 | Curva | 4.669 | 35 | 00+016.99 | 00+021.66 | 11.97 |
| 3 | Tangente | 28.002 | - | 00+021.66 | 00+049.67 | |
| 4 | Curva | 21.194 | 50 | 00+049.67 | 00+070.86 | 5.73 |
| 5 | Tangente | 99.713 | - | 00+070.86 | 00+170.57 | |
| 6 | Curva | 18.668 | 150 | 00+170.57 | 00+189.24 | 5.73 |
| 7 | Tangente | 26.488 | - | 00+189.24 | 00+215.73 | |
| 8 | Curva | 6.793 | 150 | 00+215.73 | 00+222.52 | 8.67 |
| 9 | Tangente | 22.628 | - | 00+222.52 | 00+245.15 | |
| 10 | Curva | 6.933 | 150 | 00+245.15 | 00+252.08 | 8.67 |
| 11 | Tangente | 127.271 | - | 00+252.08 | 00+379.35 | |
| 12 | Curva | 27.309 | 20 | 00+379.35 | 00+406.66 | 12.04 |
| 13 | Tangente | 11.493 | - | 00+406.66 | 00+418.16 | |
| 14 | Curva | 22.707 | 18 | 00+418.16 | 00+440.86 | 12.04 |
| 15 | Tangente | 15.362 | - | 00+440.86 | 00+456.22 | |
| 16 | Curva | 14.188 | 150 | 00+456.22 | 00+470.41 | 12.04 |
| 17 | Curva | 19.364 | 350 | 00+470.41 | 00+489.78 | 6.13 |
| 18 | Tangente | 64.956 | - | 00+489.78 | 00+554.73 | |
| 19 | Curva | 66.148 | 350 | 00+554.73 | 00+620.88 | 6.13 |
| 20 | Tangente | 47.173 | - | 00+620.88 | 00+668.05 | |
| 21 | Curva | 30.932 | 150 | 00+668.05 | 00+698.99 | 11.62 |
| 22 | Tangente | 37.411 | - | 00+698.99 | 00+736.40 | |
| 23 | Curva | 26.264 | 90 | 00+736.40 | 00+762.66 | 11.62 |
| 24 | Tangente | 36.646 | - | 00+762.66 | 00+799.31 | |
| 25 | Curva | 35.588 | 70 | 00+799.31 | 00+834.89 | 7.26 |
| 26 | Tangente | 36.291 | - | 00+834.89 | 00+871.19 | |
| 27 | Curva | 31.841 | 180 | 00+871.19 | 00+903.03 | 7.26 |
| 28 | Tangente | 29.402 | - | 00+903.03 | 00+932.43 | |
| 29 | Curva | 11.813 | 180 | 00+932.43 | 00+944.24 | 7.26 |
| 30 | Tangente | 91.132 | - | 00+944.24 | 01+035.37 | |
| 31 | Curva | 40.454 | 120 | 01+035.37 | 01+075.83 | 7.26 |
| 32 | Tangente | 47.025 | - | 01+075.83 | 01+122.85 | |
| 33 | Curva | 14.132 | 120 | 01+122.85 | 01+136.98 | 7.26 |
| 34 | Tangente | 34.239 | - | 01+136.98 | 01+171.22 | |
| 35 | Curva | 25.973 | 60 | 01+171.22 | 01+197.20 | 9.57 |
| 36 | Tangente | 27.674 | - | 01+197.20 | 01+224.87 | |



| | | | | | | |
|----|----------|---------|-----|-----------|-----------|-------------|
| 37 | Curva | 46.670 | 50 | 01+224.87 | 01+271.54 | 9.57 |
| 38 | Tangente | 30.130 | - | 01+271.54 | 01+301.67 | |
| 39 | Curva | 34.528 | 120 | 01+301.67 | 01+336.20 | 9.57 |
| 40 | Tangente | 17.015 | - | 01+336.20 | 01+353.21 | |
| 41 | Curva | 28.801 | 60 | 01+353.21 | 01+382.01 | 9.57 |
| 42 | Tangente | 50.208 | - | 01+382.01 | 01+432.22 | |
| 43 | Curva | 21.549 | 180 | 01+432.22 | 01+453.77 | 9.57 |
| 44 | Tangente | 33.660 | - | 01+453.77 | 01+487.43 | |
| 45 | Curva | 32.671 | 60 | 01+487.43 | 01+520.10 | 9.57 |
| 46 | Tangente | 137.602 | - | 01+520.10 | 01+657.70 | |
| 47 | Curva | 30.188 | 350 | 01+657.70 | 01+687.89 | 9.57 |
| 48 | Tangente | 66.280 | - | 01+687.89 | 01+754.17 | |
| 49 | Curva | 30.969 | 40 | 01+754.17 | 01+785.14 | 2.74 |
| 50 | Tangente | 21.164 | - | 01+785.14 | 01+806.31 | |
| 51 | Curva | 26.197 | 150 | 01+806.31 | 01+832.50 | 2.74 |
| 52 | Tangente | 72.785 | - | 01+832.50 | 01+905.29 | |
| 53 | Curva | 40.511 | 60 | 01+905.29 | 01+945.80 | 2.74 |
| 54 | Tangente | 15.920 | - | 01+945.80 | 01+961.72 | |
| 55 | Curva | 40.520 | 40 | 01+961.72 | 02+002.24 | 2.74 |
| 56 | Tangente | 11.630 | - | 02+002.24 | 02+013.87 | |
| 57 | Curva | 64.094 | 160 | 02+013.87 | 02+077.96 | 2.74 |
| 58 | Tangente | 78.330 | - | 02+077.96 | 02+156.29 | |
| 59 | Curva | 9.151 | 100 | 02+156.29 | 02+165.44 | 2.74 |
| 60 | Tangente | 37.960 | - | 02+165.44 | 02+203.40 | |
| 61 | Curva | 16.337 | 90 | 02+203.40 | 02+219.74 | 2.74 |
| 62 | Tangente | 41.670 | - | 02+219.74 | 02+261.41 | |
| 63 | Curva | 17.113 | 150 | 02+261.41 | 02+278.52 | 7.44 |
| 64 | Tangente | 76.820 | - | 02+278.52 | 02+355.34 | |
| 65 | Curva | 29.728 | 150 | 02+355.34 | 02+385.07 | 7.44 |
| 66 | Tangente | 38.810 | - | 02+385.07 | 02+423.88 | |
| 67 | Curva | 38.246 | 350 | 02+423.88 | 02+462.13 | 7.44 |
| 68 | Tangente | 48.670 | - | 02+462.13 | 02+510.80 | |
| 69 | Curva | 53.567 | 120 | 02+510.80 | 02+564.36 | 7.44 |
| 70 | Tangente | 48.420 | - | 02+564.36 | 02+612.78 | |
| 71 | Curva | 35.198 | 70 | 02+612.78 | 02+647.98 | 8.59 |
| 72 | Tangente | 75.120 | - | 02+647.98 | 02+723.10 | |
| 73 | Curva | 53.070 | 46 | 02+723.10 | 02+776.17 | 8.59 |
| 74 | Tangente | 79.340 | - | 02+776.17 | 02+855.51 | |
| 75 | Curva | 9.370 | 150 | 02+855.51 | 02+864.88 | 6.49 |
| 76 | Tangente | 120.220 | - | 02+864.88 | 02+985.10 | |
| 77 | Curva | 38.567 | 80 | 02+985.10 | 03+023.67 | 6.49 |
| 78 | Tangente | 131.140 | - | 03+023.67 | 03+154.81 | |
| 79 | Curva | 66.492 | 160 | 03+154.81 | 03+221.30 | 6.49 |



| | | | | | | |
|-----|----------|---------|------|-----------|-----------|-------------|
| 80 | Tangente | 42.320 | - | 03+221.30 | 03+263.62 | |
| 81 | Curva | 69.243 | 140 | 03+263.62 | 03+332.86 | 5.61 |
| 82 | Tangente | 43.420 | - | 03+332.86 | 03+376.28 | |
| 83 | Curva | 119.920 | 180 | 03+376.28 | 03+496.20 | 5.61 |
| 84 | Tangente | 318.320 | - | 03+496.20 | 03+814.52 | |
| 85 | Curva | 35.632 | 350 | 03+814.52 | 03+850.16 | 2.28 |
| 86 | Tangente | 108.230 | - | 03+850.16 | 03+958.39 | |
| 87 | Curva | 6.521 | 250 | 03+958.39 | 03+964.91 | 2.28 |
| 88 | Tangente | 115.260 | - | 03+964.91 | 04+080.17 | |
| 89 | Curva | 73.976 | 450 | 04+080.17 | 04+154.14 | 2.28 |
| 90 | Tangente | 97.270 | - | 04+154.14 | 04+251.41 | |
| 91 | Curva | 81.966 | 98 | 04+251.41 | 04+333.38 | 0.91 |
| 92 | Tangente | 156.830 | - | 04+333.38 | 04+490.21 | |
| 93 | Curva | 52.501 | 45 | 04+490.21 | 04+542.71 | 0.91 |
| 94 | Tangente | 48.320 | - | 04+542.71 | 04+591.03 | |
| 95 | Curva | 15.217 | 150 | 04+591.03 | 04+606.25 | 5.68 |
| 96 | Tangente | 10.740 | - | 04+606.25 | 04+616.99 | |
| 97 | Curva | 53.221 | 27.5 | 04+616.99 | 04+670.21 | 5.68 |
| 98 | Tangente | 257.260 | - | 04+670.21 | 04+927.47 | |
| 99 | Curva | 15.990 | 250 | 04+927.47 | 04+943.46 | 3.08 |
| 100 | Tangente | 156.420 | - | 04+943.46 | 05+099.88 | |
| 101 | Curva | 116.147 | 50 | 05+099.88 | 05+216.03 | 6.14 |
| 102 | Tangente | 53.520 | - | 05+216.03 | 05+269.55 | |
| 103 | Curva | 12.299 | 250 | 05+269.55 | 05+281.84 | 6.14 |
| 104 | Tangente | 73.320 | - | 05+281.84 | 05+355.16 | |
| 105 | Curva | 17.513 | 150 | 05+355.16 | 05+372.68 | 8.09 |
| 106 | Tangente | 18.350 | - | 05+372.68 | 05+391.03 | |
| 107 | Curva | 35.065 | 40 | 05+391.03 | 05+426.09 | 8.09 |
| 108 | Tangente | 30.780 | - | 05+426.09 | 05+456.87 | |
| 109 | Curva | 44.861 | 43 | 05+456.87 | 05+501.73 | 8.09 |
| 110 | Tangente | 11.100 | - | 05+501.73 | 05+512.83 | |
| 111 | Curva | 11.980 | 150 | 05+512.83 | 05+524.81 | 8.09 |
| 112 | Tangente | 59.280 | - | 05+524.81 | 05+584.09 | |
| 113 | Curva | 39.189 | 75 | 05+584.09 | 05+623.28 | 7.22 |
| 114 | Tangente | 20.690 | - | 05+623.28 | 05+643.97 | |
| 115 | Curva | 34.679 | 22 | 05+643.97 | 05+678.65 | 7.22 |
| 116 | Curva | 34.679 | 22 | 05+678.65 | 05+713.33 | 7.22 |
| 117 | Tangente | 38.920 | - | 05+713.33 | 05+752.25 | |
| 118 | Curva | 43.558 | 150 | 05+752.25 | 05+795.81 | 8.83 |
| 119 | tangente | 24.530 | - | 05+795.81 | 05+820.34 | |
| 120 | Curva | 34.659 | 50 | 05+820.34 | 05+855.00 | 8.83 |
| 121 | tangente | 31.440 | - | 05+855.00 | 05+886.44 | |
| 122 | Curva | 22.873 | 80 | 05+886.44 | 05+909.31 | 8.83 |



| | | | | | | |
|-----|----------|---------|-----|-----------|-----------|-------------|
| 123 | tangente | 16.200 | - | 05+909.31 | 05+925.51 | |
| 124 | Curva | 21.945 | 50 | 05+925.51 | 05+947.46 | 8.83 |
| 125 | tangente | 36.630 | - | 05+947.46 | 05+984.09 | |
| 126 | Curva | 43.161 | 70 | 05+984.09 | 06+027.25 | 8.83 |
| 127 | tangente | 69.730 | - | 06+027.25 | 06+096.98 | |
| 128 | Curva | 30.377 | 50 | 06+096.98 | 06+127.35 | 8.83 |
| 129 | tangente | 51.240 | - | 06+127.35 | 06+178.59 | |
| 130 | Curva | 53.164 | 150 | 06+178.59 | 06+231.76 | 3.97 |
| 131 | tangente | 6.410 | - | 06+231.76 | 06+238.17 | |
| 132 | Curva | 29.937 | 150 | 06+238.17 | 06+268.10 | 3.97 |
| 133 | tangente | 51.840 | - | 06+268.10 | 06+319.94 | |
| 134 | Curva | 20.034 | 250 | 06+319.94 | 06+339.98 | 3.97 |
| 135 | tangente | 204.620 | - | 06+339.98 | 06+544.60 | |
| 136 | Curva | 33.811 | 80 | 06+544.60 | 06+578.41 | 7.26 |
| 137 | tangente | 38.770 | - | 06+578.41 | 06+617.18 | |
| 138 | Curva | 43.505 | 26 | 06+617.18 | 06+660.68 | 7.26 |
| 139 | Curva | 42.271 | 26 | 06+660.68 | 06+702.96 | 7.26 |
| 140 | tangente | 18.140 | - | 06+702.96 | 06+721.10 | |
| 141 | Curva | 20.027 | 80 | 06+721.10 | 06+741.12 | |
| 142 | tangente | 48.980 | - | 06+741.12 | 06+790.10 | 1.69 |
| 143 | Curva | 38.003 | 90 | 06+790.10 | 06+828.11 | |
| 144 | tangente | 34.460 | - | 06+828.11 | 06+862.57 | 1.69 |
| 145 | Curva | 29.270 | 150 | 06+862.57 | 06+891.84 | |
| 146 | tangente | 44.510 | - | 06+891.84 | 06+936.35 | 3.24 |
| 147 | Curva | 33.547 | 150 | 06+936.35 | 06+969.89 | |
| 148 | tangente | 72.670 | - | 06+969.89 | 07+042.56 | 3.24 |
| 149 | Curva | 39.386 | 120 | 07+042.56 | 07+081.95 | |
| 150 | tangente | 9.190 | - | 07+081.95 | 07+091.14 | 3.24 |
| 151 | Curva | 24.219 | 80 | 07+091.14 | 07+115.36 | |
| 152 | tangente | 34.000 | - | 07+115.36 | 07+149.36 | 5.53 |
| 153 | Curva | 36.524 | 100 | 07+149.36 | 07+185.88 | |
| 154 | tangente | 269.510 | - | 07+185.88 | 07+455.39 | 5.53 |
| 155 | Curva | 30.945 | 19 | 07+455.39 | 07+486.34 | |
| 156 | Curva | 30.945 | 19 | 07+486.34 | 07+517.28 | 7.37 |
| 157 | tangente | 32.020 | - | 07+517.28 | 07+549.30 | 7.37 |
| 158 | Curva | 32.026 | 100 | 07+549.30 | 07+581.33 | |
| 159 | tangente | 129.930 | - | 07+581.33 | 07+711.26 | 2.69 |
| 160 | Curva | 41.163 | 180 | 07+711.26 | 07+752.42 | |
| 161 | tangente | 42.520 | - | 07+752.42 | 07+794.94 | 2.69 |
| 162 | Curva | 37.400 | 55 | 07+794.94 | 07+832.34 | |
| 163 | tangente | 44.520 | - | 07+832.34 | 07+876.86 | 2.69 |
| 164 | Curva | 70.554 | 50 | 07+876.86 | 07+947.41 | |
| 165 | tangente | 47.340 | - | 07+947.41 | 07+994.75 | 6.18 |



| | | | | | | |
|-----|----------|---------|-----|-----------|-----------|-------------|
| 166 | Curva | 56.200 | 75 | 07+994.75 | 08+050.95 | |
| 167 | tangente | 40.780 | - | 08+050.95 | 08+091.73 | 6.18 |
| 168 | Curva | 16.226 | 120 | 08+091.73 | 08+107.96 | |
| 169 | tangente | 34.380 | - | 08+107.96 | 08+142.34 | 7.99 |
| 170 | Curva | 31.538 | 80 | 08+142.34 | 08+173.88 | |
| 171 | tangente | 35.280 | - | 08+173.88 | 08+209.16 | 7.99 |
| 172 | Curva | 8.946 | 80 | 08+209.16 | 08+218.10 | |
| 173 | tangente | 46.620 | - | 08+218.10 | 08+264.72 | 7.99 |
| 174 | Curva | 15.128 | 80 | 08+264.72 | 08+279.85 | |
| 175 | tangente | 45.710 | - | 08+279.85 | 08+325.56 | 7.99 |
| 176 | Curva | 20.590 | 120 | 08+325.56 | 08+346.15 | |
| 177 | tangente | 74.480 | - | 08+346.15 | 08+420.63 | 7.99 |
| 178 | Curva | 27.117 | 50 | 08+420.63 | 08+447.75 | |
| 179 | tangente | 26.920 | - | 08+447.75 | 08+474.67 | 4.88 |
| 180 | Curva | 61.058 | 110 | 08+474.67 | 08+535.73 | |
| 181 | tangente | 79.530 | - | 08+535.73 | 08+615.26 | 4.88 |
| 182 | Curva | 40.601 | 170 | 08+615.26 | 08+655.86 | |
| 183 | tangente | 191.170 | - | 08+655.86 | 08+847.03 | 6.88 |
| 184 | Curva | 13.495 | 450 | 08+847.03 | 08+860.52 | |
| 185 | tangente | 290.230 | - | 08+860.52 | 09+150.75 | 6.88 |
| 186 | Curva | 61.771 | 250 | 09+150.75 | 09+212.52 | |

Fuente: Elaboración propia.

De los datos obtenidos, se puede decir que:

- Existen 189 elementos geométricos totales, de estos 95 son curvas y 94 tangentes.
- Existen cuatro puntos en el tramo, que presentan curvas de desarrollo y están ubicadas en los kilómetros (00+456.22, 05+678.65, 06+617.18 y 07+486.34).
- Existen cuatro puntos con radios por debajo de los 30 metros, estos están ubicados en los kilómetros (00+379.35, 05+678.65, 06+617.18 y 07+486.34).
- Las menor longitudes de tangente en el tramo es de 6.41 metros y está ubicado en el kilómetro 06+231.76 al 06+238.17, mientras que la máxima longitud de tangente es de 269.510 metros y está en la progresiva 07+185.88 al 07+455.39.

3.4.4. TRAZADO EN ALZADO

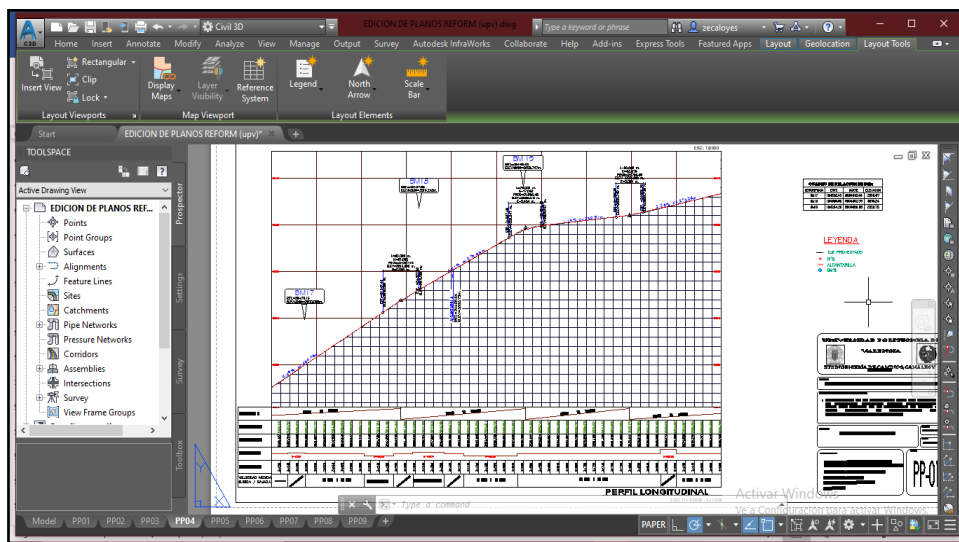
El trazado en alzado del tramo de estudio se compone de dos tipos de elementos, las rasantes que son los que presentan una inclinación

positiva y negativa, y los acuerdos verticales (llamados también acuerdos convexos y cóncavos), que son la diferencia de inclinación de salida y entrada.

Teniendo el alineamiento horizontal definido, se realizó el trazado de la rasante lo más ajustado a lo existente, utilizando nuevamente el CIVIL 3D y las imágenes satelitales del programa Google Earth, como se muestra en la siguiente imagen:

A continuación, se presenta las características obtenidas del trazado en alzado de la vía en estudio:

Imagen N° 26 Procesamiento del alineamiento vertical



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla siguiente, se detallará las principales características de los elementos geométricos en alzado:

Tabla N° 14 Elementos geométricos en alzado.

| PVI | DESCRIPCIÓN | | | | | ELEMENTOS DE CURVA | | |
|-----|--------------|---------------|--------------------------|-------------------------|---------------|--------------------------------------|--------|-------|
| | PVI Estación | PVI Elevación | Pendiente de entrada (%) | Pendiente de salida (%) | Tipo de curva | (Diferencia algebraica de pendiente) | Lc (m) | K |
| 1 | 0+025.13 | 3273.705 | 11.97 | 5.73 | Convexa | 6.24 | 30 | 4.81 |
| 2 | 0+189.57 | 3283.123 | 5.73 | 8.67 | Cóncava | 2.94 | 80 | 27.21 |
| 3 | 0+347.86 | 3296.854 | 8.67 | 12.04 | Cóncava | 3.37 | 60 | 17.80 |



| | | | | | | | | |
|----|----------|----------|-------|-------|---------|------|-----|--------|
| 4 | 0+514.56 | 3316.9 | 12.04 | 6.13 | Convexa | 5.91 | 65 | 11.00 |
| 5 | 0+652.75 | 3325.387 | 6.13 | 11.62 | Cóncava | 5.49 | 60 | 10.93 |
| 6 | 0+811.43 | 3343.832 | 11.62 | 7.26 | Convexa | 4.36 | 65 | 14.91 |
| 7 | 1+206.32 | 3372.487 | 7.26 | 9.57 | Cóncava | 2.31 | 75 | 32.47 |
| 8 | 1+775.08 | 3426.943 | 9.57 | 2.74 | Convexa | 6.83 | 205 | 30.01 |
| 9 | 2+268.89 | 3440.454 | 2.74 | 7.44 | Cóncava | 4.7 | 90 | 19.15 |
| 10 | 2+665.72 | 3469.971 | 7.44 | 8.59 | Cóncava | 1.15 | 60 | 52.17 |
| 11 | 2+832.64 | 3484.311 | 8.59 | 6.49 | Cóncava | 2.1 | 80 | 38.10 |
| 12 | 3+287.42 | 3513.816 | 6.49 | 5.61 | Convexa | 0.88 | 80 | 90.91 |
| 13 | 3+565.48 | 3529.41 | 5.61 | 1.15 | Convexa | 4.46 | 76 | 17.04 |
| 14 | 3+796.39 | 3532.066 | 1.15 | 2.28 | Cóncava | 1.13 | 60 | 53.10 |
| 15 | 4+169.65 | 3540.564 | 2.28 | -1.01 | Convexa | 3.29 | 95 | 28.88 |
| 16 | 4+331.84 | 3538.919 | -1.01 | 0.91 | Cóncava | 1.92 | 95 | 49.48 |
| 17 | 4+630.22 | 3541.635 | 0.91 | 5.68 | Cóncava | 4.77 | 150 | 31.45 |
| 18 | 4+769.41 | 3549.537 | 5.68 | 3.08 | Convexa | 2.6 | 65 | 25.00 |
| 19 | 4+989.44 | 3556.311 | 3.08 | 1.18 | Convexa | 1.9 | 105 | 55.26 |
| 20 | 5+169.70 | 3558.434 | 1.18 | 6.14 | Cóncava | 4.96 | 90 | 18.15 |
| 21 | 5+380.80 | 3571.398 | 6.14 | 8.09 | Cóncava | 1.95 | 60 | 30.77 |
| 22 | 5+586.50 | 3587.962 | 8.09 | 7.22 | Convexa | 0.87 | 90 | 103.45 |
| 23 | 5+740.24 | 3599.131 | 7.22 | 8.83 | Cóncava | 1.61 | 80 | 49.69 |
| 24 | 6+225.39 | 3641.975 | 8.83 | 3.97 | Convexa | 4.86 | 90 | 18.52 |
| 25 | 6+464.50 | 3651.498 | 3.97 | 7.26 | Cóncava | 3.29 | 95 | 28.88 |
| 26 | 6+754.64 | 3672.495 | 7.26 | 1.69 | Convexa | 5.57 | 70 | 12.57 |
| 27 | 6+907.61 | 3675.078 | 1.69 | 3.24 | Cóncava | 1.55 | 60 | 38.71 |
| 28 | 7+119.16 | 3681.928 | 3.24 | 5.53 | Cóncava | 2.29 | 40 | 17.47 |
| 29 | 7+398.57 | 3697.37 | 5.53 | 7.37 | Cóncava | 1.84 | 85 | 46.20 |
| 30 | 7+596.28 | 3711.95 | 7.37 | 2.69 | Convexa | 4.68 | 90 | 19.23 |
| 31 | 7+926 | 3720.842 | 2.69 | 6.18 | Cóncava | 3.49 | 185 | 53.01 |
| 32 | 8+092.96 | 3731.112 | 6.18 | 7.99 | Cóncava | 1.81 | 60 | 33.15 |
| 33 | 8+447.39 | 3759.433 | 7.99 | 4.88 | Convexa | 3.11 | 120 | 38.59 |
| 34 | 8+644.08 | 3769.035 | 4.88 | 6.88 | Cóncava | 2 | 80 | 40.00 |
| 35 | 8+912.97 | 3787.533 | 6.88 | 3.81 | Convexa | 3.07 | 45 | 14.66 |
| 36 | 9+049.89 | 3792.747 | 3.81 | 8.1 | Cóncava | 4.29 | 140 | 32.63 |
| 37 | 9+198.62 | 3804.801 | 8.1 | -0.68 | Convexa | 8.78 | 40 | 4.56 |

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla se puede verificar que:

- El tramo presenta 21 acuerdos cóncavos y 16 convexos.
- La pendiente longitudinal mayor que presenta el tramo, es del 12.04 % y está ubicada en la progresiva 00+379.35 al 00+470.41.

3.4.5. SECCIÓN TRANSVERSAL

El tramo en estudio presenta un derecho de vía de 16.00 metros, con una calzada única para ambos sentidos de circulación de 6 metros, así mismo a lo largo de su trayectoria presenta la carretera cunetas definidas, como se muestra en siguiente imagen:

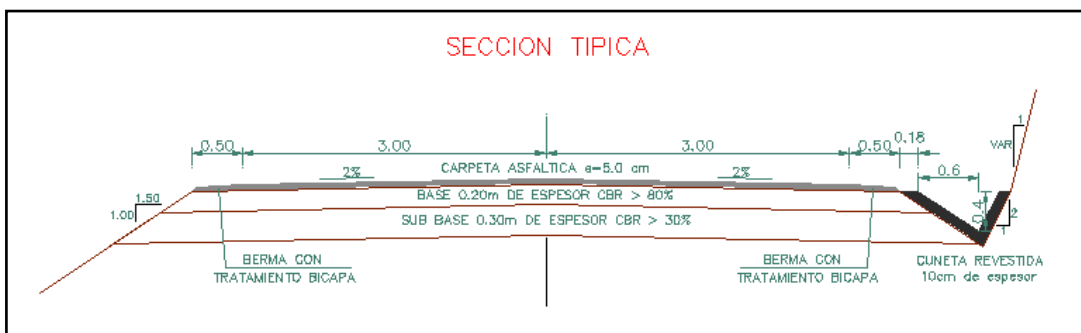
Imagen N° 27 Sección transversal del camino.



Fuente: Elaboración Google Earth.

En la siguiente imagen se puede observar la sección típica (franja de dominio) con el que se trabajó en el Civil 3D, donde se puede observar los datos como berma, eje de la vía, bombeo, corte del talud y la estructura de la carpeta de rodadura, todos estos datos fueron recopilados del expediente técnico.

Imagen N° 28 Sección típica procesadas en el civil 3D



Fuente: Elaboración propia.

Durante el recorrido realizado en la vía, se pudo observar que no existe señalización para maniobras o giros para zonas urbanas adyacentes a la vía,



asi mismo las cunetas se encuentran expuestas, lo cual a un eventual despiste de un vehículo o motorizado los resultados sería muy trágicos.

3.5. INSPECCIÓN DE SEGURIDAD VIAL

La presente inspección de seguridad vial realizada al tramo, fue esencial para identificar los potenciales problemas que pueda presentar la vía, asi mismo ver las condiciones de operación en las que se encuentra, el cual ayudara en el desarrollo de obtención de resultados, baja la aplicación de la metodología de consistencia de diseño y la evaluación en el programa iRAP.

Previo a la inspección de seguridad vial, describiré las zonas urbanizadas que se encuentran a lo largo de la vía, esto debido a que influyen en el comportamiento de la operatividad y seguridad de los conductores y usuarios.

Del sentido creciente (Noroeste) del tramo de estudio, del kilómetro 00+00 al 00+770 en la margen derecha e izquierda se puede visualizar zonas urbanas de Cachimayo y Sol de Oro respectivamente, asi mismo unas de las primeras bifurcaciones importantes es la que conduce hacia la zona denominada Hacienda San tutis Chico.

Continuando con la trayectoria del tramo, en el kilómetro 01+670 al 02+00 se observa 02 bifurcaciones el cual conducen para las zonas de Ticapata, asi mismo en la margen izquierda se puede presenciar una pequeña zona urbana en expansión el cual tiene por nombre como Hacienda Llacollo.

Del kilómetro 03+420 al 04+730, se presencia en ambos márgenes de la vía una zona urbana definida, el cual tiene como nombre Pumamarca.

Por último, en el kilómetro 05+150 se muestra una bifurcación el cual conduce a las zonas de Misquiuno, Misquipuquio y Quillahuata, todo ello detallado en la siguiente imagen.

Imagen N° 29 Localización de zonas urbanas y bifurcaciones



Fuente: Elaboración propia.

3.5.1. MÁRGENES Y SISTEMAS DE CONTENCIÓN


Parte de la seguridad vial de un camino, son los tipos de elementos que se presenta al borde (del piloto y copiloto), esto debido a que estos determinan la severidad o gravedad de un incidente. Para el presente trabajo de estudio se realizó una inspección visual, inventariando los principales elementos peligrosos como se detallan a continuación:

Tabla N° 15 Inspección de márgenes y sistemas de contención de la vía.

| ELEMENTO | TRAMO | MARGEN | DETALLE |
|---|------------------|----------------------|---------|
| Estructuras solidas: Postes de alumbrado público y veredas. Estructuras expuestas: cunetas y veredas. | 00+00 – 01+00 | Derecho e izquierdo. | |
| <p>Descripción: A lo largo de este primer tramo, se pudo visualizar una zona urbana bien definida, con cunetas laterales expuestas, así mismo postes de alumbrado cerca a la calzada con diametro de 210 mm.</p> | | | |

| | | | |
|--|----------------------|-----------------------------|--|
| <p>Abismo y cuneta expuesta.</p> | <p>01+00 - 02+00</p> | <p>Derecho e izquierdo.</p> | |
| <p>Descripción: En este segundo tramo, se pudo visualizar que existen al lado cercano de la vía postes de señalizaciones verticales sin ninguna protección, así mismo un abismos de más de 10 metros de altura al lado izquierdo de la vía, por el lado derecho cunetas de forma triangular descubiertas.</p> | | | |
| <p>Talud y cuneta expuesta.</p> | <p>02+00 – 03+00</p> | <p>Derecho e izquierdo.</p> | |
| <p>Descripción: En este tercer tramo, se pudo visualizar abismo de 4 metros de altura por el lado izquierdo de la vía y por el derecho cunetas triangulares descubiertas.</p> | | | |
| <p>Abismo y cuneta expuesta.</p> | <p>03+00 – 04+00</p> | <p>Derecho e izquierdo.</p> | |
| <p>Descripción: En este cuarto tramo, se pudo visualizar al lado izquierdo de la vía abismos de mas de 4 metros de altura y por el lado derecho cunetas de forma triangular descubiertas.</p> | | | |
| <p>Vivienda existente y cuneta expuesta.</p> | <p>04+00 – 05+00</p> | <p>Derecho e izquierdo</p> | |

| | | | |
|---|---------------|---------------------|--|
| <p>Descripcion: En este quinto tramo, se pudo visualizar al lado izquierdo y derecho zonas urbanizadas en expansion, asi mismo al lado derecho de la via cunetas de forma triangular descubiertas.</p> | | | |
| Bionda de seguridad y cuneta expuesta. | 05+00 – 06+00 | Derecho e izquierdo | |
| <p>Descripcion: En este sexto tramo, se pudo visualizar al lado izquierdo de la via, biondas de seguridad con termianles en forma de pez y por el lado derecho cunetas triangulares expuestas.</p> | | | |
| Talud y cuneta expuesta. | 06+00 – 07+00 | Derecho e izquierdo | |
| <p>Descripcion: En este septimo tramo, se pudo visualizar al lado izquierdo de la via taludes de mas de 3 metros de altura y al lado derecho de la via cunetas de forma triangular descubiertas.</p> | | | |
| Cuneta expuesta y abismo. | 07+00 – 08+00 | Derecho e izquierdo | |
| <p>Descripcion: En este octavo tramo, se pudo visualizar por la margen derecha de la via abismos de mas de 10 metros de altura, y por el lado izquierdo cunetas de forma triangular descubiertas.</p> | | | |
| Talud, Cuneta expuesta. | 08+00 – 09+00 | Derecho e izquierdo | |

| | | | |
|--|----------------|----------------------|--|
| Descripción: En este noveno tramo, se pudo visualizar en ambos márgenes laterales de la vía, cunetas triangulares descubiertas. | | | |
| Abismo y cuneta expuesta. | 09+00 – 09+260 | Derecho e izquierdo. |  |
| Descripción: En este décimo tramo, se pudo visualizar al lado izquierdo de la vía abismos de más de 20 metros de altura y al lado derecho de la vía cunetas de forma triangular descubiertas. | | | |





Fuente: Elaboración propia.

De la inspección realizada sobre los márgenes y sistemas de contención del tramo de estudio, se pudo indicar que existen cunetas laterales expuestas, así mismo del kilómetro 06+00 en adelante se presencia abismo de 4 a más de 20 metros de altura, sobre las barreras de seguridad en su totalidad, estas se encuentran solo en curvas horizontales y son de tipo cola de pez, en la zona urbana en expansión (Pumamarca) se visualiza crecimiento y construcción de infraestructuras sin ninguna regulación, debido a que la mayoría se encuentra dentro de la franja de dominio de la vía y por último también se pudo visualizar estructuras como postes de alumbrado y postes de señalización al borde de la vía sin ninguna protección.

3.5.2. POSIBLES INCIDENTES SEGÚN EL IRAP

A fin de poder tener la idea clara sobre los tipos de incidentes que pueden surgir o producirse en la vía de estudio, a continuación, mostraré gráficamente estos posibles tipos de incidentes que pueden suceder en función a la clasificación realizada por el iRAP y la inspección realizada:

Tabla N° 16 Tipos de incidentes para ocupantes de vehículos

| Incidentes en Ocupantes de vehículos | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Salida del camino.• Frontales.• Intersecciones y puntos de acceso. |     |

Fuente: Elaboración propia.

En grafica anterior se puede visualizar los posibles incidentes en función a la inspección realizada, para este caso para los ocupantes de los vehículos.

Tabla N° 17 Tipos de incidentes para ocupantes de motocicleta

| Incidentes de Motociclistas | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Salida del camino. • Frontales. • Intersecciones y puntos de acceso. • Movimiento a lo largo de la vía. | |

Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica anterior se visualiza los posibles incidentes en función a la inspección realizada, en este caso para los usuarios de motos.

Tabla N° 18 Tipo de incidentes para ciclistas.

| Incidentes de Ciclistas | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Desplazamiento a lo largo de la vía. • Intersecciones. • Salida del camino. | |

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro antes mostrado, se observa las gráficas de los posibles incidentes en función a la inspección realizada, para el caso este es para los ciclistas.

Por último, en el cuadro antes mostrado, se observa las gráficas de los posibles incidentes en función a la inspección realizada, para este caso para peatones.

Tabla N° 19 Tipo de incidente para peatones

| Incidentes de Peatones | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Caminando a lo largo de la vía.<ul style="list-style-type: none">• Cruce peatonal. | |

Fuente: Elaboración propia.

Continuando con las inspecciones, ahora pasaremos a la inspección de señales horizontales y verticales encontradas en la vía, detallándose de la siguiente manera:

3.5.3. SEÑALIZACIÓN




Continuando con la inspección de seguridad vial, en este apartado se detallará el aspecto de señalización vertical y horizontal, donde se verificará la correcta colocación y estado en el que se encuentra cada uno de estos.

A fin de identificar correctamente cada tipo de señal, a continuación, describiré sobre la función que desempeña cada una de estas:

- ❖ La señalización vertical: es aquella que regulará, informará y prohibirá actuaciones y/o decisiones hacia los usuarios, mediante una adecuada información y visibilidad adecuada.
- ❖ Señalización horizontal: presenta como característica la delimitación de los sentidos de circulación mediante marcas en el pavimento.

Una vez definido la función de cada uno de los tipos de señales, a continuación, describiré mediante un cuadro las señales que presenta la vía en estudio:





Tabla Nº 20 Inspección de seguridad vial en señales





| CARACTERÍSTICAS | DETALLE |
|--|--|
| <p>Señal vertical (señal preventiva curva sinuosa) Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> |  |
| <p>Señal vertical (señal reglamentaria no adelantar) Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> |  |
| <p>Señal vertical (señal informativa). Estado regular. Lado, sentido subida.</p> |  |





| | |
|--|--|
| <p>Señal vertical (señal preventiva, curva a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> | |
| <p>Señal informativa. Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> | |
| <p>Señal vertical (señal preventiva, curva a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> | |
| <p>Señal vertical (señal preventiva, curva a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido subida.</p> | |

| | |
|---|--|
| <p>Señal vertical preventiva (curva y contracurva a la derecha) Estado regular. Lado, sentido subida.</p> | |
| <p>Señal vertical preventiva (curva a la derecha) Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> | |
| <p>Señal informativa. Estado regular. Lado, sentido subida.</p> | |
| <p>Señal vertical preventiva (curva y contracurva a la derecha) Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> | |




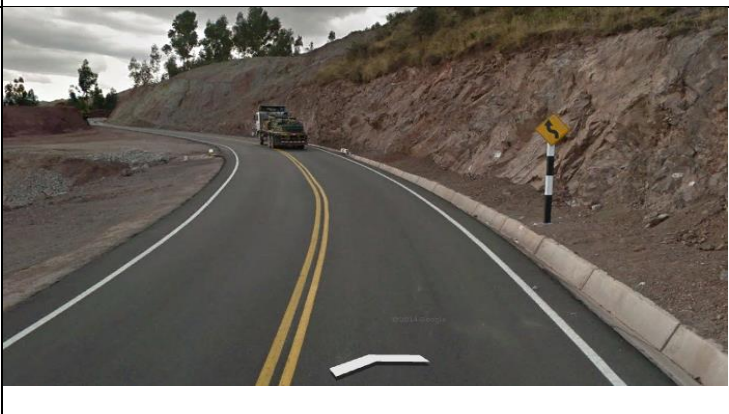
| | |
|---|--|
| <p>Señal vertical preventiva (curva y contracurva a la derecha) Estado regular. Lado, sentido subida.</p> | |
| <p>Señal vertical preventiva (curva y contracurva a la derecha) Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> | |
| <p>Señal informativa. Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> | |
| <p>Señal vertical preventiva (curva y contracurva a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido subida.</p> | |

| | |
|---|--|
| <p>Señal vertical preventiva (curva sinuosa a la derecha) Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> |  |
| <p>Señal vertical preventiva (zona urbana) Estado regular. Lado, sentido subida.</p> |  |
| <p>Poste sin panel Estado malo. Lado, sentido subida.</p> |  |
| <p>Señal informativa. Estado regular. Lado, sentido subida.</p> |  |




| | |
|---|--|
| <p>Señal vertical preventiva (curva a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido subida.</p> |  |
| <p>Señal vertical preventiva (curva y contracurva a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido subida.</p> |  |
| <p>Señal vertical preventiva (curva a la derecha) Estado regular. Lado, sentido bajado.</p> |  |
| <p>Señal vertical preventiva (zona escolar) Estado regular. Lado, sentido subida.</p> |  |

| | |
|--|--|
| <p>Señal vertical preventiva (curva a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido bajado.</p> |  |
| <p>Señal informativa. Estado regular. Lado, sentido subida.</p> |  |
| <p>Poste sin panel Estado malo. Lado, sentido bajada.</p> |  |
| <p>Señal vertical preventiva (curva en "u" a la derecha) Estado regular. Lado, sentido bajado.</p> |  |

| | |
|---|--|
| <p>Señal informativa. Estado regular. Lado, sentido subida.</p> | |
| <p>Señal informativa. Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> | |
| <p>Señal vertical preventiva (curva en "u" a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido bajado</p> | |
| <p>Señal vertical preventiva (curva y contracurva a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido subida.</p> | |

| | |
|---|--|
| <p>Señal vertical preventiva (curva y contracurva a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido subida.</p> |  |
| <p>Señal vertical preventiva (curva en "u" a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido bajado</p> |  |
| <p>Señal vertical preventiva (curva en "u" a la derecha) Estado regular. Lado, sentido bajado</p> |  |
| <p>Señal vertical preventiva (curva y contracurva a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido subida.</p> |  |

| | |
|---|--|
| <p>Señal vertical preventiva (curva sinuosa a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> | |
| <p>Poste sin panel Estado malo. Lado, sentido subida.</p> | |
| <p>Señal vertical preventiva (curva en "u" a la derecha) Estado regular. Lado, sentido subida.</p> | |
| <p>Señal vertical preventiva (curva en "u" a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> | |

| | |
|---|--|
| <p>Señal vertical preventiva (curva sinuosa a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> |  |
| <p>Señal informativa. Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> |  |
| <p>Señal vertical preventiva (curva en "u" a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> |  |
| <p>Señal vertical preventiva (curva en "u" a la derecha) Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> |  |

| | |
|---|--|
| <p>Poste sin panel Estado malo. Lado, sentido bajada.</p> | |
| <p>Poste sin panel Estado malo. Lado, sentido subida.</p> | |
| <p>Señal informativa. Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> | |
| <p>Señal vertical preventiva (curva a la derecha) Estado regular. Lado, sentido subida.</p> | |

| | |
|---|--|
| <p>Señal vertical preventiva (curva a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido bajado.</p> | |
| <p>Poste sin panel Estado malo. Lado, sentido subida.</p> | |
| <p>Señal informativa. Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> | |
| <p>Señal vertical preventiva (curva sinuosa a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido subida.</p> | |

| | |
|---|--|
| <p>Señal vertical preventiva (curva sinuosa a la izquierda) Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> | |
| <p>Señal informativa. Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> | |
| <p>Señal informativa. Estado regular. Lado, sentido bajada.</p> | |
| <p>Señal vertical preventiva (empalme en ángulo agudo a la derecha) estado regular.</p> | |

Fuente: Elaboración propia.



De la inspección realizada se pudo obtener como resultado, que todas las señales con panel se encuentran en estado regular, y 06 señales preventivas no cuentan con panel alguna.

Respecto a la señalización horizontal, esta también se encuentra en estado regular, debido a que se encuentra en constante pérdida de claridad de la marcación, se observó falta de demarcación de pases peatonales en las zonas urbanas y escolares.

Otro aspecto observado, es la falta de iluminación en la zona urbana (Pumamarca), en ese entender la falta de reflectividad e iluminación conlleva a un alto grado de inseguridad para los peatones.

3.5.4. FIRME

Llamo también como carpeta de rodadura, este es un componente de la vía muy importante debido a que si no presente una adecuada fricción conllevará a un despiste o deslizamiento de los vehículos inminente, ahora bien, todo firme tiene su periodo de vida útil y frente a un desgaste por el tránsito vehicular o intemperie y no recibir un adecuado mantenimiento, el producto repercutirá en costos de operación, pérdida de tiempo de viaje e incidentes.

Respecto al tramo de estudio, se realizó la inspección visual del firme encontrándose en estado regular, sin embargo, en ciertos tramos presentan material excedente como cascajos o gravillas, esto debido al rebosamiento de material de las aguas que discurren por las cunetas en épocas de lluvia.


Tabla N° 21 Inspección de seguridad vial en el firme

| CARACTERÍSTICAS | DETALLE |
|--|--|
| <p>En el kilómetro 00+390, se puede visualizar que el carril derecho del sentido creciente presencia de cascajo, el cual representa un gran peligro para los usuarios, así mismo no se visualiza la demarcación lateral de las señales horizontales.</p> |  |

Fuente: Elaboración propia.

3.5.5. INTERSECCIONES Y ACCESOS

En este ítem, se describirá el estado de los accesos e intersección que presenta la vía, como parte de la evaluación que se va realizando, este análisis es trascendental al igual de los demás tipos de elementos, en este caso el riesgo que presenta los usuarios es determinante debido a las maniobras de giro que realicen los conductores.

| CARACTERÍSTICAS | DETALLE |
|--|--|
| <p>La presente intersección es de giro a la “derecha”, se puede visualizar en la imagen que no presenta señalización horizontal para cruce peatonal, el ángulo de cruce es permitido logrando tener una visibilidad regular, ahora bien, este es en referencia a los conductores que estén en sentido creciente. Los conductores de sentido decreciente no tienen visibilidad adecuada ni señalización, lo cual se traduce a una maniobra de riesgo.</p> |  |

La presente intersección es de giro en “T”, se puede visualizar que ambos no presentan señalización horizontal y no tiene un buen ángulo de giro lo cual se traduce un alto grado de riesgo para los usuarios.





La presente intersección es de giro en “Y”, se puede visualizar no presenta señalización horizontal y vertical, así mismo no tiene un buen ángulo de giro y visibilidad, esto debido a que se encuentra en una curva en desarrollo, lo cual se traduce un alto grado de riesgo para los usuarios.



El siguiente acceso es de giro a la derecha, se puede visualizar no presenta señalización alguna, así mismo se encuentra en un tramo recto con pendiente muy pronunciada, la estructura del acceso es muy precario, el radio de giro es limitado, lo cual se traduce un alto grado de riesgo para los usuarios.



| | |
|---|---|
| <p>El siguiente acceso es de giro a la derecha, se puede visualizar no presenta señalización alguna, así mismo se encuentra en un tramo en curva con pendiente creciente, la estructura del acceso es muy precario, el radio de giro es limitado, lo cual se traduce un alto grado de riesgo para los usuarios.</p> |  |
| <p>El siguiente acceso es de giro a la izquierda, se puede visualizar no presenta señalización alguna, así mismo se encuentra en un tramo en curva con pendiente creciente, el radio de giro es limitado, lo cual se traduce un alto grado de riesgo para los usuarios.</p> |  |

Fuente: Elaboración propia.

De lo detallado líneas arriba, referente a las intersecciones y accesos que presenta el tramo, se puede indicar que todos no presentan señalización horizontal ni vertical, los ángulos de giro y visibilidad son limitados, muchos de estos se encuentran en un tramo en curvas y con una pendiente creciente.

Una vez realizado la inspección vial de los componentes de la infraestructura vial, estos datos serán utilizados como referencia para el proceso y desarrollo de calificación por estrellas de la vía mediante el iRAP – VIDA el cual se desarrollará más adelante, continuando con el estudio ahora se pasará a determinar las distintas velocidades de operación y la evaluación de la consistencia.

3.6. OBTENCIÓN DE VELOCIDADES.

3.6.1. VELOCIDAD DE DISEÑO DEL CAMINO EN ESTUDIO

La velocidad de diseño o también llamadas como velocidad de proyecto, es aquella que define las características geométricas de una vía, en condiciones de comodidad y seguridad para los usuarios.

Esta velocidad se selecciona a partir de dos factores que son en función a su demanda y orográfica. Como antes se había comentado, para el caso de esta investigación, se tomará el valor determinado en el expediente técnico con el que fue ejecutado, ahora bien, con harás de ver cómo fue elegida a continuación se detallara los datos de entrada y la clasificación a la que se llegó.

Del expediente técnico (Municipalidad Distrital de San Sebastian, 2008):

Tabla Nº 22 Velocidad de diseño de acuerdo al expediente técnico.

| TIPO DE CARRETERA | CLASIFICACIÓN |
|--------------------------------|-----------------------------|
| - SEGÚN LA FUNCIÓN POR DEMANDA | Carreteras de Tercera Clase |
| - SEGÚN LA OROGRAFIA | Terreno ondulado (tipo 2) |
| Velocidad de Diseño | 40 km/h |

Fuente: Elaboración propia.

Verificación de los datos obtenidos en el expediente técnico con el manual de diseño geométrico de Perú:

Imagen Nº 30 Rangos de velocidad de diseño en función a la clasificación de la vía

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

Fuente: Elaboración propia.



Del cuadro se puede corroborar que la velocidad de diseño obtenida por el expediente técnico, es la misma con la del manual diseño geométrico.

Continuando con la evaluación, se pasará ahora a determinar la estimación de velocidades de operación e inercial, los cuales fueron desarrollados por Pérez-Zuriaga y Llopis Castello.

3.6.2. VELOCIDAD DE OPERACIÓN DESARROLLADO POR PÉREZ-ZURIAGA

A lo largo del tiempo se propusieron diferentes modelos de estimación de la velocidad de operación en curvas, pero uno de ellos marco la diferencia y es los modelos propuestos por Pérez-Zuriaga, donde propuso raíz de una hipótesis que las curvas tienen una mínima velocidad el centro de la misma.

A efectos de obtener resultados óptimos, se calculó con la siguiente expresión, la estimas las velocidades en curvas del tramo de estudio.

$$V_{85C} = 106.863 - \frac{60,1185}{e^{0.00422596 \cdot R}} \text{ (km/h)}$$

Para obtener la estimación de esta velocidad en curva, se debe previamente conocer el radio de curvatura. Una vez definido la utilización de la fórmula de estimación de velocidades en curvas ahora se mencionará para los tramos de tangencia.

A diferencia de las curvas horizontales, donde existe una relación directamente con el radio de curvatura, la estimación de velocidades de operación para tangentes, toma como referencia el comportamiento de los conductores y su evolución a lo largo de todo el tramo recto, y estos fueron calibrados por el autor, obteniendo la siguiente expresión:

$$V_{85R} = 0,362739 * V_{85c} + \frac{59,6982}{e^{-0,0000472302 * G}} \text{ (km/h)}$$

$$GM = \frac{L * \sqrt{R1 * R2}}{100}$$



Una vez definido los parámetros de cálculo de la estimación de velocidades tanto para curvas y tangentes, se procedió a realizar el cálculo en una hoja Excel, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla Nº 23 Estimación de velocidades de operación

MODELOS PROPUESTOS POR PÉREZ-ZURIAGA

| PK | Vel. Operación Tangentes | | Vel. Operación Curvas | Vel. Operación Tangentes | | Vel. Operación Curvas |
|-----------|--------------------------|--------|-----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|
| | V85R (km/h) | GM Ida | V85C (km/h) | V85R (km/h) | GM Vuelta | V85C (km/h) |
| 00+000.00 | 0 | 0 | | 79.65 | 0.00 | |
| 00+016.99 | | | 55.01 | | | 55.01 |
| 00+021.66 | 79.66 | 2.79 | | 80.82 | 2.79 | |
| 00+049.67 | | | 58.20 | | | 58.20 |
| 00+070.86 | 80.86 | 19.83 | | 86.95 | 19.83 | |
| 00+170.57 | | | 74.97 | | | 74.97 |
| 00+189.24 | 86.90 | 2.98 | | 86.90 | 2.98 | |
| 00+215.73 | | | 74.97 | | | 74.97 |
| 00+222.52 | 86.90 | 1.55 | | 86.90 | 1.55 | |
| 00+245.15 | | | 74.97 | | | 74.97 |
| 00+252.08 | 86.94 | 17.51 | | 78.47 | 17.51 | |
| 00+379.35 | | | 51.62 | | | 51.62 |
| 00+406.66 | 78.43 | 2.86 | | 78.26 | 2.86 | |
| 00+418.16 | | | 51.15 | | | 51.15 |
| 00+440.86 | 78.26 | 2.76 | | 86.90 | 2.76 | |
| 00+456.22 | | | 74.97 | | | 74.97 |
| 00+470.41 | | | 93.17 | | | 93.17 |
| 00+489.78 | 93.56 | 23.25 | | 93.56 | 23.25 | |
| 00+554.73 | | | 93.17 | | | 93.17 |
| 00+620.88 | 93.55 | 21.34 | | 86.95 | 21.34 | |
| 00+668.05 | | | 74.97 | | | 74.97 |
| 00+698.99 | 86.92 | 10.66 | | 83.58 | 10.66 | |
| 00+736.40 | | | 65.76 | | | 65.76 |
| 00+762.66 | 83.59 | 11.20 | | 82.27 | 11.20 | |
| 00+799.31 | | | 62.14 | | | 62.14 |
| 00+834.89 | 82.27 | 12.22 | | 88.30 | 12.22 | |
| 00+871.19 | | | 78.77 | | | 78.77 |
| 00+903.03 | 88.29 | 5.70 | | 88.29 | 5.70 | |
| 00+932.43 | | | 78.77 | | | 78.77 |
| 00+944.24 | 88.33 | 19.92 | | 85.38 | 19.92 | |
| 01+035.37 | | | 70.66 | | | 70.66 |
| 01+075.83 | 85.36 | 11.24 | | 85.36 | 11.24 | |



| | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 01+122.85 | | | 70.66 | | | 70.66 |
| 01+136.98 | 85.35 | 6.56 | | 81.56 | 6.56 | |
| 01+171.22 | | | 60.21 | | | 60.21 |
| 01+197.20 | 81.57 | 9.64 | | 80.84 | 9.64 | |
| 01+224.87 | | | 58.20 | | | 58.20 |
| 01+271.54 | 80.84 | 12.09 | | 85.36 | 12.09 | |
| 01+301.67 | | | 70.66 | | | 70.66 |
| 01+336.20 | 85.34 | 5.37 | | 81.55 | 5.37 | |
| 01+353.21 | | | 60.21 | | | 60.21 |
| 01+382.01 | 81.57 | 12.51 | | 88.31 | 12.51 | |
| 01+432.22 | | | 78.77 | | | 78.77 |
| 01+453.77 | 88.30 | 8.93 | | 81.56 | 8.93 | |
| 01+487.43 | | | 60.21 | | | 60.21 |
| 01+520.10 | 81.66 | 43.21 | | 93.61 | 43.21 | |
| 01+657.70 | | | 93.17 | | | 93.17 |
| 01+687.89 | 93.55 | 20.27 | | 80.10 | 20.27 | |
| 01+754.17 | | | 56.09 | | | 56.09 |
| 01+785.14 | 80.06 | 6.03 | | 86.91 | 6.03 | |
| 01+806.31 | | | 74.97 | | | 74.97 |
| 01+832.50 | 86.96 | 23.71 | | 81.61 | 23.71 | |
| 01+905.29 | | | 60.21 | | | 60.21 |
| 01+945.80 | 81.56 | 6.45 | | 80.06 | 6.45 | |
| 01+961.72 | | | 56.09 | | | 56.09 |
| 02+002.24 | 80.06 | 5.93 | | 87.39 | 5.93 | |
| 02+013.87 | | | 76.29 | | | 76.29 |
| 02+077.96 | 87.42 | 18.97 | | 84.22 | 18.97 | |
| 02+156.29 | | | 67.46 | | | 67.46 |
| 02+165.44 | 84.18 | 4.64 | | 83.57 | 4.64 | |
| 02+203.40 | | | 65.76 | | | 65.76 |
| 02+219.74 | 83.57 | 6.97 | | 86.91 | 6.97 | |
| 02+261.41 | | | 74.97 | | | 74.97 |
| 02+278.52 | 86.94 | 17.33 | | 86.94 | 17.33 | |
| 02+355.34 | | | 74.97 | | | 74.97 |
| 02+385.07 | 86.93 | 13.09 | | 93.53 | 13.09 | |
| 02+423.88 | | | 93.17 | | | 93.17 |
| 02+462.13 | 93.56 | 22.03 | | 85.39 | 22.03 | |
| 02+510.80 | | | 70.66 | | | 70.66 |
| 02+564.36 | 85.39 | 21.02 | | 82.30 | 21.02 | |
| 02+612.78 | | | 62.14 | | | 62.14 |
| 02+647.98 | 82.33 | 32.47 | | 80.60 | 32.47 | |
| 02+723.10 | | | 57.37 | | | 57.37 |
| 02+776.17 | 80.56 | 17.69 | | 86.94 | 17.69 | |
| 02+855.51 | | | 74.97 | | | 74.97 |



| | | | | | |
|-----------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 02+864.88 | 86.96 | 22.85 | 82.97 | 22.85 | |
| 02+985.10 | | | 63.99 | | 63.99 |
| 03+023.67 | 83.10 | 66.41 | 87.56 | 66.41 | |
| 03+154.81 | | | 76.29 | | 76.29 |
| 03+221.30 | 87.45 | 28.72 | 86.47 | 28.72 | |
| 03+263.62 | | | 73.59 | | 73.59 |
| 03+332.86 | 86.50 | 39.57 | 88.38 | 39.57 | |
| 03+376.28 | | | 78.77 | | 78.77 |
| 03+496.20 | 88.86 | 208.08 | 94.08 | 208.08 | |
| 03+814.52 | | | 93.17 | | 93.17 |
| 03+850.16 | 93.54 | 16.50 | 90.93 | 16.50 | |
| 03+958.39 | | | 85.96 | | 85.96 |
| 03+964.91 | 90.95 | 25.32 | 95.28 | 25.32 | |
| 04+080.17 | | | 97.89 | | 97.89 |
| 04+154.14 | 95.42 | 75.74 | 84.26 | 75.74 | |
| 04+251.41 | | | 67.13 | | 67.13 |
| 04+333.38 | 84.34 | 102.88 | 80.72 | 102.88 | |
| 04+490.21 | | | 57.16 | | 57.16 |
| 04+542.71 | 80.47 | 13.66 | 86.93 | 13.66 | |
| 04+591.03 | | | 74.97 | | 74.97 |
| 04+606.25 | 86.90 | 3.06 | 79.06 | 3.06 | |
| 04+616.99 | | | 53.34 | | 53.34 |
| 04+670.21 | 79.26 | 75.05 | 91.09 | 75.05 | |
| 04+927.47 | | | 85.96 | | 85.96 |
| 04+943.46 | 91.07 | 67.41 | 81.00 | 67.41 | |
| 05+099.88 | | | 58.20 | | 58.20 |
| 05+216.03 | 80.86 | 20.23 | 90.94 | 20.23 | |
| 05+269.55 | | | 85.96 | | 85.96 |
| 05+281.84 | 90.91 | 10.76 | 86.92 | 10.76 | |
| 05+355.16 | | | 74.97 | | 74.97 |
| 05+372.68 | 86.91 | 4.55 | 80.06 | 4.55 | |
| 05+391.03 | | | 56.09 | | 56.09 |
| 05+426.09 | 80.08 | 12.21 | 80.31 | 12.21 | |
| 05+456.87 | | | 56.73 | | 56.73 |
| 05+501.73 | 80.29 | 2.57 | 86.90 | 2.57 | |
| 05+512.83 | | | 74.97 | | 74.97 |
| 05+524.81 | 86.93 | 12.84 | 82.61 | 12.84 | |
| 05+584.09 | | | 63.07 | | 63.07 |
| 05+623.28 | 82.60 | 7.63 | 78.61 | 7.63 | |
| 05+643.97 | | | 52.08 | | 52.08 |
| 05+678.65 | | | 52.08 | | 52.08 |
| 05+713.33 | 78.63 | 15.13 | 86.93 | 15.13 | |
| 05+752.25 | | | 74.97 | | 74.97 |



| | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 05+795.81 | 86.92 | 9.53 | | 80.83 | 9.53 | |
| 05+820.34 | | | 58.20 | | | 58.20 |
| 05+855.00 | 80.83 | 8.85 | | 82.93 | 8.85 | |
| 05+886.44 | | | 63.99 | | | 63.99 |
| 05+909.31 | 82.92 | 3.63 | | 80.82 | 3.63 | |
| 05+925.51 | | | 58.20 | | | 58.20 |
| 05+947.46 | 80.84 | 11.27 | | 82.27 | 11.27 | |
| 05+984.09 | | | 62.14 | | | 62.14 |
| 06+027.25 | 82.31 | 25.25 | | 80.88 | 25.25 | |
| 06+096.98 | | | 58.20 | | | 58.20 |
| 06+127.35 | 80.87 | 20.59 | | 86.95 | 20.59 | |
| 06+178.59 | | | 74.97 | | | 74.97 |
| 06+231.76 | 86.90 | 2.56 | | 86.90 | 2.56 | |
| 06+238.17 | | | 74.97 | | | 74.97 |
| 06+268.10 | 86.93 | 12.70 | | 90.92 | 12.70 | |
| 06+319.94 | | | 85.96 | | | 85.96 |
| 06+339.98 | 91.03 | 53.26 | | 83.06 | 53.26 | |
| 06+544.60 | | | 63.99 | | | 63.99 |
| 06+578.41 | 82.95 | 14.87 | | 78.97 | 14.87 | |
| 06+617.18 | | | 53.00 | | | 53.00 |
| 06+660.68 | | | 53.00 | | | 53.00 |
| 06+702.96 | 78.94 | 5.28 | | 82.92 | 5.28 | |
| 06+721.10 | | | 63.99 | | | 63.99 |
| 06+741.12 | 82.95 | 13.51 | | 83.59 | 13.51 | |
| 06+790.10 | | | 65.76 | | | 65.76 |
| 06+828.11 | 83.59 | 11.49 | | 86.92 | 11.49 | |
| 06+862.57 | | | 74.97 | | | 74.97 |
| 06+891.84 | 86.93 | 13.95 | | 86.93 | 13.95 | |
| 06+936.35 | | | 74.97 | | | 74.97 |
| 06+969.89 | 86.97 | 26.42 | | 85.40 | 26.42 | |
| 07+042.56 | | | 70.66 | | | 70.66 |
| 07+081.95 | 85.34 | 2.84 | | 82.92 | 2.84 | |
| 07+091.14 | | | 63.99 | | | 63.99 |
| 07+115.36 | 82.94 | 10.11 | | 84.20 | 10.11 | |
| 07+149.36 | | | 67.46 | | | 67.46 |
| 07+185.88 | 84.43 | 90.61 | | 78.59 | 90.61 | |
| 07+455.39 | | | 51.38 | | | 51.38 |
| 07+486.34 | | | 51.38 | | | 51.38 |
| 07+517.28 | 78.37 | 10.08 | | 84.20 | 10.08 | |
| 07+549.30 | | | 67.46 | | | 67.46 |
| 07+581.33 | 84.30 | 47.18 | | 88.40 | 47.18 | |
| 07+711.26 | | | 78.77 | | | 78.77 |
| 07+752.42 | 88.32 | 16.68 | | 81.22 | 16.68 | |



| | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 07+794.94 | | | 59.21 | | 59.21 |
| 07+832.34 | 81.24 | 22.87 | | 80.87 | 22.87 |
| 07+876.86 | | | 58.20 | | 58.20 |
| 07+947.41 | 80.89 | 29.81 | | 82.66 | 29.81 |
| 07+994.75 | | | 63.07 | | 63.07 |
| 08+050.95 | 82.61 | 12.31 | | 85.36 | 12.31 |
| 08+091.73 | | | 70.66 | | 70.66 |
| 08+107.96 | 85.35 | 7.78 | | 82.93 | 7.78 |
| 08+142.34 | | | 63.99 | | 63.99 |
| 08+173.88 | 82.93 | 5.93 | | 82.93 | 5.93 |
| 08+209.16 | | | 63.99 | | 63.99 |
| 08+218.10 | 82.93 | 5.42 | | 82.93 | 5.42 |
| 08+264.72 | | | 63.99 | | 63.99 |
| 08+279.85 | 82.93 | 8.07 | | 85.35 | 8.07 |
| 08+325.56 | | | 70.66 | | 70.66 |
| 08+346.15 | 85.38 | 17.60 | | 80.86 | 17.60 |
| 08+420.63 | | | 58.20 | | 58.20 |
| 08+447.75 | 80.84 | 10.95 | | 84.79 | 10.95 |
| 08+474.67 | | | 69.10 | | 69.10 |
| 08+535.73 | 84.87 | 39.60 | | 87.94 | 39.60 |
| 08+615.26 | | | 77.55 | | 77.55 |
| 08+655.86 | 87.96 | 44.75 | | 95.33 | 44.75 |
| 08+847.03 | | | 97.89 | | 97.89 |
| 08+860.52 | 95.44 | 83.80 | | 91.12 | 83.80 |
| 09+150.75 | | | 85.96 | | 85.96 |

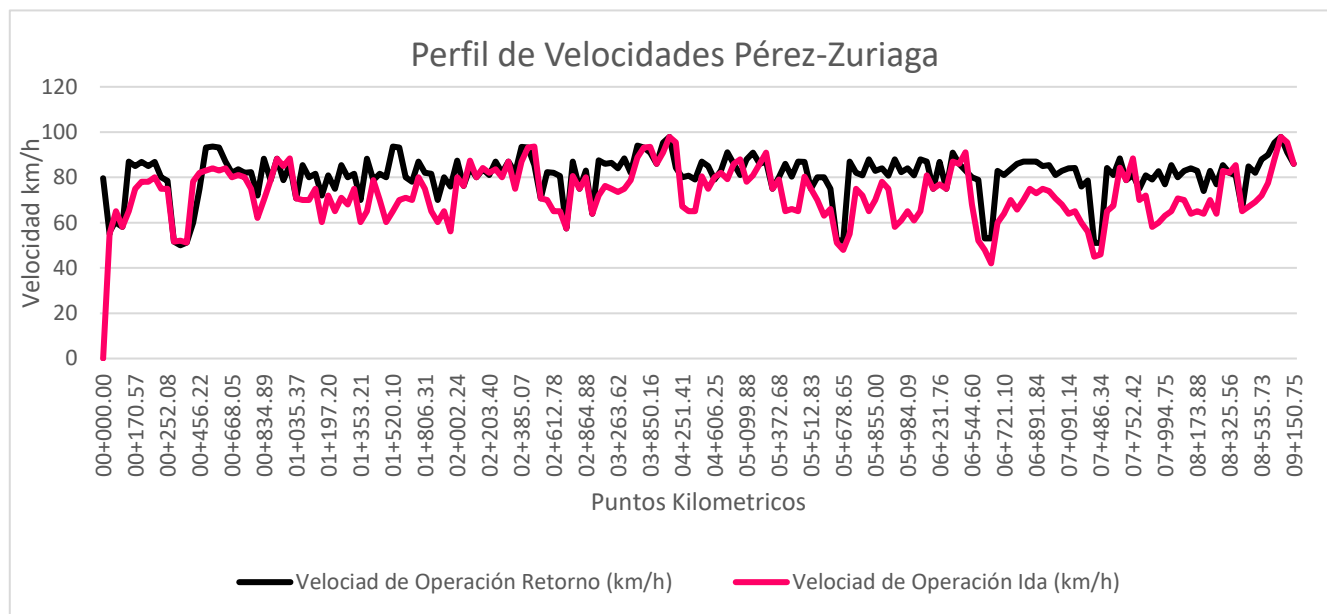
Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro anterior que se presenta, sobre la estimación de velocidades de operación en curvas y tangentes, se puede indicar que:

- Se realizó la estimación de velocidades tanto para el sentido de ida como el de vuelta.
- Para el caso de la estimación de velocidades en tangentes, se utilizó la expresión matemática para longitudes menores a 700 metros, esto debido a que vía presenta estas características.
- El tramo presenta un total de 372 velocidades estimadas para ambos sentidos

Una vez obtenida la estimación de velocidades, se procedió a realizar la construcción del perfil de velocidades para ambos sentidos de circulación, el cual se muestra a continuación:

Imagen N° 31 Perfil de velocidades de operación



Fuente: Elaboración propia.

La construcción del presente perfil de velocidades de operación, se desarrolló a partir de la estimación de velocidades para cada curva y tangente, este perfil se extiende a lo largo de toda la vía en ambos sentidos. Así mismo, se puede ver en la leyenda del perfil, que los puntos de velocidad de ida están demarcados con el color rosa y los de vuelta con el color negro. Para más detalle de los resultados obtenidos en este perfil, más adelante se realizará un versus entre las demás velocidades obtenidas.

Una vez obtenido las velocidades de operación y la construcción del perfil, ahora pasaremos a determinar las velocidades de operación inercial el cual fueron propuestos por Llopis Castello.

3.6.3. VELOCIDAD DE OPERACIÓN INERCIAL DESARROLLADOS POR LLOPIS CASTELLO

De acuerdo a la investigación realizada por Llopis-Castelló et al. (2018), nos indica que, desde el punto psicológico, el proceso de generación de expectativas de los conductores está estrechamente ligado a la memoria

de corto plazo, y el cual este decae con el tiempo. Esto significa que los conductores recuerdan con mayor claridad aquello que recorren en una última instancia y por tanto sus expectativas dependen del tiempo transcurrido. Es así que concluye en dicha investigación, que la velocidad de operación inercial debe ser calculada como la velocidad de operación ponderada de los últimos 15 segundos recorridos, todo esto asumiendo una distribución lineal de los pesos.

Frente a esto, el autor para el cálculo de esta velocidad de operación, propuso la siguiente expresión matemáticas:

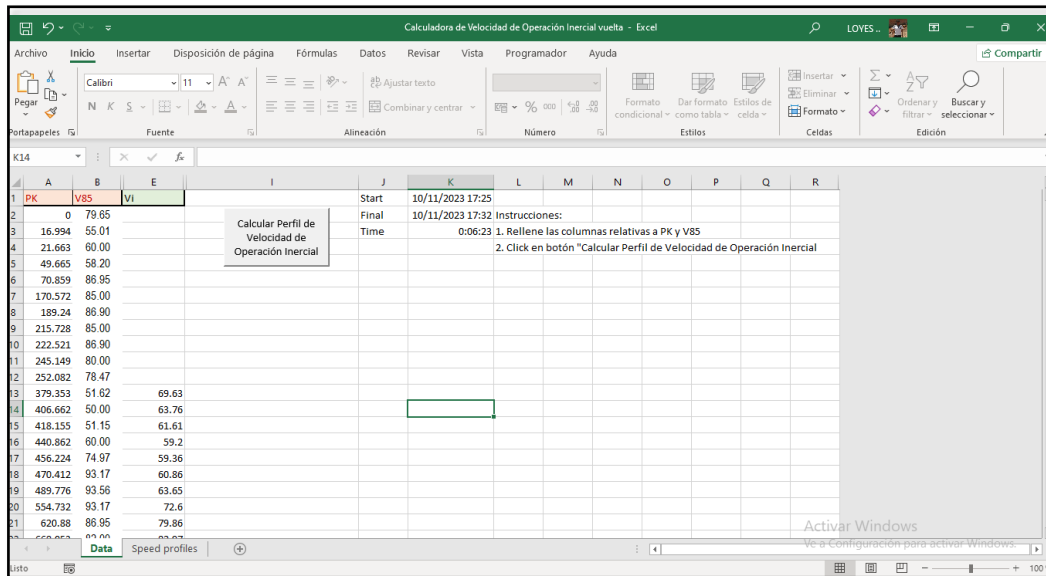
$$V_{i,k} = \frac{\sum w_j * V_{85,j}}{\sum w_j}$$

Donde $V_{i,k}$ es la velocidad de operación inercial en el punto k ; w_j es el valor del peso en el intervalo j ; y $V_{85,j}$ es el valor de la velocidad de operación en el intervalo j . El peso en cada intervalo (w_j) toma valores entre 0 y 1 de acuerdo con la siguiente expresión:

$$W_j = \frac{j}{n}$$

A todo esto, el autor recomienda que, para el cálculo de la velocidad de operación inercial, previamente se debe estimar las velocidades que se producen 15 segundos antes del punto donde queremos estimar V_i . Para ello, se recomienda el uso de intervalos de tiempo separados 0,1 segundos para $V_{85,j}$. De esta manera, se dispondrá de un total de 150 intervalos ($V_{85,j}$) cuyo peso (w_j) será igual a la posición de cada $V_{85,j}$ dividido entre 150, de manera que la velocidad $V_{85,j}$ más alejada del punto donde se calcule V_i posea el peso mínimo. Para simplificar el proceso de interacción y obtener el valor de la velocidad de operación inercial, el autor deja una calculadora automática de acceso público en su investigación, el cual fue utilizado para la presente investigación y se detalla en la siguiente imagen:

Imagen N° 32 Calculado automática de estimación de velocidades de operación inercial



Fuente: Elaboración propia.

Para la utilización de la herramienta desarrollada por el autor, se debe ingresar como datos, los puntos kilometricos y la velocidad de operación estimada, en este caso para el presente estudio los desarrollados por Pérez-Zuriaga, una vez ingresado se oprime el boton calcular y en 40 segundos aproximadamente, te proporciona los resultados de la velocidad de operación inercial, el cual se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla N° 24 Resultados de la velocidad de operación inercial a partir de la calculadora automática

Estimación de Velocidades de Operación Inercial

| PK | Velocidad de Operación Inercial Ida (km/h) | Velocidad de Operación Inercial vuelta (km/h) |
|-----------|--|---|
| 00+000.00 | | |
| 00+016.99 | | |
| 00+021.66 | | |
| 00+049.67 | | |
| 00+070.86 | | |
| 00+170.57 | | |
| 00+189.24 | | |
| 00+215.73 | | |
| 00+222.52 | | |



| | | |
|-----------|----|----|
| 00+245.15 | | |
| 00+252.08 | | |
| 00+379.35 | 66 | 70 |
| 00+406.66 | 62 | 64 |
| 00+418.16 | 60 | 62 |
| 00+440.86 | 60 | 59 |
| 00+456.22 | 61 | 59 |
| 00+470.41 | 63 | 61 |
| 00+489.78 | 65 | 64 |
| 00+554.73 | 71 | 73 |
| 00+620.88 | 77 | 80 |
| 00+668.05 | 80 | 83 |
| 00+698.99 | 81 | 84 |
| 00+736.40 | 82 | 85 |
| 00+762.66 | 81 | 85 |
| 00+799.31 | 78 | 84 |
| 00+834.89 | 75 | 82 |
| 00+871.19 | 74 | 82 |
| 00+903.03 | 75 | 82 |
| 00+932.43 | 77 | 82 |
| 00+944.24 | 77 | 82 |
| 01+035.37 | 78 | 80 |
| 01+075.83 | 77 | 79 |
| 01+122.85 | 75 | 80 |
| 01+136.98 | 75 | 80 |
| 01+171.22 | 73 | 79 |
| 01+197.20 | 71 | 79 |
| 01+224.87 | 70 | 78 |
| 01+271.54 | 69 | 79 |
| 01+301.67 | 69 | 79 |
| 01+336.20 | 69 | 80 |
| 01+353.21 | 69 | 80 |
| 01+382.01 | 68 | 79 |
| 01+432.22 | 69 | 81 |
| 01+453.77 | 70 | 81 |
| 01+487.43 | 69 | 81 |
| 01+520.10 | 67 | 82 |
| 01+657.70 | 67 | 89 |
| 01+687.89 | 68 | 89 |
| 01+754.17 | 69 | 86 |
| 01+785.14 | 71 | 85 |
| 01+806.31 | 72 | 85 |
| 01+832.50 | 72 | 84 |



| | | |
|-----------|----|----|
| 01+905.29 | 68 | 80 |
| 01+945.80 | 66 | 78 |
| 01+961.72 | 65 | 78 |
| 02+002.24 | 65 | 78 |
| 02+013.87 | 66 | 79 |
| 02+077.96 | 71 | 79 |
| 02+156.29 | 77 | 80 |
| 02+165.44 | 78 | 81 |
| 02+203.40 | 80 | 81 |
| 02+219.74 | 81 | 82 |
| 02+261.41 | 82 | 82 |
| 02+278.52 | 82 | 83 |
| 02+355.34 | 82 | 84 |
| 02+385.07 | 82 | 84 |
| 02+423.88 | 83 | 86 |
| 02+462.13 | 85 | 87 |
| 02+510.80 | 85 | 85 |
| 02+564.36 | 80 | 82 |
| 02+612.78 | 76 | 82 |
| 02+647.98 | 72 | 81 |
| 02+723.10 | 65 | 75 |
| 02+776.17 | 65 | 73 |
| 02+855.51 | 70 | 76 |
| 02+864.88 | 71 | 76 |
| 02+985.10 | 73 | 74 |
| 03+023.67 | 72 | 75 |
| 03+154.81 | 73 | 81 |
| 03+221.30 | 74 | 84 |
| 03+263.62 | 74 | 85 |
| 03+332.86 | 75 | 86 |
| 03+376.28 | 75 | 86 |
| 03+496.20 | 80 | 87 |
| 03+814.52 | 91 | 93 |
| 03+850.16 | 92 | 93 |
| 03+958.39 | 91 | 91 |
| 03+964.91 | 91 | 91 |
| 04+080.17 | 93 | 93 |
| 04+154.14 | 94 | 93 |
| 04+251.41 | 88 | 88 |
| 04+333.38 | 76 | 84 |
| 04+490.21 | 65 | 80 |
| 04+542.71 | 68 | 81 |
| 04+591.03 | 71 | 82 |



| | | |
|-----------|----|----|
| 04+606.25 | 71 | 82 |
| 04+616.99 | 72 | 82 |
| 04+670.21 | 75 | 84 |
| 04+927.47 | 83 | 88 |
| 04+943.46 | 84 | 88 |
| 05+099.88 | 83 | 85 |
| 05+216.03 | 81 | 87 |
| 05+269.55 | 81 | 88 |
| 05+281.84 | 82 | 88 |
| 05+355.16 | 82 | 86 |
| 05+372.68 | 82 | 85 |
| 05+391.03 | 81 | 84 |
| 05+426.09 | 77 | 84 |
| 05+456.87 | 74 | 83 |
| 05+501.73 | 73 | 84 |
| 05+512.83 | 73 | 84 |
| 05+524.81 | 73 | 83 |
| 05+584.09 | 69 | 82 |
| 05+623.28 | 68 | 81 |
| 05+643.97 | 67 | 78 |
| 05+678.65 | 65 | 70 |
| 05+713.33 | 61 | 69 |
| 05+752.25 | 61 | 71 |
| 05+795.81 | 64 | 73 |
| 05+820.34 | 65 | 75 |
| 05+855.00 | 66 | 77 |
| 05+886.44 | 68 | 78 |
| 05+909.31 | 69 | 80 |
| 05+925.51 | 69 | 80 |
| 05+947.46 | 68 | 82 |
| 05+984.09 | 67 | 83 |
| 06+027.25 | 66 | 83 |
| 06+096.98 | 64 | 84 |
| 06+127.35 | 65 | 84 |
| 06+178.59 | 69 | 83 |
| 06+231.76 | 72 | 83 |
| 06+238.17 | 72 | 83 |
| 06+268.10 | 74 | 83 |
| 06+319.94 | 78 | 84 |
| 06+339.98 | 80 | 84 |
| 06+544.60 | 77 | 82 |
| 06+578.41 | 72 | 81 |
| 06+617.18 | 66 | 77 |



| | | |
|-----------|----|----|
| 06+660.68 | 59 | 68 |
| 06+702.96 | 57 | 66 |
| 06+721.10 | 57 | 68 |
| 06+741.12 | 58 | 69 |
| 06+790.10 | 61 | 73 |
| 06+828.11 | 63 | 76 |
| 06+862.57 | 66 | 78 |
| 06+891.84 | 68 | 80 |
| 06+936.35 | 71 | 83 |
| 06+969.89 | 72 | 85 |
| 07+042.56 | 73 | 85 |
| 07+081.95 | 72 | 84 |
| 07+091.14 | 72 | 84 |
| 07+115.36 | 70 | 84 |
| 07+149.36 | 69 | 83 |
| 07+185.88 | 67 | 82 |
| 07+455.39 | 54 | 67 |
| 07+486.34 | 53 | 65 |
| 07+517.28 | 54 | 66 |
| 07+549.30 | 57 | 69 |
| 07+581.33 | 61 | 72 |
| 07+711.26 | 75 | 80 |
| 07+752.42 | 78 | 81 |
| 07+794.94 | 78 | 81 |
| 07+832.34 | 74 | 80 |
| 07+876.86 | 68 | 80 |
| 07+947.41 | 62 | 80 |
| 07+994.75 | 61 | 80 |
| 08+050.95 | 62 | 80 |
| 08+091.73 | 64 | 81 |
| 08+107.96 | 64 | 81 |
| 08+142.34 | 65 | 82 |
| 08+173.88 | 66 | 82 |
| 08+209.16 | 66 | 81 |
| 08+218.10 | 66 | 81 |
| 08+264.72 | 66 | 81 |
| 08+279.85 | 67 | 81 |
| 08+325.56 | 71 | 82 |
| 08+346.15 | 73 | 82 |
| 08+420.63 | 74 | 78 |
| 08+447.75 | 73 | 77 |
| 08+474.67 | 73 | 78 |
| 08+535.73 | 72 | 80 |

| | | |
|-----------|----|----|
| 08+615.26 | 72 | 84 |
| 08+655.86 | 75 | 86 |
| 08+847.03 | 90 | 95 |
| 08+860.52 | 90 | 95 |
| 09+150.75 | 90 | 88 |

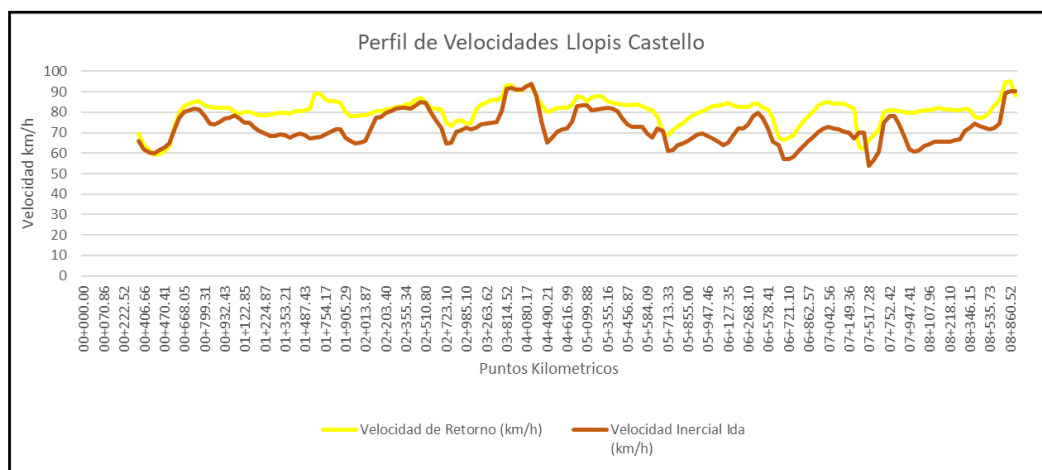
Fuente: Elaboración propia.

De la estimación de velocidades de operación inercial antes mostradas se puede indicar que:

- En las progresivas 00+00 al 00+252.08 no se muestra velocidades de operación inercial, esto se debe a que como el cálculo se realiza 15 segundos antes del punto donde se quiere estimar, entonces no hay memoria a corto plazo por el conductor a recordar, debido a que el tramo recién inicia. Es por eso las velocidades nulas, como recomendación mía se podría considerar la velocidad de operación calculada o también dejarlo nula, esto debido a que no incide en la consistencia de la seguridad vial en estos 252.08 metros.

Una vez obtenida la estimación de velocidades inerciales, se procedió a construir el perfil de velocidades de operación inercial del tramo, como es muestra a continuación.

Imagen Nº 33 Perfil de velocidades de operación inercial



Fuente: Elaboración propia.

Del perfil obtenido se puede decir que, las velocidades estimadas están demarcadas por dos líneas, una de color marrón y la otra de amarillo, el

cual representan cada uno el sentido de la trayectoria (ida y retorno) respectivamente.

Así mismo se puede visualizar, entre ambas líneas existe un desfase mayor y menor entre ambas, esto se debe específicamente al sentido de trayectoria de cada uno y a los radios que le anteceden y suceden en cada uno de ellas.

Por otra parte, se visualiza picos altos y bajos estos representan velocidades máximas y mínimas. Para más detalle de la interpretación más adelante realizara un versus de todas las velocidades calculadas.

3.6.4. VELOCIDADES DE CAMPO

Previo al inicio de la medición y obtención de las velocidades en campo de los vehículos, fue indispensable definir una cantidad de muestras a considerar por cada elemento (curva horizontal y tangente), para lo cual se utilizó la siguiente expresión el cual corresponde al ámbito de transportes, cuando no se conoce el tamaño de una población:

$$N = (S^2 * K^2 * (2 + U)^2) / (2 * E)^2$$

En dónde:

S = desviación estándar

K = constante para nivel de confiabilidad

U = depende del percentil buscado

E = error permitido

Los valores asumidos para el presente trabajo son:

$S = 8.0$ este valor corresponde a un valor medio observado en estudios de velocidades.

$k = 1.6$ este valor corresponde a una probabilidad de 98.8% de que la velocidad estimada sea real.

$U = 1.04$ este valor corresponde para 15 u 85 percentil

$E = 2.5 \text{ km/h}$ este valor corresponde a la precisión requerida para el valor medio de la velocidad

$$N = (8^2 * 1.6^2 * (2 + 1.04)^2) / (2 * 2.5)^2$$

$N=62.09$

Una vez obtenida el tamaño de la muestra a considerar que son 62 veces, se realizó las mediciones de las velocidades, en el centro de las longitudes de los elementos geométricos (curvas y tangentes), considerando las recomendaciones y estudios realizados por Fitzpatrick et al. (2000), con el objetivo de obtener velocidades reales.

A continuación, se puede visualizar la medición de velocidades en cada punto céntrico de cada elemento geométrico, en cual previo a este se demarco con pintura en la carpeta de rodadura el punto exacto y posterior a este se puso una baliza para guiarse en la toma de datos.

Imagen N° 34 Panel de fotografías de toma de velocidades de campo





Fuente: Elaboración propia.

Es importante indicar que las pautas que se consideraron, para realizar la medición de velocidades en campo y obtener resultados veraces, fueron las fueron las siguientes:

- Se midieron a vehículos ligeros y que mantengan su carril.
- A Vehículos que circulen a flujo libre.
- Que presente condición de iluminación adecuada.
- Que tenga condición climatológica favorable.
- Medición de velocidades en puntos céntricos del elemento geométrico.

Respecto al tipo de instrumento utilizado, fue la pistola radar de velocidades BUSHNELL SPEEDSTER III, el cual cuenta de acuerdo a sus especificaciones técnicas un error de +/- 2 km/h.

A continuación, se muestra el cuadro resumen de velocidades tomadas en campo, tanto en sentido de ida y de retorno:

Tabla Nº 25 Velocidades de vehículos en campo.

| <i>PUNTOS KILOMETRICOS</i> | <i>VELOCIDADES</i> | | |
|--------------------------------|------------------------------------|--|--|
| | Design Speed (km/h) | Outbound field Speed (km/h) | Return field Speed (km/h) |
| <i>00+000.00</i> | 40.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>00+016.99</i> | 40.00 | 10.00 | 20.00 |
| <i>00+021.66</i> | 40.00 | 10.00 | 20.00 |
| <i>00+049.67</i> | 40.00 | 15.00 | 35.00 |
| <i>00+070.86</i> | 40.00 | 15.00 | 35.00 |
| <i>00+170.57</i> | 40.00 | 20.00 | 40.00 |
| <i>00+189.24</i> | 40.00 | 20.00 | 45.00 |
| <i>00+215.73</i> | 40.00 | 20.00 | 45.00 |
| <i>00+222.52</i> | 40.00 | 20.00 | 45.00 |
| <i>00+245.15</i> | 40.00 | 20.00 | 45.00 |
| <i>00+252.08</i> | 40.00 | 20.00 | 45.00 |
| <i>00+379.35</i> | 40.00 | 20.00 | 45.00 |
| <i>00+406.66</i> | 40.00 | 20.00 | 45.00 |
| <i>00+418.16</i> | 40.00 | 20.00 | 45.00 |
| <i>00+440.86</i> | 40.00 | 20.00 | 45.00 |



| | | | |
|-----------|-------|-------|-------|
| 00+456.22 | 40.00 | 20.00 | 45.00 |
| 00+470.41 | 40.00 | 20.00 | 48.00 |
| 00+489.78 | 40.00 | 20.00 | 48.00 |
| 00+554.73 | 40.00 | 34.00 | 48.00 |
| 00+620.88 | 40.00 | 34.00 | 52.00 |
| 00+668.05 | 40.00 | 37.00 | 52.00 |
| 00+698.99 | 40.00 | 38.00 | 52.00 |
| 00+736.40 | 40.00 | 34.00 | 50.00 |
| 00+762.66 | 40.00 | 35.00 | 45.00 |
| 00+799.31 | 40.00 | 35.00 | 40.00 |
| 00+834.89 | 40.00 | 40.00 | 44.00 |
| 00+871.19 | 40.00 | 40.00 | 45.00 |
| 00+903.03 | 40.00 | 40.00 | 52.00 |
| 00+932.43 | 40.00 | 40.00 | 52.00 |
| 00+944.24 | 40.00 | 40.00 | 52.00 |
| 01+035.37 | 40.00 | 40.00 | 52.00 |
| 01+075.83 | 40.00 | 40.00 | 52.00 |
| 01+122.85 | 40.00 | 40.00 | 52.00 |
| 01+136.98 | 40.00 | 40.00 | 52.00 |
| 01+171.22 | 40.00 | 40.00 | 55.00 |
| 01+197.20 | 40.00 | 40.00 | 44.00 |
| 01+224.87 | 40.00 | 37.00 | 44.00 |
| 01+271.54 | 40.00 | 39.00 | 43.00 |
| 01+301.67 | 40.00 | 41.00 | 43.00 |
| 01+336.20 | 40.00 | 40.00 | 47.00 |
| 01+353.21 | 40.00 | 40.00 | 47.00 |
| 01+382.01 | 40.00 | 40.00 | 47.00 |
| 01+432.22 | 40.00 | 39.00 | 47.00 |
| 01+453.77 | 40.00 | 40.00 | 47.00 |
| 01+487.43 | 40.00 | 36.00 | 47.00 |
| 01+520.10 | 40.00 | 36.00 | 47.00 |
| 01+657.70 | 40.00 | 36.00 | 49.00 |
| 01+687.89 | 40.00 | 36.00 | 49.00 |
| 01+754.17 | 40.00 | 36.00 | 49.00 |
| 01+785.14 | 40.00 | 38.00 | 47.00 |
| 01+806.31 | 40.00 | 33.00 | 43.00 |
| 01+832.50 | 40.00 | 33.00 | 51.00 |
| 01+905.29 | 40.00 | 44.00 | 51.00 |
| 01+945.80 | 40.00 | 44.00 | 44.00 |
| 01+961.72 | 40.00 | 41.00 | 51.00 |
| 02+002.24 | 40.00 | 39.00 | 41.00 |
| 02+013.87 | 40.00 | 39.00 | 41.00 |
| 02+077.96 | 40.00 | 42.00 | 45.00 |



| | | | |
|-----------|-------|-------|-------|
| 02+156.29 | 40.00 | 47.00 | 60.00 |
| 02+165.44 | 40.00 | 47.00 | 60.00 |
| 02+203.40 | 40.00 | 47.00 | 60.00 |
| 02+219.74 | 40.00 | 47.00 | 60.00 |
| 02+261.41 | 40.00 | 53.00 | 71.00 |
| 02+278.52 | 40.00 | 53.00 | 71.00 |
| 02+355.34 | 40.00 | 51.00 | 69.00 |
| 02+385.07 | 40.00 | 51.00 | 69.00 |
| 02+423.88 | 40.00 | 46.00 | 64.00 |
| 02+462.13 | 40.00 | 46.00 | 66.00 |
| 02+510.80 | 40.00 | 46.00 | 63.00 |
| 02+564.36 | 40.00 | 41.00 | 63.00 |
| 02+612.78 | 40.00 | 47.00 | 56.00 |
| 02+647.98 | 40.00 | 47.00 | 56.00 |
| 02+723.10 | 40.00 | 48.00 | 55.00 |
| 02+776.17 | 40.00 | 48.00 | 55.00 |
| 02+855.51 | 40.00 | 40.00 | 49.00 |
| 02+864.88 | 40.00 | 40.00 | 60.00 |
| 02+985.10 | 40.00 | 49.00 | 60.00 |
| 03+023.67 | 40.00 | 45.00 | 53.00 |
| 03+154.81 | 40.00 | 50.00 | 53.00 |
| 03+221.30 | 40.00 | 47.00 | 54.00 |
| 03+263.62 | 40.00 | 47.00 | 54.00 |
| 03+332.86 | 40.00 | 47.00 | 54.00 |
| 03+376.28 | 40.00 | 47.00 | 56.00 |
| 03+496.20 | 40.00 | 48.00 | 55.00 |
| 03+814.52 | 40.00 | 60.00 | 64.00 |
| 03+850.16 | 40.00 | 63.00 | 64.00 |
| 03+958.39 | 40.00 | 68.00 | 68.00 |
| 03+964.91 | 40.00 | 68.00 | 68.00 |
| 04+080.17 | 40.00 | 68.00 | 68.00 |
| 04+154.14 | 40.00 | 65.00 | 68.00 |
| 04+251.41 | 40.00 | 61.00 | 60.00 |
| 04+333.38 | 40.00 | 54.00 | 52.00 |
| 04+490.21 | 40.00 | 56.00 | 56.00 |
| 04+542.71 | 40.00 | 40.00 | 55.00 |
| 04+591.03 | 40.00 | 40.00 | 40.00 |
| 04+606.25 | 40.00 | 45.00 | 45.00 |
| 04+616.99 | 40.00 | 45.00 | 44.00 |
| 04+670.21 | 40.00 | 45.00 | 40.00 |
| 04+927.47 | 40.00 | 55.00 | 55.00 |
| 04+943.46 | 40.00 | 55.00 | 57.00 |
| 05+099.88 | 40.00 | 54.00 | 58.00 |



| | | | |
|-----------|-------|-------|-------|
| 05+216.03 | 40.00 | 43.00 | 55.00 |
| 05+269.55 | 40.00 | 54.00 | 44.00 |
| 05+281.84 | 40.00 | 53.00 | 57.00 |
| 05+355.16 | 40.00 | 53.00 | 57.00 |
| 05+372.68 | 40.00 | 53.00 | 57.00 |
| 05+391.03 | 40.00 | 53.00 | 57.00 |
| 05+426.09 | 40.00 | 53.00 | 57.00 |
| 05+456.87 | 40.00 | 46.00 | 47.00 |
| 05+501.73 | 40.00 | 63.00 | 47.00 |
| 05+512.83 | 40.00 | 63.00 | 47.00 |
| 05+524.81 | 40.00 | 50.00 | 47.00 |
| 05+584.09 | 40.00 | 42.00 | 52.00 |
| 05+623.28 | 40.00 | 38.00 | 52.00 |
| 05+643.97 | 40.00 | 38.00 | 42.00 |
| 05+678.65 | 40.00 | 34.00 | 35.00 |
| 05+713.33 | 40.00 | 30.00 | 31.00 |
| 05+752.25 | 40.00 | 30.00 | 31.00 |
| 05+795.81 | 40.00 | 39.00 | 31.00 |
| 05+820.34 | 40.00 | 39.00 | 43.00 |
| 05+855.00 | 40.00 | 38.00 | 51.00 |
| 05+886.44 | 40.00 | 39.00 | 51.00 |
| 05+909.31 | 40.00 | 38.00 | 49.00 |
| 05+925.51 | 40.00 | 38.00 | 54.00 |
| 05+947.46 | 40.00 | 38.00 | 54.00 |
| 05+984.09 | 40.00 | 38.00 | 54.00 |
| 06+027.25 | 40.00 | 41.00 | 53.00 |
| 06+096.98 | 40.00 | 41.00 | 49.00 |
| 06+127.35 | 40.00 | 39.00 | 49.00 |
| 06+178.59 | 40.00 | 39.00 | 65.00 |
| 06+231.76 | 40.00 | 50.00 | 70.00 |
| 06+238.17 | 40.00 | 54.00 | 65.00 |
| 06+268.10 | 40.00 | 54.00 | 70.00 |
| 06+319.94 | 40.00 | 54.00 | 70.00 |
| 06+339.98 | 40.00 | 54.00 | 70.00 |
| 06+544.60 | 40.00 | 54.00 | 74.00 |
| 06+578.41 | 40.00 | 54.00 | 74.00 |
| 06+617.18 | 40.00 | 56.00 | 63.00 |
| 06+660.68 | 40.00 | 50.00 | 52.00 |
| 06+702.96 | 40.00 | 34.00 | 35.00 |
| 06+721.10 | 40.00 | 34.00 | 35.00 |
| 06+741.12 | 40.00 | 40.00 | 35.00 |
| 06+790.10 | 40.00 | 40.00 | 46.00 |
| 06+828.11 | 40.00 | 40.00 | 46.00 |



| | | | |
|-----------|-------|-------|-------|
| 06+862.57 | 40.00 | 49.00 | 58.00 |
| 06+891.84 | 40.00 | 52.00 | 55.00 |
| 06+936.35 | 40.00 | 52.00 | 65.00 |
| 06+969.89 | 40.00 | 52.00 | 65.00 |
| 07+042.56 | 40.00 | 60.00 | 63.00 |
| 07+081.95 | 40.00 | 62.00 | 63.00 |
| 07+091.14 | 40.00 | 64.00 | 63.00 |
| 07+115.36 | 40.00 | 63.00 | 58.00 |
| 07+149.36 | 40.00 | 63.00 | 58.00 |
| 07+185.88 | 40.00 | 64.00 | 63.00 |
| 07+455.39 | 40.00 | 58.00 | 27.00 |
| 07+486.34 | 40.00 | 54.00 | 27.00 |
| 07+517.28 | 40.00 | 26.00 | 27.00 |
| 07+549.30 | 40.00 | 26.00 | 32.00 |
| 07+581.33 | 40.00 | 40.00 | 32.00 |
| 07+711.26 | 40.00 | 45.00 | 49.00 |
| 07+752.42 | 40.00 | 53.00 | 64.00 |
| 07+794.94 | 40.00 | 53.00 | 53.00 |
| 07+832.34 | 40.00 | 52.00 | 61.00 |
| 07+876.86 | 40.00 | 56.00 | 59.00 |
| 07+947.41 | 40.00 | 45.00 | 56.00 |
| 07+994.75 | 40.00 | 45.00 | 52.00 |
| 08+050.95 | 40.00 | 47.00 | 45.00 |
| 08+091.73 | 40.00 | 47.00 | 45.00 |
| 08+107.96 | 40.00 | 44.00 | 49.00 |
| 08+142.34 | 40.00 | 45.00 | 52.00 |
| 08+173.88 | 40.00 | 45.00 | 52.00 |
| 08+209.16 | 40.00 | 45.00 | 50.00 |
| 08+218.10 | 40.00 | 45.00 | 50.00 |
| 08+264.72 | 40.00 | 45.00 | 50.00 |
| 08+279.85 | 40.00 | 45.00 | 50.00 |
| 08+325.56 | 40.00 | 47.00 | 66.00 |
| 08+346.15 | 40.00 | 47.00 | 59.00 |
| 08+420.63 | 40.00 | 47.00 | 59.00 |
| 08+447.75 | 40.00 | 42.00 | 59.00 |
| 08+474.67 | 40.00 | 42.00 | 56.00 |
| 08+535.73 | 40.00 | 44.00 | 60.00 |
| 08+615.26 | 40.00 | 47.00 | 65.00 |
| 08+655.86 | 40.00 | 50.00 | 74.00 |
| 08+847.03 | 40.00 | 56.00 | 50.00 |
| 08+860.52 | 40.00 | 33.00 | 15.00 |
| 09+150.75 | 40.00 | 15.00 | 0.00 |

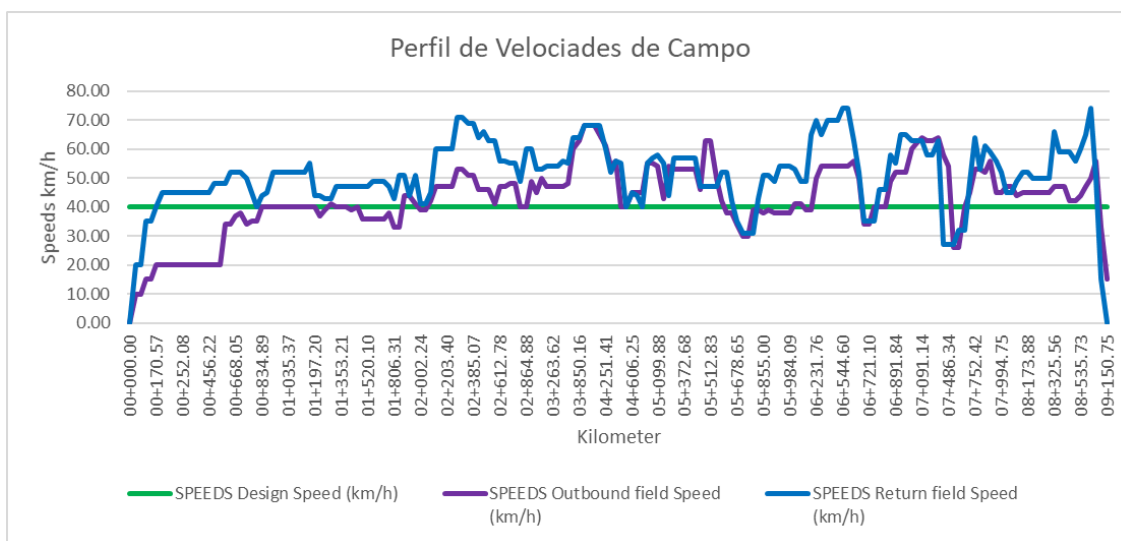
Fuente: Elaboración propia.

En la tabla se puede apreciar cuatro columnas de datos, el primero representa las progresivas de cada elemento geométrico, la segunda columna representa la velocidad de diseño el cual nos ayudara a referenciar como es el comportamiento de los conductores, la tercera y cuarta columna nos muestra las velocidades de ida y vuelta de los vehículos ligeros tomados en campo.

Estas velocidades de la tercera y cuarta columnas, resultan del promedio aritmético de las 62 mediciones realizadas a cada elemento geométrico (curva y tangente), cabe indicar que este valor es tomado de la expresión matemática el cual representa la cantidad de muestra a considerar.

Obtenida las velocidades de campo, al igual que las velocidades de operación e inercial estimadas, se procederá a construir el perfil de estas velocidades, con el objetivo de ver el comportamiento entre todas.

Imagen N° 35 Perfil de velocidades de campo.



Fuente: Elaboración propia.

Para la construcción del presente perfil de velocidades de campo, primero se determinó la velocidad de cada elemento tanto de ida como de vuelta, mediante la medición con la pistola radar, posteriormente se procesó en una hoja Excel todos estos datos con las progresivas representativas de cada elemento.

De la leyenda del perfil, podemos observar que los puntos demarcados con color verde es la velocidad de diseño de la vía con el cual fue construida, mientras los demarcados con color lila y azul son las velocidades medidas en campo, tanto de ida y vuelta respectivamente.

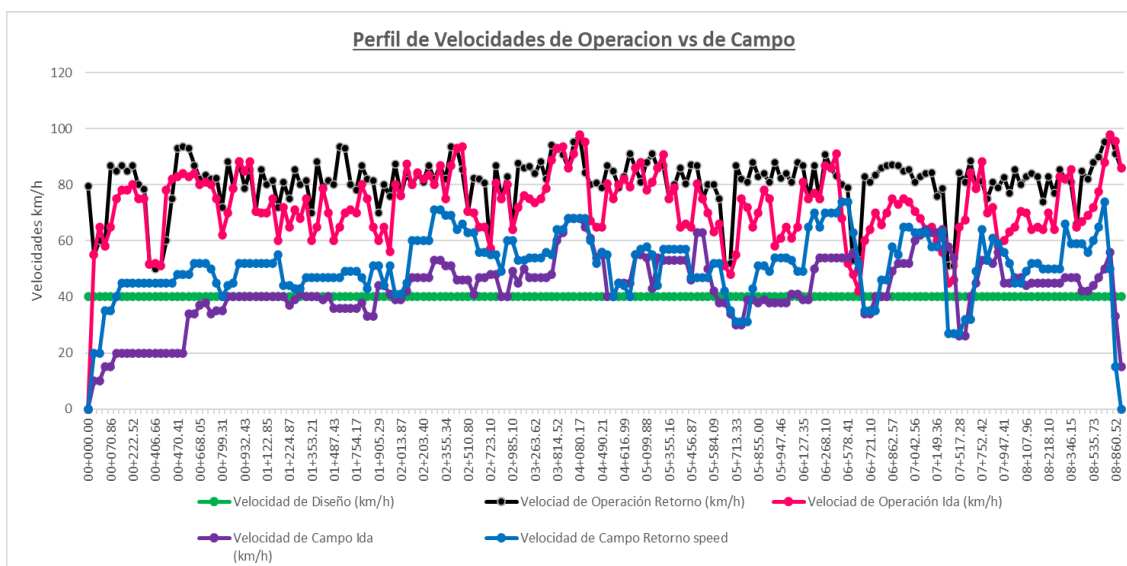
Ahora que se tiene los distintos perfiles de velocidades, tanto estimados como los de campo, se pasara a ver los versus de cada uno de ellos, con el objetivo de visualizar que tan se asemejan las fórmulas calibradas con el comportamiento de los conductores.

3.6.5. COMPARACIÓN DE LOS PERFILES DE VELOCIDADES

Con el objetivo de que se entienda más a detalle los resultados obtenidos y ver cómo funcionan en este tipo de vía las fórmulas propuestas por Pérez Zuriaga y David Llopis a continuación, se presentara cada uno de los perfiles obtenidos con los de campo:

Primer versus: Perfil de velocidades de operación estimadas por Pérez Zuriaga con las de campo:

Imagen N° 36 Versus del perfil de velocidad de operación y de campo.



Fuente: Elaboración propia.

En este primer versus podemos indicar que:

- En los puntos kilométricos 00+379.35, 00+406.66 y 00+418.16 las velocidades de operación (ida y vuelta) presentan un desbalance

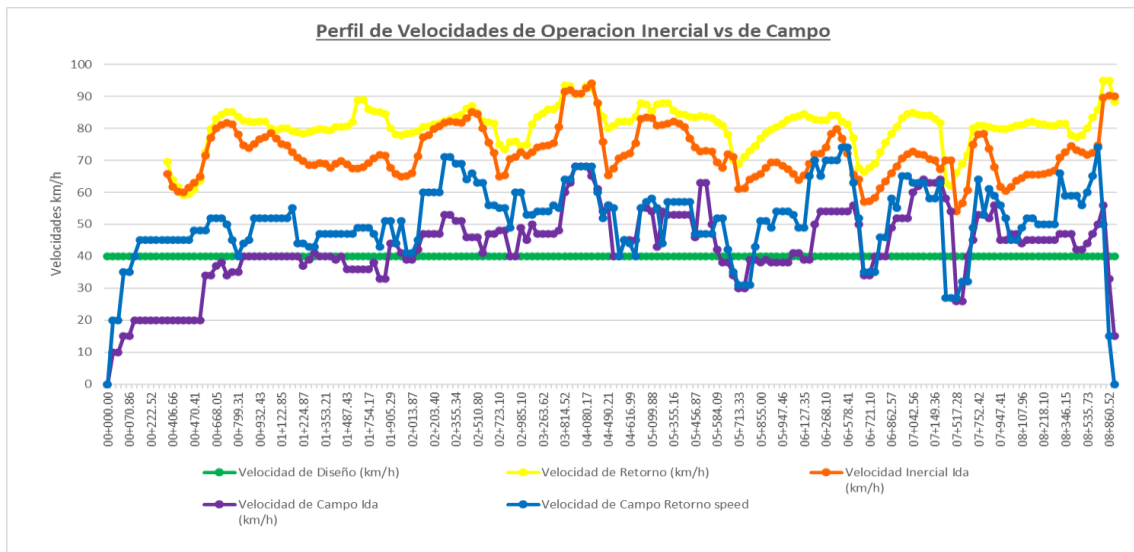


acercándose a la velocidad de diseño, verificando los elementos geométricos, se puede observar que esto sucede debido a que estos elementos presentan en estos puntos radios de 22 y 18 metros así mismo longitudes de tangentes de 11.49 metros. Sin embargo, en campo los conductores, mantienen una velocidad constante esto debido a la pendiente longitudinal creciente.

- Otro aspecto relevante a este perfil, es la velocidad de campo en sentido de ida, del punto kilométrico 00+00 al 00+799.31, se observa que este se encuentra por debajo de la velocidad de diseño, verificando los elementos geométricos, este comportamiento es debido a la pendiente longitudinal que presenta este tramo, el cual varía de 5.73 % a 12.04%. frente a esto los conductores tienen que luchar en poder desarrollar más velocidad y sobre pasar este tramo.
- Otro comportamiento sobre las velocidades, es que en los cuatro perfiles de velocidad de operación y de campo (ida y vuelta) en los puntos kilométricos 05+643.97, 05+678.65 y 05+713.33 presenta un desbalance hacia el eje x del gráfico, esto se debe a que en ese tramo se encuentra una curva en desarrollo con radios de 22 metros, así mismo pendientes de más de 7%. Este tipo de desbalance también se puede apreciar las progresivas 06+617.18, 06+660.68, 07+455.39 y 07+486.34.
- Si bien ligeramente el comportamiento del perfil de velocidades de operación es casi similar a las de campo, referente a la diferencia entre ambas en promedio es de 30 km/h, esto se debe a que las velocidades de operación en este caso, toman en cuenta la geometría en planta, mas no al trazo vertical ni las expectativas de los conductores, así mismo hay que precisar que las predicciones de velocidad de operación fueron calibradas para España.

El segundo versus: Velocidad de operación inercial y la velocidad medida en campo:

Imagen N° 37 Versus del perfil de velocidad de operación inercial y de campo



Fuente: Elaboración propia.

- Para el caso de este versus se puede observar que la forma de la gráfica de las velocidades de operación inercial, son similares con las gráficas de velocidades de campo.
- Como se había comentado antes, en el tramo 00+00 al 00+252.08, no presenta perfil de velocidades de operación inercial, esto se debe a que el cálculo se realiza 15 segundos antes del punto donde se quiere estimar, por ende, no hay memoria a corto plazo por el conductor a recordar y velocidad inercial a estimar en estos 252.08 metros.
- Del kilómetro 03+850.16 al 04+154.14, se observa en los perfiles picos altos de velocidad, revisando la geometría en planta y perfil se puede observar que esto se debe a la presencia de longitudes de tangente de más de 100 metros, así mismo radios de curvatura de 450 metros y pendiente longitudinal de 0.91%.
- Continuando con la trayectoria de la vía, en el kilómetro 05+678.65, se observa que el perfil de velocidad de campo, se encuentra por debajo de la velocidad de diseño, así mismo el perfil de velocidad de operación inercial presenta un cambio brusco de velocidad hacia el eje x, revisado la geometría en planta y alzada se puede indicar que este elemento



geométrico es una curva de desarrollo con radio de curvatura de 22 metros, longitud de curva de 34.67 metros y una pendiente longitudinal de 7.22%. De allí este cambio brusco que se presenta.

- Otro punto con estas características es la del kilómetro 06+660.68, donde el perfil de velocidades de campo también se encuentra por debajo de la velocidad de diseño, por otra parte, el perfil de velocidad de operación inercial también presenta un cambio brusco de velocidad, revisado la geometría en planta y alzada se puede indicar que este elemento geométrico es una curva de desarrollo con un radio de curvatura de 26 metros, una longitud de curva de 42.27 metros y una pendiente longitudinal de 7.26%.
- Por último en el punto kilométrico 07+455.39, también se puede observar que el perfil de velocidades de campo se encuentra por debajo de la velocidad de diseño, y el perfil de velocidad de operación inercial también presenta un cambio brusco de velocidad como los anteriores casos, revisado la geometría en planta y alzada se puede indicar que este elemento geométrico es una curva de desarrollo con un radio de curvatura de 19 metros, una longitud de curva de 30.94 metros y una pendiente longitudinal de 7.37%.
- Comparando la forma de los perfiles de velocidades estimadas de operación y la inercial con la de campo, se puede decir que la que mejor tiende a asemejarse a este, es la inercial esto debido a que en su cálculo incorpora las expectativas de los conductores. Sin embargo, en ambos casos se presenta diferencia entre velocidades, esto se debe lógicamente a fueron propuestas y calibradas para vías en España.

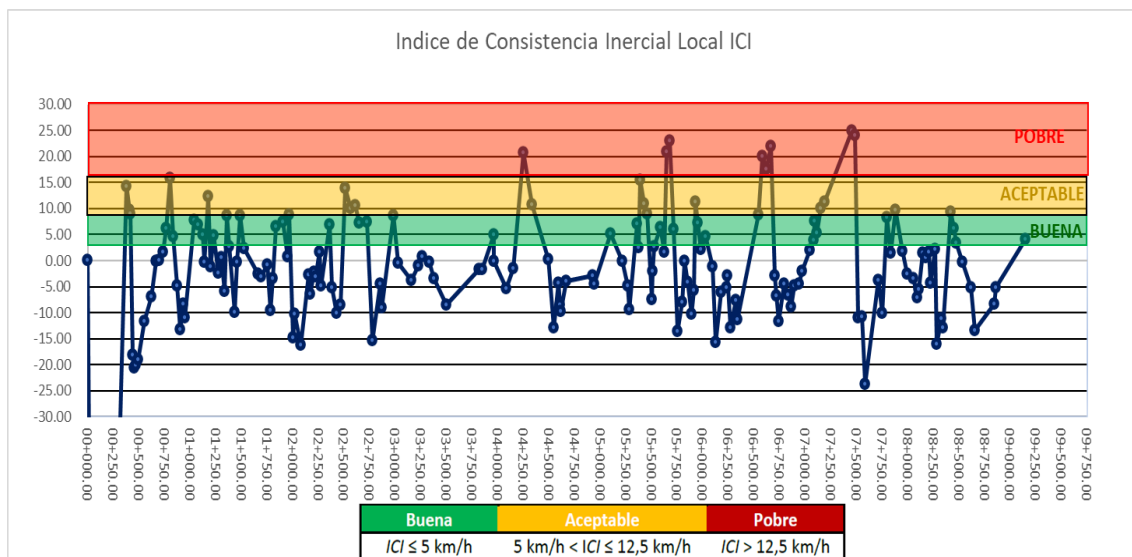
CAPITULO IV.- ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

4.1.ÍNDICE DE CONSISTENCIA LOCAL ICI

(Llopis Castello, 2017), indica en su investigación que, la consistencia de un determinado elemento del trazado, no depende únicamente de las características de este elemento y su anterior, sino también de las características de varios elementos anteriores a este. Es así que en este contexto surge el índice de consistencia inercial (ICI) propuesto por primera vez por García et al. (2013), donde define como la diferencia entre la velocidad de operación inercial y la velocidad de operación, este nuevo concepto de velocidad fue propuesto como medida sustitutoria de las expectativas de los conductores.

Para la obtención del índice de consistencia local como indica el autor, se realizó la diferencia entre ambos perfiles, obteniendo la siguiente grafica.

Imagen N° 38 Perfil del índice de consistencia Inercial local del tramo de estudio



Fuente: Elaboración propia.

Bajo esta definición y propuestas de evaluación por el autor, se puede indicar que un elemento viario posee buena consistencia, si el ICI es inferior que 5 km/h, pobre consistencia en caso de que este parámetro sea superior a 12,5 km/h y aceptable en el resto de casos.

En la siguiente tabla se observa el análisis de consistencia local de cada elemento:

Tabla Nº 26 Análisis del índice de consistencia local del tramo

| PK | Speeds | | Índice de Consistencia Inercial (ICI) |
|-----------|--|---------------------------------|---------------------------------------|
| | Operating speed - 85th percentile (km/h) | Inertial Operating Speed (km/h) | |
| 00+000.00 | 0.00 | | 0.00 |
| 00+016.99 | 55.01 | | -55.01 |
| 00+021.66 | 65.00 | | -65.00 |
| 00+049.67 | 58.20 | | -58.20 |
| 00+070.86 | 65.00 | | -65.00 |
| 00+170.57 | 74.97 | | -74.97 |
| 00+189.24 | 78.00 | | -78.00 |
| 00+215.73 | 78.00 | | -78.00 |
| 00+222.52 | 80.00 | | -80.00 |
| 00+245.15 | 74.97 | | -74.97 |
| 00+252.08 | 75.00 | | -75.00 |
| 00+379.35 | 51.62 | 65.83 | 14.21 |
| 00+406.66 | 52.00 | 61.75 | 9.75 |
| 00+418.16 | 51.15 | 60.19 | 9.04 |
| 00+440.86 | 78.26 | 60.09 | -18.17 |
| 00+456.22 | 82.00 | 61.48 | -20.52 |
| 00+470.41 | 83.00 | 62.91 | -20.09 |
| 00+489.78 | 84.00 | 64.92 | -19.08 |
| 00+554.73 | 83.00 | 71.40 | -11.60 |
| 00+620.88 | 84.00 | 77.11 | -6.89 |
| 00+668.05 | 80.00 | 79.93 | -0.07 |
| 00+698.99 | 81.00 | 81.01 | 0.01 |
| 00+736.40 | 80.00 | 81.66 | 1.66 |
| 00+762.66 | 75.00 | 81.22 | 6.22 |
| 00+799.31 | 62.14 | 78.02 | 15.88 |
| 00+834.89 | 70.00 | 74.64 | 4.64 |
| 00+871.19 | 78.77 | 73.92 | -4.85 |
| 00+903.03 | 88.29 | 75.13 | -13.16 |
| 00+932.43 | 85.00 | 76.68 | -8.32 |
| 00+944.24 | 88.33 | 77.30 | -11.03 |
| 01+035.37 | 70.66 | 78.46 | 7.80 |
| 01+075.83 | 70.00 | 76.84 | 6.84 |
| 01+122.85 | 70.00 | 75.03 | 5.03 |
| 01+136.98 | 75.00 | 74.67 | -0.33 |
| 01+171.22 | 60.21 | 72.56 | 12.35 |



| | | | |
|-----------|-------|-------|--------|
| 01+197.20 | 72.00 | 70.80 | -1.20 |
| 01+224.87 | 65.00 | 69.74 | 4.74 |
| 01+271.54 | 71.00 | 68.59 | -2.41 |
| 01+301.67 | 68.00 | 68.56 | 0.56 |
| 01+336.20 | 75.00 | 69.13 | -5.87 |
| 01+353.21 | 60.21 | 68.96 | 8.75 |
| 01+382.01 | 65.00 | 67.65 | 2.65 |
| 01+432.22 | 78.77 | 68.91 | -9.86 |
| 01+453.77 | 70.00 | 69.75 | -0.25 |
| 01+487.43 | 60.21 | 68.80 | 8.59 |
| 01+520.10 | 65.00 | 67.36 | 2.36 |
| 01+657.70 | 70.00 | 67.38 | -2.62 |
| 01+687.89 | 71.00 | 67.90 | -3.10 |
| 01+754.17 | 70.00 | 69.19 | -0.81 |
| 01+785.14 | 80.06 | 70.54 | -9.52 |
| 01+806.31 | 74.97 | 71.61 | -3.36 |
| 01+832.50 | 65.00 | 71.60 | 6.60 |
| 01+905.29 | 60.21 | 67.58 | 7.37 |
| 01+945.80 | 65.00 | 65.77 | 0.77 |
| 01+961.72 | 56.09 | 64.88 | 8.79 |
| 02+002.24 | 80.06 | 65.20 | -14.86 |
| 02+013.87 | 76.29 | 66.00 | -10.29 |
| 02+077.96 | 87.42 | 71.20 | -16.22 |
| 02+156.29 | 80.00 | 77.28 | -2.72 |
| 02+165.44 | 84.18 | 77.80 | -6.38 |
| 02+203.40 | 82.00 | 79.88 | -2.12 |
| 02+219.74 | 83.57 | 80.58 | -2.99 |
| 02+261.41 | 80.00 | 81.71 | 1.71 |
| 02+278.52 | 86.94 | 82.17 | -4.77 |
| 02+355.34 | 74.97 | 81.94 | 6.97 |
| 02+385.07 | 86.93 | 81.68 | -5.25 |
| 02+423.88 | 93.17 | 83.18 | -9.99 |
| 02+462.13 | 93.56 | 85.13 | -8.43 |
| 02+510.80 | 70.66 | 84.60 | 13.94 |
| 02+564.36 | 70.00 | 80.08 | 10.08 |
| 02+612.78 | 65.00 | 75.65 | 10.65 |
| 02+647.98 | 65.00 | 72.35 | 7.35 |
| 02+723.10 | 57.37 | 64.81 | 7.44 |
| 02+776.17 | 80.56 | 65.32 | -15.24 |
| 02+855.51 | 74.97 | 70.49 | -4.48 |
| 02+864.88 | 80.00 | 71.03 | -8.97 |
| 02+985.10 | 63.99 | 72.58 | 8.59 |
| 03+023.67 | 72.00 | 71.57 | -0.43 |
| 03+154.81 | 76.29 | 72.61 | -3.68 |



| | | | |
|-----------|-------|-------|--------|
| 03+221.30 | 75.00 | 73.98 | -1.02 |
| 03+263.62 | 73.59 | 74.46 | 0.87 |
| 03+332.86 | 75.00 | 74.70 | -0.30 |
| 03+376.28 | 78.77 | 75.27 | -3.50 |
| 03+496.20 | 88.86 | 80.35 | -8.51 |
| 03+814.52 | 93.17 | 91.42 | -1.75 |
| 03+850.16 | 93.54 | 91.91 | -1.63 |
| 03+958.39 | 85.96 | 90.99 | 5.03 |
| 03+964.91 | 90.95 | 90.89 | -0.06 |
| 04+080.17 | 97.89 | 92.55 | -5.34 |
| 04+154.14 | 95.42 | 94.00 | -1.42 |
| 04+251.41 | 67.13 | 87.82 | 20.69 |
| 04+333.38 | 65.00 | 75.76 | 10.76 |
| 04+490.21 | 65.00 | 65.23 | 0.23 |
| 04+542.71 | 80.47 | 67.54 | -12.93 |
| 04+591.03 | 74.97 | 70.61 | -4.36 |
| 04+606.25 | 80.00 | 71.45 | -8.55 |
| 04+616.99 | 82.00 | 72.21 | -9.79 |
| 04+670.21 | 79.26 | 75.40 | -3.86 |
| 04+927.47 | 85.96 | 83.08 | -2.88 |
| 04+943.46 | 88.00 | 83.51 | -4.49 |
| 05+099.88 | 78.00 | 83.22 | 5.22 |
| 05+216.03 | 80.86 | 80.77 | -0.09 |
| 05+269.55 | 85.96 | 81.18 | -4.78 |
| 05+281.84 | 90.91 | 81.60 | -9.31 |
| 05+355.16 | 74.97 | 82.05 | 7.08 |
| 05+372.68 | 79.00 | 81.58 | 2.58 |
| 05+391.03 | 65.00 | 80.52 | 15.52 |
| 05+426.09 | 66.00 | 76.89 | 10.89 |
| 05+456.87 | 65.00 | 74.07 | 9.07 |
| 05+501.73 | 80.29 | 72.88 | -7.41 |
| 05+512.83 | 74.97 | 72.99 | -1.98 |
| 05+524.81 | 70.00 | 72.72 | 2.72 |
| 05+584.09 | 63.07 | 69.43 | 6.36 |
| 05+623.28 | 66.00 | 67.72 | 1.72 |
| 05+643.97 | 51.00 | 72.00 | 21.00 |
| 05+678.65 | 48.00 | 71.00 | 23.00 |
| 05+713.33 | 55.00 | 61.10 | 6.10 |
| 05+752.25 | 74.97 | 61.32 | -13.65 |
| 05+795.81 | 72.00 | 64.10 | -7.90 |
| 05+820.34 | 65.00 | 64.93 | -0.07 |
| 05+855.00 | 70.00 | 65.82 | -4.18 |
| 05+886.44 | 78.00 | 67.74 | -10.26 |
| 05+909.31 | 75.00 | 69.33 | -5.67 |



| | | | |
|-----------|-------|-------|--------|
| 05+925.51 | 58.20 | 69.42 | 11.22 |
| 05+947.46 | 61.00 | 68.30 | 7.30 |
| 05+984.09 | 65.00 | 67.25 | 2.25 |
| 06+027.25 | 61.00 | 65.64 | 4.64 |
| 06+096.98 | 65.00 | 63.85 | -1.15 |
| 06+127.35 | 80.87 | 65.28 | -15.59 |
| 06+178.59 | 74.97 | 68.90 | -6.07 |
| 06+231.76 | 77.00 | 71.83 | -5.17 |
| 06+238.17 | 74.97 | 72.13 | -2.84 |
| 06+268.10 | 86.93 | 74.13 | -12.80 |
| 06+319.94 | 85.96 | 78.29 | -7.67 |
| 06+339.98 | 91.03 | 79.82 | -11.21 |
| 06+544.60 | 68.00 | 76.82 | 8.82 |
| 06+578.41 | 52.00 | 72.13 | 20.13 |
| 06+617.18 | 48.00 | 65.60 | 17.60 |
| 06+660.68 | 42.00 | 64.00 | 22.00 |
| 06+702.96 | 60.00 | 57.04 | -2.96 |
| 06+721.10 | 63.99 | 57.27 | -6.72 |
| 06+741.12 | 70.00 | 58.32 | -11.68 |
| 06+790.10 | 65.76 | 61.28 | -4.48 |
| 06+828.11 | 70.00 | 63.47 | -6.53 |
| 06+862.57 | 74.97 | 66.05 | -8.92 |
| 06+891.84 | 73.00 | 68.13 | -4.87 |
| 06+936.35 | 74.97 | 70.56 | -4.41 |
| 06+969.89 | 74.00 | 71.93 | -2.07 |
| 07+042.56 | 70.66 | 72.67 | 2.01 |
| 07+081.95 | 68.00 | 72.02 | 4.02 |
| 07+091.14 | 63.99 | 71.64 | 7.65 |
| 07+115.36 | 65.00 | 70.34 | 5.34 |
| 07+149.36 | 60.00 | 70.00 | 10.00 |
| 07+185.88 | 56.00 | 67.30 | 11.30 |
| 07+455.39 | 45.00 | 70.00 | 25.00 |
| 07+486.34 | 46.00 | 70.00 | 24.00 |
| 07+517.28 | 65.00 | 53.99 | -11.01 |
| 07+549.30 | 67.46 | 56.65 | -10.81 |
| 07+581.33 | 84.30 | 60.61 | -23.69 |
| 07+711.26 | 78.77 | 74.95 | -3.82 |
| 07+752.42 | 88.32 | 78.19 | -10.13 |
| 07+794.94 | 70.00 | 78.25 | 8.25 |
| 07+832.34 | 72.00 | 73.54 | 1.54 |
| 07+876.86 | 58.20 | 67.98 | 9.78 |
| 07+947.41 | 60.00 | 61.77 | 1.77 |
| 07+994.75 | 63.07 | 60.51 | -2.56 |
| 08+050.95 | 65.00 | 61.64 | -3.36 |



| | | | |
|-----------|-------|-------|--------|
| 08+091.73 | 70.66 | 63.55 | -7.11 |
| 08+107.96 | 70.00 | 64.46 | -5.54 |
| 08+142.34 | 63.99 | 65.46 | 1.47 |
| 08+173.88 | 65.00 | 65.62 | 0.62 |
| 08+209.16 | 63.99 | 65.62 | 1.63 |
| 08+218.10 | 70.00 | 65.75 | -4.25 |
| 08+264.72 | 63.99 | 66.21 | 2.22 |
| 08+279.85 | 82.93 | 66.91 | -16.02 |
| 08+325.56 | 82.00 | 70.83 | -11.17 |
| 08+346.15 | 85.38 | 72.51 | -12.87 |
| 08+420.63 | 65.00 | 74.39 | 9.39 |
| 08+447.75 | 67.00 | 73.28 | 6.28 |
| 08+474.67 | 69.10 | 72.56 | 3.46 |
| 08+535.73 | 72.00 | 71.74 | -0.26 |
| 08+615.26 | 77.55 | 72.38 | -5.17 |
| 08+655.86 | 87.96 | 74.60 | -13.36 |
| 08+847.03 | 97.89 | 89.53 | -8.36 |
| 08+860.52 | 95.44 | 90.34 | -5.10 |
| 09+150.75 | 85.96 | 90.10 | 4.14 |

Fuente: Elaboración propia

De la evaluación del índice de consistencia local realizada, se puede observar que los elementos geométricos de las progresivas 00+379.35, 00+799.31, 02+510.80, 04+251.41, 05+391.03, 05+643.97, 05+678.65, 06+578.41, 06+617.18, 06+660.68, 07+455.39 y 07+486.34 son pobres e inconsistentes debido a que se encuentran por encima del parámetro a 12,5 km/h y este está demarcado con el color rojo.

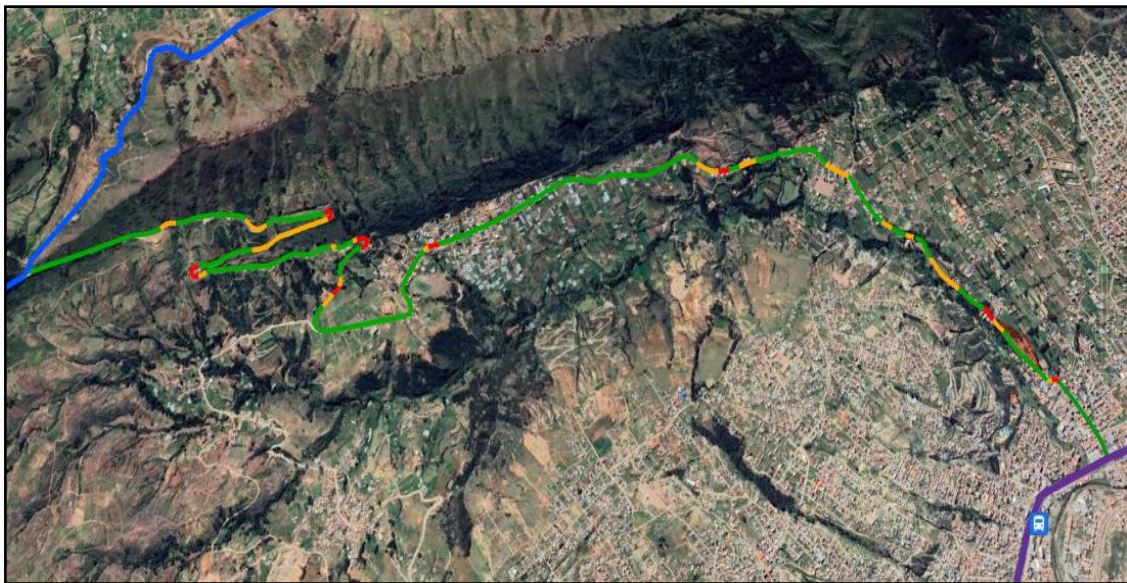
Los elementos geométricos en las progresivas 00+406.66, 00+418.16, 00+762.66, 01+035.37, 01+075.83, 01+122.85, 01+171.22, 01+353.21, 01+487.43, 01+832.50, 01+905.29, 01+961.72, 02+355.34, 02+564.36, 02+612.78, 02+647.98, 02+723.10, 02+985.10, 03+958.39, 04+333.38, 05+099.88, 05+355.16, 05+426.09, 05+456.87, 05+584.09, 05+713.33, 05+925.51, 05+947.46, 06+544.60, 07+091.14, 07+115.36, 07+149.36, 07+185.88, 07+794.94, 07+876.86, 08+420.63 y 08+447.75, presentan un índice de consistencia local aceptable debido a que se encuentran dentro del parámetro de 5 a 12.5 km /h, y este está demarcado de color naranja.

Por último, referente a los demás elementos geométricos el cual están demarcados con el color verde, se puede indicar que son buenos y no

presentan inconsistencia, es decir son seguros para transitarlos y están por debajo del umbral de 5 km/h.

Para una mejor visualización del índice de consistencia realizado a la vía, se realizó un mapa de calificación detallando que elementos son pobre, aceptable y bueno, todo esto apoyándose del Google Earth, el cual se muestra a continuación.

Imagen N° 39 Mapa de del índice de consistencia local del tramo de estudio



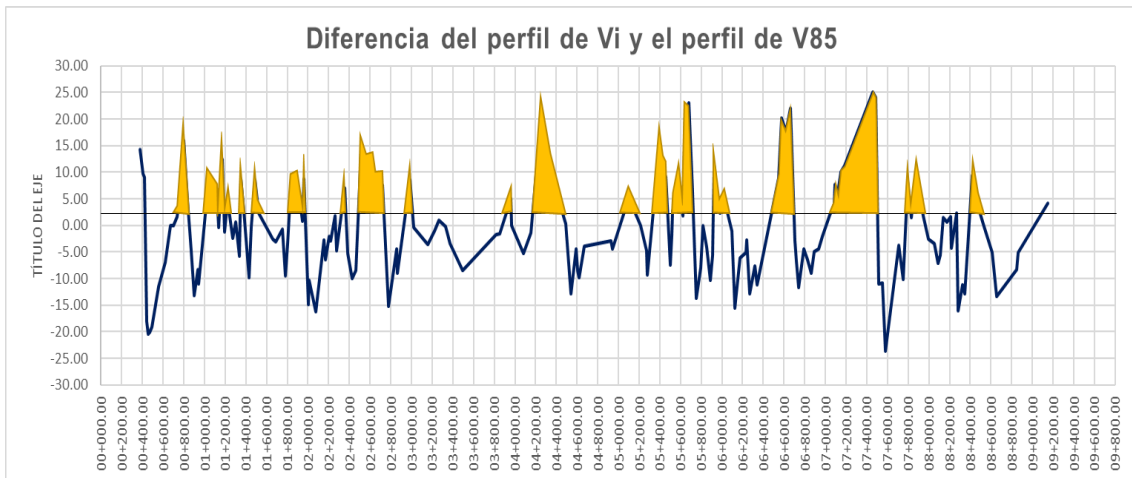
Fuente: Elaboración propia

Obtenido el índice de consistencia local, ahora se pasará a evaluar el parámetro de consistencia global.

4.2. PARÁMETRO DE CONSISTENCIA GLOBAL (C)

En base al nuevo concepto de velocidad de operación inercial, Llopis-Castelló et al. (2018) propuso un nuevo modelo de consistencia global basado en la diferencia del perfil de velocidad de operación inercial, que representa las expectativas de los conductores, y la diferencia del perfil de velocidad de operación, que representa la velocidad que pueden alcanzar los usuarios de la vía en función de la geometría de esta, es así que se construye el siguiente perfil del tramo de estudio.

Imagen N° 40 Diferencia del perfil de Vi y el perfil de V85 del tramo de estudio



Fuente: Elaboración propia

En donde este nuevo perfil, la parte positiva nos indica que la velocidad de operación inercial es mayor que la velocidad de operación y, por tanto, la velocidad que espera desarrollar el usuario de la vía es mayor que la que la propia carretera le permite de acuerdo a sus características geométricas. En definitiva, en estas localizaciones los conductores se ven sorprendidos por las características de la vía, lo que lleva a que tengan que adaptar de manera inmediata su conducción a las condiciones del trazado con el riesgo que esto conlleva. Por tanto, cuanto mayor sea el área positiva encerrada en el diagrama de la Figura 40, mayores sean los picos de diferencia de velocidad que se alcanzan y mayor el riesgo de ocurrencia de accidentes.

Partiendo de esta hipótesis el autor en mención, propuso la siguiente expresión del parámetro de consistencia:

$$C = \sqrt{\frac{A(+)*\sigma(+)}{L(+)}} \text{ (km/h)}$$

Donde C es el parámetro de consistencia (km/h); A(+) el área encerrada por el diagrama que muestra la diferencia entre Vi y V85 como se muestra en la imagen, y el eje x considerando únicamente las diferencias positivas (m-km/h); L(+) la longitud de tramo de carretera donde se producen diferencias de velocidad positivas entre Vi y V85 (m); y $\sigma(+)$ la desviación estándar de la

diferencia entre V_i y V_{85} considerando únicamente las diferencias de velocidad positivas (km/h).

De esta forma, cuanto mayor sea $A(+)$ o $\sigma(+)$, menor será el nivel de consistencia de un segmento homogéneo de carretera, puesto que significa que existen mayores diferencias entre las expectativas de los conductores y el comportamiento de la carretera. Además, para un mismo valor de $A(+)$, cuanto mayor sea $L(+)$, mayor será el nivel de consistencia del segmento de carretera homogéneo. Por tanto, a menor valor de C , mayor es el nivel de consistencia del tramo de carretera y, consecuentemente, menor es la probabilidad de ocurrencia de accidentes. Como resultado, los umbrales que permiten determinar de manera cualitativa el nivel de consistencia de un tramo de carretera según este modelo de consistencia son los presentados a continuación.

Imagen N° 41 Umbrales del parámetro de consistencia global

| Buena | Aceptable | Pobre |
|--------------------|---------------------------------|----------------|
| $C \leq 2,75$ km/h | $2,75$ km/h $< C \leq 4,5$ km/h | $C > 4,5$ km/h |

Fuente: Elaboración propia

De lo indicado por el autor a continuación, se desarrolló el análisis de la consistencia de diseño global obteniendo los siguientes resultados:

Tabla N° 27 Análisis de la consistencia global del tramo de estudio

| PK | Longitud (m) | Operating speed – 85th percentile (km/h) | Inertial Operating Speed (km/h) | A (+) diferencia entre V_i y V_{85} | PARAMETRO DE CONSISTENCIA |
|-----------|--------------|--|---------------------------------|---|---------------------------|
| 00+000.00 | 16.99 | 0.00 | | | |
| 00+016.99 | 4.67 | 55.01 | | | |
| 00+021.66 | 28.00 | 65.00 | | | |
| 00+049.67 | 21.19 | 58.20 | | | |
| 00+070.86 | 99.71 | 65.00 | | | |
| 00+170.57 | 18.67 | 74.97 | | | |
| 00+189.24 | 26.49 | 78.00 | | | |
| 00+215.73 | 6.79 | 78.00 | | | |
| 00+222.52 | 22.63 | 80.00 | | | |
| 00+245.15 | 6.93 | 74.97 | | | |
| 00+252.08 | 127.27 | 75.00 | | | |
| 00+379.35 | 27.31 | 51.62 | 65.83 | 14.21 | 3.65 |



| | | | | | |
|-----------|--------|-------|-------|--------|------|
| 00+406.66 | 11.49 | 52.00 | 61.75 | 9.75 | 4.66 |
| 00+418.16 | 22.71 | 51.15 | 60.19 | 9.04 | 3.19 |
| 00+440.86 | 15.36 | 78.26 | 60.09 | -18.17 | |
| 00+456.22 | 14.19 | 82.00 | 61.48 | -20.52 | |
| 00+470.41 | 19.36 | 83.00 | 62.91 | -20.09 | |
| 00+489.78 | 64.96 | 84.00 | 64.92 | -19.08 | |
| 00+554.73 | 66.15 | 83.00 | 71.40 | -11.60 | |
| 00+620.88 | 47.17 | 84.00 | 77.11 | -6.89 | |
| 00+668.05 | 30.93 | 80.00 | 79.93 | -0.07 | |
| 00+698.99 | 37.41 | 81.00 | 81.01 | 0.01 | 0.08 |
| 00+736.40 | 26.26 | 80.00 | 81.66 | 1.66 | 1.27 |
| 00+762.66 | 36.65 | 75.00 | 81.22 | 6.22 | 2.08 |
| 00+799.31 | 35.59 | 62.14 | 78.02 | 15.88 | 3.38 |
| 00+834.89 | 36.29 | 70.00 | 74.64 | 4.64 | 1.81 |
| 00+871.19 | 31.84 | 78.77 | 73.92 | -4.85 | |
| 00+903.03 | 29.40 | 88.29 | 75.13 | -13.16 | |
| 00+932.43 | 11.81 | 85.00 | 76.68 | -8.32 | |
| 00+944.24 | 91.13 | 88.33 | 77.30 | -11.03 | |
| 01+035.37 | 40.45 | 70.66 | 78.46 | 7.80 | 2.22 |
| 01+075.83 | 47.03 | 70.00 | 76.84 | 6.84 | 1.93 |
| 01+122.85 | 14.13 | 70.00 | 75.03 | 5.03 | 3.02 |
| 01+136.98 | 34.24 | 75.00 | 74.67 | -0.33 | |
| 01+171.22 | 25.97 | 60.21 | 72.56 | 12.35 | |
| 01+197.20 | 27.67 | 72.00 | 70.80 | -1.20 | |
| 01+224.87 | 46.67 | 65.00 | 69.74 | 4.74 | |
| 01+271.54 | 30.13 | 71.00 | 68.59 | -2.41 | |
| 01+301.67 | 34.53 | 68.00 | 68.56 | 0.56 | |
| 01+336.20 | 17.01 | 75.00 | 69.13 | -5.87 | |
| 01+353.21 | 28.80 | 60.21 | 68.96 | 8.75 | 2.79 |
| 01+382.01 | 50.21 | 65.00 | 67.65 | 2.65 | 1.16 |
| 01+432.22 | 21.55 | 78.77 | 68.91 | -9.86 | |
| 01+453.77 | 33.66 | 70.00 | 69.75 | -0.25 | |
| 01+487.43 | 32.67 | 60.21 | 68.80 | 8.59 | 2.59 |
| 01+520.10 | 137.60 | 65.00 | 67.36 | 2.36 | 0.66 |
| 01+657.70 | 30.19 | 70.00 | 67.38 | -2.62 | |
| 01+687.89 | 66.28 | 71.00 | 67.90 | -3.10 | |
| 01+754.17 | 30.97 | 70.00 | 69.19 | -0.81 | |
| 01+785.14 | 21.16 | 80.06 | 70.54 | -9.52 | |
| 01+806.31 | 26.20 | 74.97 | 71.61 | -3.36 | |
| 01+832.50 | 72.78 | 65.00 | 71.60 | 6.60 | 1.52 |
| 01+905.29 | 40.51 | 60.21 | 67.58 | 7.37 | 2.16 |
| 01+945.80 | 15.92 | 65.00 | 65.77 | 0.77 | 1.11 |
| 01+961.72 | 40.52 | 56.09 | 64.88 | 8.79 | 2.35 |
| 02+002.24 | 11.63 | 80.06 | 65.20 | -14.86 | |



| | | | | | |
|-----------|--------|-------|-------|--------|------|
| 02+013.87 | 64.09 | 76.29 | 66.00 | -10.29 | |
| 02+077.96 | 78.33 | 87.42 | 71.20 | -16.22 | |
| 02+156.29 | 9.15 | 80.00 | 77.28 | -2.72 | |
| 02+165.44 | 37.96 | 84.18 | 77.80 | -6.38 | |
| 02+203.40 | 16.34 | 82.00 | 79.88 | -2.12 | |
| 02+219.74 | 41.67 | 83.57 | 80.58 | -2.99 | |
| 02+261.41 | 17.11 | 80.00 | 81.71 | 1.71 | |
| 02+278.52 | 76.82 | 86.94 | 82.17 | -4.77 | |
| 02+355.34 | 29.73 | 74.97 | 81.94 | 6.97 | |
| 02+385.07 | 38.81 | 86.93 | 81.68 | -5.25 | |
| 02+423.88 | 38.25 | 93.17 | 83.18 | -9.99 | |
| 02+462.13 | 48.67 | 93.56 | 85.13 | -8.43 | |
| 02+510.80 | 53.57 | 70.66 | 84.60 | 13.94 | 2.58 |
| 02+564.36 | 48.42 | 70.00 | 80.08 | 10.08 | 2.31 |
| 02+612.78 | 35.20 | 65.00 | 75.65 | 10.65 | 2.78 |
| 02+647.98 | 75.12 | 65.00 | 72.35 | 7.35 | 1.58 |
| 02+723.10 | 53.07 | 57.37 | 64.81 | 7.44 | 1.89 |
| 02+776.17 | 79.34 | 80.56 | 65.32 | -15.24 | |
| 02+855.51 | 9.37 | 74.97 | 70.49 | -4.48 | |
| 02+864.88 | 120.22 | 80.00 | 71.03 | -8.97 | |
| 02+985.10 | 38.57 | 63.99 | 72.58 | 8.59 | |
| 03+023.67 | 131.14 | 72.00 | 71.57 | -0.43 | |
| 03+154.81 | 66.49 | 76.29 | 72.61 | -3.68 | |
| 03+221.30 | 42.32 | 75.00 | 73.98 | -1.02 | |
| 03+263.62 | 69.24 | 73.59 | 74.46 | 0.87 | |
| 03+332.86 | 43.42 | 75.00 | 74.70 | -0.30 | |
| 03+376.28 | 119.92 | 78.77 | 75.27 | -3.50 | |
| 03+496.20 | 318.32 | 88.86 | 80.35 | -8.51 | |
| 03+814.52 | 35.63 | 93.17 | 91.42 | -1.75 | |
| 03+850.16 | 108.23 | 93.54 | 91.91 | -1.63 | |
| 03+958.39 | 6.52 | 85.96 | 90.99 | 5.03 | |
| 03+964.91 | 115.26 | 90.95 | 90.89 | -0.06 | |
| 04+080.17 | 73.98 | 97.89 | 92.55 | -5.34 | |
| 04+154.14 | 97.27 | 95.42 | 94.00 | -1.42 | |
| 04+251.41 | 81.97 | 67.13 | 87.82 | 20.69 | 2.54 |
| 04+333.38 | 156.83 | 65.00 | 75.76 | 10.76 | 1.32 |
| 04+490.21 | 52.50 | 65.00 | 65.23 | 0.23 | 0.33 |
| 04+542.71 | 48.32 | 80.47 | 67.54 | -12.93 | |
| 04+591.03 | 15.22 | 74.97 | 70.61 | -4.36 | |
| 04+606.25 | 10.74 | 80.00 | 71.45 | -8.55 | |
| 04+616.99 | 53.22 | 82.00 | 72.21 | -9.79 | |
| 04+670.21 | 257.26 | 79.26 | 75.40 | -3.86 | |
| 04+927.47 | 15.99 | 85.96 | 83.08 | -2.88 | |
| 04+943.46 | 156.42 | 88.00 | 83.51 | -4.49 | |



| | | | | | |
|-----------|--------|-------|-------|--------|------|
| 05+099.88 | 116.15 | 78.00 | 83.22 | 5.22 | |
| 05+216.03 | 53.52 | 80.86 | 80.77 | -0.09 | |
| 05+269.55 | 12.30 | 85.96 | 81.18 | -4.78 | |
| 05+281.84 | 73.32 | 90.91 | 81.60 | -9.31 | |
| 05+355.16 | 17.51 | 74.97 | 82.05 | 7.08 | 3.21 |
| 05+372.68 | 18.35 | 79.00 | 81.58 | 2.58 | 1.90 |
| 05+391.03 | 35.07 | 65.00 | 80.52 | 15.52 | 3.36 |
| 05+426.09 | 30.78 | 66.00 | 76.89 | 10.89 | 3.01 |
| 05+456.87 | 44.86 | 65.00 | 74.07 | 9.07 | 2.27 |
| 05+501.73 | 11.10 | 80.29 | 72.88 | -7.41 | |
| 05+512.83 | 11.98 | 74.97 | 72.99 | -1.98 | |
| 05+524.81 | 59.28 | 70.00 | 72.72 | 2.72 | 1.08 |
| 05+584.09 | 39.19 | 63.07 | 69.43 | 6.36 | 2.04 |
| 05+623.28 | 20.69 | 66.00 | 67.72 | 1.72 | 1.46 |
| 05+643.97 | 34.68 | 51.00 | 72.00 | 21.00 | 3.93 |
| 05+678.65 | 34.68 | 48.00 | 71.00 | 23.00 | 4.12 |
| 05+713.33 | 38.92 | 55.00 | 61.10 | 6.10 | 2.00 |
| 05+752.25 | 43.56 | 74.97 | 61.32 | -13.65 | |
| 05+795.81 | 24.53 | 72.00 | 64.10 | -7.90 | |
| 05+820.34 | 34.66 | 65.00 | 64.93 | -0.07 | |
| 05+855.00 | 31.44 | 70.00 | 65.82 | -4.18 | |
| 05+886.44 | 22.87 | 78.00 | 67.74 | -10.26 | |
| 05+909.31 | 16.20 | 75.00 | 69.33 | -5.67 | |
| 05+925.51 | 21.95 | 58.20 | 69.42 | 11.22 | 3.61 |
| 05+947.46 | 36.63 | 61.00 | 68.30 | 7.30 | 2.26 |
| 05+984.09 | 43.16 | 65.00 | 67.25 | 2.25 | 1.15 |
| 06+027.25 | 69.73 | 61.00 | 65.64 | 4.64 | 1.30 |
| 06+096.98 | 30.38 | 65.00 | 63.85 | -1.15 | |
| 06+127.35 | 51.24 | 80.87 | 65.28 | -15.59 | |
| 06+178.59 | 53.16 | 74.97 | 68.90 | -6.07 | |
| 06+231.76 | 6.41 | 77.00 | 71.83 | -5.17 | |
| 06+238.17 | 29.94 | 74.97 | 72.13 | -2.84 | |
| 06+268.10 | 51.84 | 86.93 | 74.13 | -12.80 | |
| 06+319.94 | 20.03 | 85.96 | 78.29 | -7.67 | |
| 06+339.98 | 204.62 | 91.03 | 79.82 | -11.21 | |
| 06+544.60 | 33.81 | 68.00 | 76.82 | 8.82 | 2.58 |
| 06+578.41 | 38.77 | 52.00 | 72.13 | 20.13 | 3.64 |
| 06+617.18 | 43.51 | 48.00 | 65.60 | 17.60 | 3.21 |
| 06+660.68 | 42.27 | 42.00 | 64.00 | 22.00 | 3.65 |
| 06+702.96 | 18.14 | 60.00 | 57.04 | -2.96 | |
| 06+721.10 | 20.03 | 63.99 | 57.27 | -6.72 | |
| 06+741.12 | 48.98 | 70.00 | 58.32 | -11.68 | |
| 06+790.10 | 38.00 | 65.76 | 61.28 | -4.48 | |
| 06+828.11 | 34.46 | 70.00 | 63.47 | -6.53 | |



| | | | | | |
|-----------|--------|-------|-------|--------|------|
| 06+862.57 | 29.27 | 74.97 | 66.05 | -8.92 | |
| 06+891.84 | 44.51 | 73.00 | 68.13 | -4.87 | |
| 06+936.35 | 33.55 | 74.97 | 70.56 | -4.41 | |
| 06+969.89 | 72.67 | 74.00 | 71.93 | -2.07 | |
| 07+042.56 | 39.39 | 70.66 | 72.67 | 2.01 | 1.14 |
| 07+081.95 | 9.19 | 68.00 | 72.02 | 4.02 | 3.34 |
| 07+091.14 | 24.22 | 63.99 | 71.64 | 7.65 | 2.84 |
| 07+115.36 | 34.00 | 65.00 | 70.34 | 5.34 | 2.00 |
| 07+149.36 | 36.52 | 60.00 | 70.00 | 10.00 | 2.64 |
| 07+185.88 | 269.51 | 56.00 | 67.30 | 11.30 | 1.03 |
| 07+455.39 | 30.95 | 45.00 | 70.00 | 25.00 | 4.54 |
| 07+486.34 | 30.95 | 46.00 | 70.00 | 24.00 | 4.45 |
| 07+517.28 | 32.02 | 65.00 | 53.99 | -11.01 | |
| 07+549.30 | 32.03 | 67.46 | 56.65 | -10.81 | |
| 07+581.33 | 129.93 | 84.30 | 60.61 | -23.69 | |
| 07+711.26 | 41.16 | 78.77 | 74.95 | -3.82 | |
| 07+752.42 | 42.52 | 88.32 | 78.19 | -10.13 | |
| 07+794.94 | 37.40 | 70.00 | 78.25 | 8.25 | 2.37 |
| 07+832.34 | 44.52 | 72.00 | 73.54 | 1.54 | 0.94 |
| 07+876.86 | 70.55 | 58.20 | 67.98 | 9.78 | 1.88 |
| 07+947.41 | 47.34 | 60.00 | 61.77 | 1.77 | 0.98 |
| 07+994.75 | 56.20 | 63.07 | 60.51 | -2.56 | |
| 08+050.95 | 40.78 | 65.00 | 61.64 | -3.36 | |
| 08+091.73 | 16.23 | 70.66 | 63.55 | -7.11 | |
| 08+107.96 | 34.38 | 70.00 | 64.46 | -5.54 | |
| 08+142.34 | 31.54 | 63.99 | 65.46 | 1.47 | 1.09 |
| 08+173.88 | 35.28 | 65.00 | 65.62 | 0.62 | 0.67 |
| 08+209.16 | 8.95 | 63.99 | 65.62 | 1.63 | 2.16 |
| 08+218.10 | 46.62 | 70.00 | 65.75 | -4.25 | |
| 08+264.72 | 15.13 | 63.99 | 66.21 | 2.22 | |
| 08+279.85 | 45.71 | 82.93 | 66.91 | -16.02 | |
| 08+325.56 | 20.59 | 82.00 | 70.83 | -11.17 | |
| 08+346.15 | 74.48 | 85.38 | 72.51 | -12.87 | |
| 08+420.63 | 27.12 | 65.00 | 74.39 | 9.39 | 2.97 |
| 08+447.75 | 26.92 | 67.00 | 73.28 | 6.28 | 2.44 |
| 08+474.67 | 61.06 | 69.10 | 72.56 | 3.46 | 1.20 |
| 08+535.73 | 79.53 | 72.00 | 71.74 | -0.26 | |
| 08+615.26 | 40.60 | 77.55 | 72.38 | -5.17 | |
| 08+655.86 | 191.17 | 87.96 | 74.60 | -13.36 | |
| 08+847.03 | 13.50 | 97.89 | 89.53 | -8.36 | |
| 08+860.52 | 290.23 | 95.44 | 90.34 | -5.10 | |
| 09+150.75 | 61.77 | 85.96 | 90.10 | 4.14 | 1.31 |

Fuente: Elaboración propia

Cabe indicar que la carretera en estudio para el análisis de la consistencia global, fue inicialmente dividida en tres subtramos, el primero que inicia en el kilómetro 00+00 al 03+00, el segundo del 03+00 al 05+00 y por último del 05+00 al 09+260, este criterio de subdivisión, se realizó en función a la topografía que presenta la vía, la pendiente longitudinal y las zonas urbanas.

A continuación, se detallará cada subtramo evaluado con el parámetro de consistencia de diseño global.

Primer subtramo, en estos 3 kilómetros primeros se puede observar:

- Que el 5.46% del tramo presenta consistencia aceptable.
- El 0.38% del tramo tiene una consistencia pobre.
- El 94.16 % del tramo presenta una consistencia buena.

Para un mejor entendimiento de los resultados antes mostrados, estos fueron detallados en un mapa, el cual se visualiza a continuación:

Imagen N° 42 Mapa de la consistencia Global del tramo 00+00 al 03+00



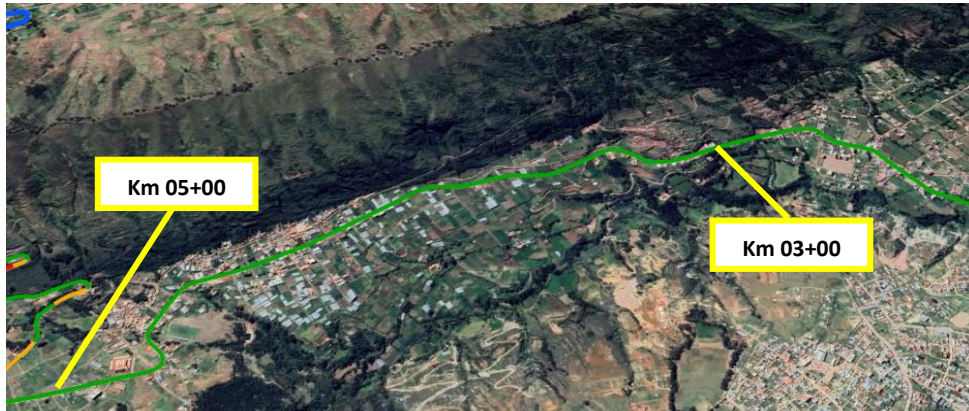
Fuente: Elaboración propia

Segundo subtramo, en estos 2 kilómetros se puede observar:

- Que el tramo no presenta consistencia pobre y aceptable. Al contrario, a esto, el tramo es de calificación buena.

Para una mejor interpretación sobre la evaluación de la consistencia, en el siguiente mapa se puede visualizar el resultado.

Imagen N° 43 Mapa de la consistencia Global del tramo 03+00 al 05+00

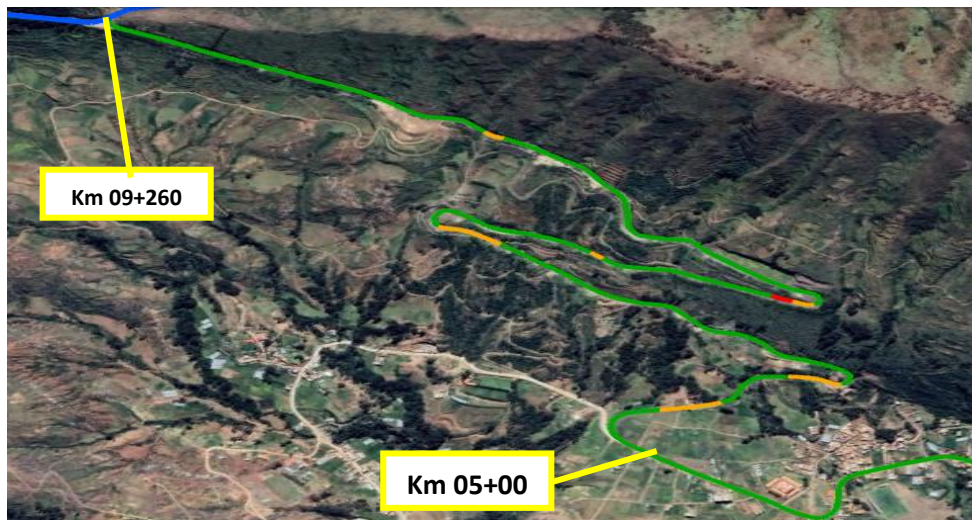


Fuente: Elaboración propia

Tercer subtramo, en estos 4.26 kilómetros se puede observar:

- De los 4,260 metros, se puede observar que el 92.57% es de consistencia buena, el 6.7% aceptable y 0.73% pobre.

Imagen N° 44 Mapa de la consistencia Global del tramo 05+00 al 09+260



Fuente: Elaboración propia

4.2.1. ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE INCIDENTES CON VÍCTIMAS EN CARRETERAS

Así mismo en su investigación Llopis-Castelló et al. (2018) también calibraron una SPF (Función de Estimación de la Siniestralidad) el cual sirve para estimar el número de accidentes con víctimas en carreteras

convencionales. Esta función, que combina el parámetro de consistencia propuesta con la exposición al riesgo, es la que se presenta a continuación:

$$y_{i,10} = e^{-6,6479 \cdot L^{1,02645} \cdot IMD^{0,86684} \cdot e^{0,14774 \cdot C}}$$

Donde $Y_{i,10}$ son los accidentes con víctima estimados en un tramo de carretera en 10 años; L la longitud del tramo de carretera (km); IMD la intensidad media diaria de tráfico (veh/día); y C el parámetro de consistencia (km/h).

Reemplazando los datos de entrada, se pudo obtener que el número de accidentes con víctimas en el tramo de estudio, para un periodo de 10 años es de 9.65.

Tabla N° 28 Estimación del número de incidentes del tramo de estudio

Llopis-Castelló et al. (2018)

| C (km/h) | Y i,10 |
|-----------------|---------------|
| 4.66 | 9.65 |

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el análisis de la consistencia de diseño de la vía mediante los métodos locales y globales, así mismo obtenido la predicción del número de víctimas mortales, se procederá a realizar la otra herramienta de evaluación de seguridad vial que está dada por el programa Irap, el cual se desarrolla a continuación:

4.3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA IRAP AL TRAMO DE ESTUDIO DE LA CARRETERA CU - 1103

Una vez obtenido las características geométricas y realizado la inspección visual del camino de estudio, como se muestra en los ítems 3.5, se empleó la metodología iRAP, en el software VIDA, codificándose los atributos viales, para así obtener la clasificación por estrellas, la estimación de siniestros y por último contramedidas a sitios inseguros. A continuación, se detallará el proceso desarrollado.

4.3.1. CODIFICACIÓN DE ATRIBUTOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Antes de iniciar con la codificación de atributos viales del camino en estudio, se realizó la creación de una cuenta en la plataforma iRAP – Vida, como se muestra en la siguiente imagen:

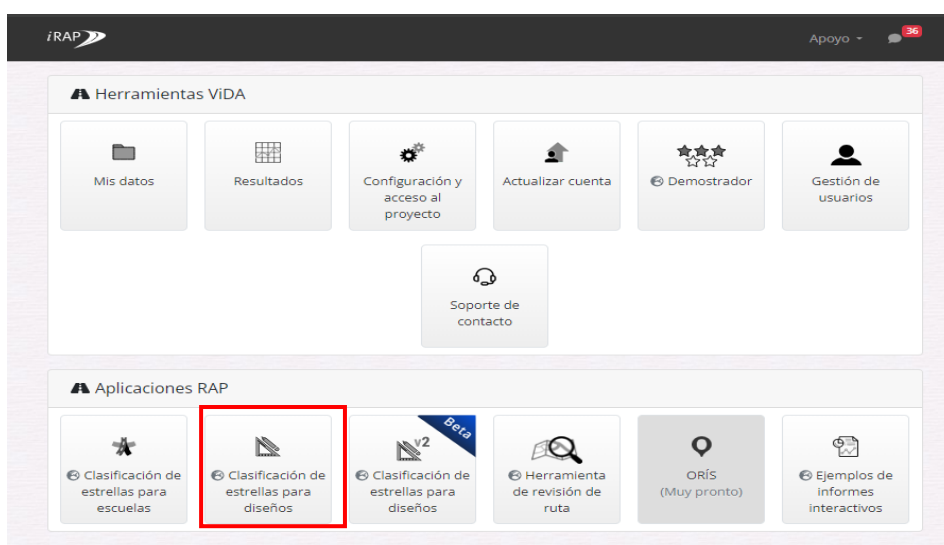
Imagen N° 45 Inicio de sesión con credenciales de VIDA



Fuente: Irap - VIDA.

Registrado el usuario y valido para realizar el proceso de codificación, se entró a la pestaña clasificación de estrellas para diseños en la ampliación RAP.

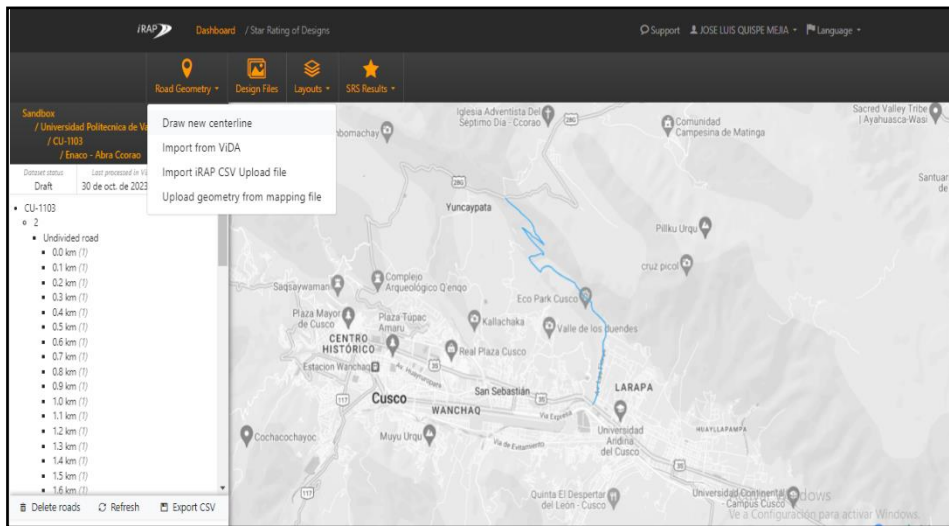
Imagen N° 46 Herramientas VIDA y aplicaciones RAP



Fuente: Irap - VIDA

Picado en la aplicación para el desarrollo de la clasificación de estrellas, se realizó la localización del tramo a trabajar, posteriormente se creó un alineamiento segmentado cada 100 metros, con el objetivo de obtener resultados fiables, cabe aclarar que el sentido fue como punto de inicio en la zona denominado Enaco y fin en el Abra Ccorao.

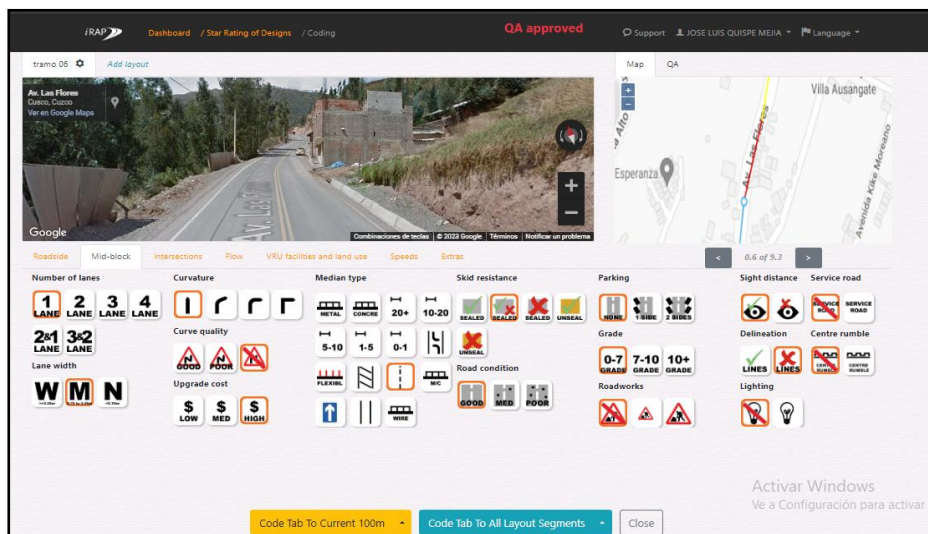
Imagen Nº 47 Creación del alineamiento de la vía.



Fuente: Irap - VIDA.

Una vez creado el alineamiento en el programa VIDA y finalizado la segmentación, se procedió a codificar cada uno de los atributos viales en cada interfaz de las 7 pestañas (Roadside, Mid-block, interesections, Flow, VRU facilities andland use, Speeds y Extras).

Imagen Nº 48 Atributos viales del camino de estudio



Fuente: Irap - VIDA.



El reporte de condición detallado que se presentará a continuación, ofrece el resumen de los atributos registrados en el conjunto de datos seleccionados. En estos datos se muestran la longitud y el porcentaje, por ejemplo, para el conjunto de datos del borde de camino, los peligros para borde de la vía a menos de 1 m de distancia están presentes en 2.80 kilómetros el cual representa el 30% de la red evaluada.

A continuación, mostraré el reporte procesado a detalle de la condición de la vía por el software VIDA - Irap del borde del camino como ejemplo, los demás reportes serán presentados en los anexos.

Tabla N° 29 Condiciones detalladas del borde de la carretera

| Severidad en la carretera: distancia del lado del conductor | kilómetros | % |
|--|-------------------|----------|
| <i>0 a <1m</i> | 2,80 | 30 |
| <i>1 a <5m</i> | 5 | 54 |
| <i>5 a <10m</i> | 1,50 | 16 |
| <i>>= 10m</i> | 0 | 0 |
| Gravedad en la carretera: objeto del lado del conductor | kilómetros | % |
| <i>Barrera de seguridad - metálica</i> | 0,50 | 5 |
| <i>Barrera de seguridad - hormigón</i> | 0 | 0 |
| <i>Barrera de seguridad - apta para motocicletas</i> | 0 | 0 |
| <i>Barrera de seguridad - cable metálico</i> | 0 | 0 |
| <i>Cara vertical agresiva</i> | 0 | 0 |
| <i>Pendiente ascendente - gradiente de vuelco</i> | 1 | 11 |
| <i>Pendiente ascendente - pendiente sin vuelco</i> | 0,40 | 4 |
| <i>Zanja de drenaje profundo</i> | 2.1 | 23 |
| <i>Pendiente descendente</i> | 4.2 | 45 |
| <i>Acantilado</i> | 0,10 | 1 |
| <i>Árbol >=10cm de diámetro.</i> | 0 | 0 |
| <i>Letrero, poste o poste >= 10 cm de diámetro.</i> | 0,10 | 1 |
| <i>Estructura/puente o edificio rígido</i> | 0,70 | 8 |
| <i>Estructura o edificio semirrígido</i> | 0,20 | 2 |
| <i>Extremo de la barrera de seguridad desprotegido</i> | 0 | 0 |



| | | |
|---|-------------------|----------|
| Grandes rocas ≥ 20 cm de altura | 0 | 0 |
| Ninguno | 0 | 0 |
| Severidad en la carretera: distancia del lado del pasajero | kilómetros | % |
| 0 a <1m | 9 | 97 |
| 1 a <5m | 0,20 | 2 |
| 5 a <10m | 0,10 | 1 |
| $\geq 10m$ | 0 | 0 |
| Gravedad en la carretera: objeto del lado del pasajero | kilómetros | % |
| Barrera de seguridad - metálica | 0,20 | 2 |
| Barrera de seguridad - hormigón | 0 | 0 |
| Barrera de seguridad - apta para motocicletas | 0 | 0 |
| Barrera de seguridad - cable metálico | 0 | 0 |
| Cara vertical agresiva | 0 | 0 |
| Pendiente ascendente - gradiente de vuelco | 0 | 0 |
| Pendiente ascendente - pendiente sin vuelco | 0 | 0 |
| Zanja de drenaje profundo | 8.9 | 96 |
| Pendiente descendente | 0,20 | 2 |
| Acantilado | 0 | 0 |
| Árbol ≥ 10 cm de diámetro. | 0 | 0 |
| Letrero, poste o poste ≥ 10 cm de diámetro. | 0 | 0 |
| Estructura/puente o edificio rígido | 0 | 0 |
| Estructura o edificio semirrígido | 0 | 0 |
| Extremo de la barrera de seguridad desprotegido | 0 | 0 |
| Grandes rocas ≥ 20 cm de altura | 0 | 0 |
| Ninguno | 0 | 0 |
| Bandas sonoras para hombros | kilómetros | % |
| No presente | 9.3 | 100 |
| Presente | 0 | 0 |
| Banquina pavimentada - lado del conductor | kilómetros | % |
| Ancho ($\geq 2,4m$) | 0 | 0 |
| Mediano ($\geq 1,0$ ma < 2,4 m) | 0 | 0 |
| Estrecho (≥ 0 ma < 1,0 m) | 9.3 | 100 |
| Ninguno | 0 | 0 |
| Banquina pavimentada - lado del pasajero | kilómetros | % |

| | | |
|----------------------------------|------|----|
| Ancho ($\geq 2,4m$) | 0 | 0 |
| Mediano ($\geq 1,0 m < 2,4 m$) | 0 | 0 |
| Estrecho ($\geq 0 m < 1,0 m$) | 9.2 | 99 |
| Ninguno | 0,10 | 1 |

Fuente: Irap - VIDA.

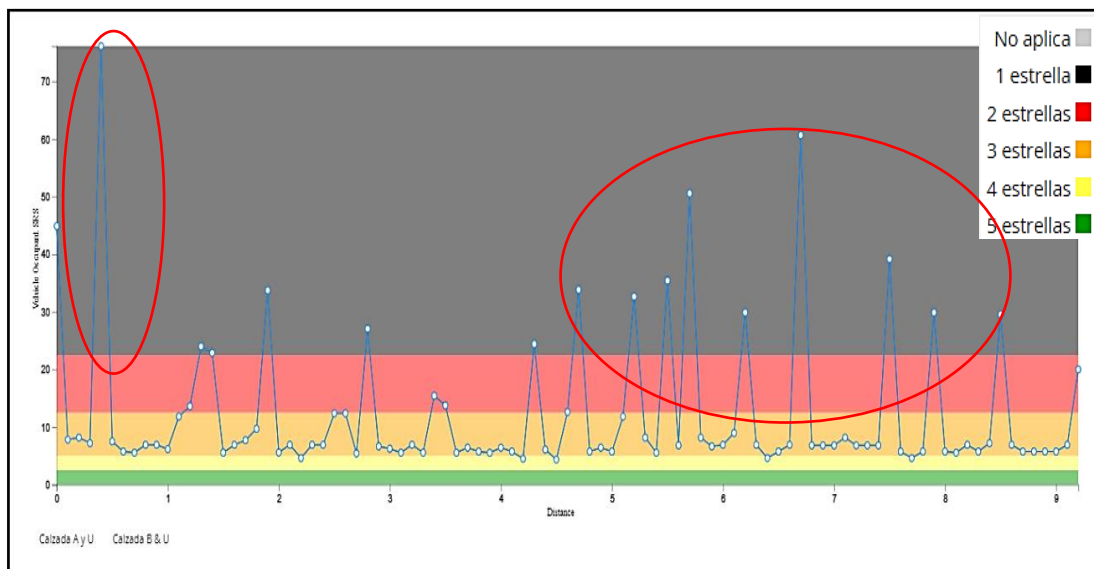
Una vez introducido los atributos para cada tramo de 100 metros en el tramo, se procede a procesar la calificación por estrellas.

4.3.2. CLASIFICACIÓN DE ESTRELLAS CRUDAS Y ATENUADAS

De las recomendaciones detalladas en la ficha técnica de metodología del iRAP #8 clasificación por estrellas suavizada, obtenidas del sitio web oficial de iRAP www.irap.org, el puntaje de clasificación por estrellas (SRS), se obtiene de la codificación de atributos por cada segmento realizada a 100 metros, que estos a su vez sirven para construir un mapa vial denominado en “crudo”, sin embargo, al mostrar como tal estos resultados, estos no son significativos, a fin de producir un mapa vial con resultados significativos, el programa VIDA realiza el suavizado el cual representa el promedio de la puntuación en distancias más largas.

En la siguiente imagen, se muestra el perfil de Distancia vs Clasificación por Estrellas en “crudo” (segmentos cada 100 metros).

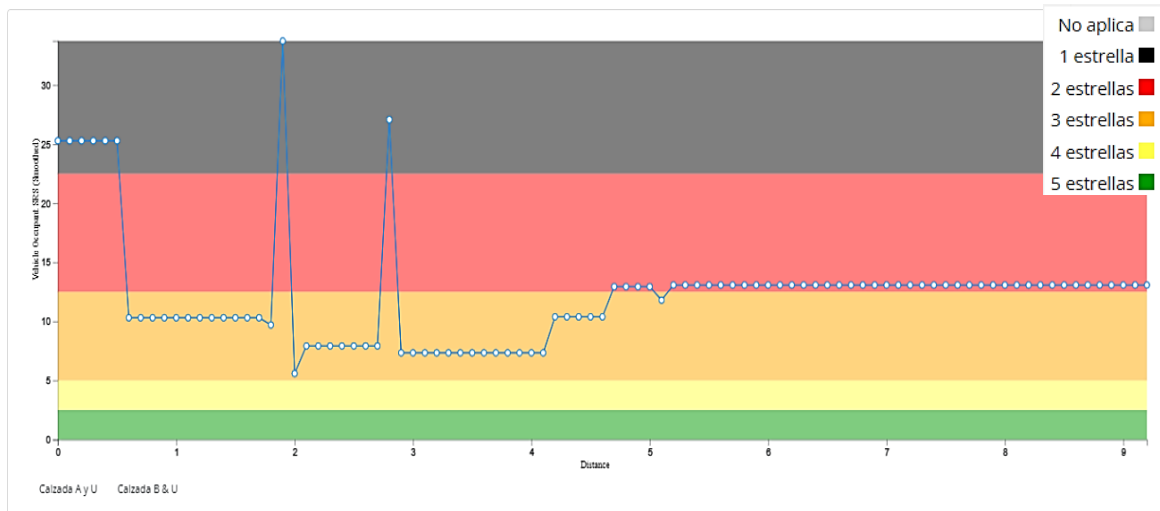
Imagen N° 49 Perfil de Distancia vs Clasificación de Estrellas en crudo para vehículo



Fuente: Irap - VIDA.

En la imagen anterior se puede visualizar picos altos de puntuación (los que están enmarcados dentro de los círculos), los cuales para el análisis de calificación de estrellas de ocupantes en vehículos no es significativo, esto debido a la disparidad que presenta, frente a esto el programa VIDA realiza el suavizado, en donde promedia esta dispersión, obteniéndose la siguiente gráfica:

Imagen Nº 50 Perfil de Distancia vs Clasificación de Estrellas suavizado para vehículo



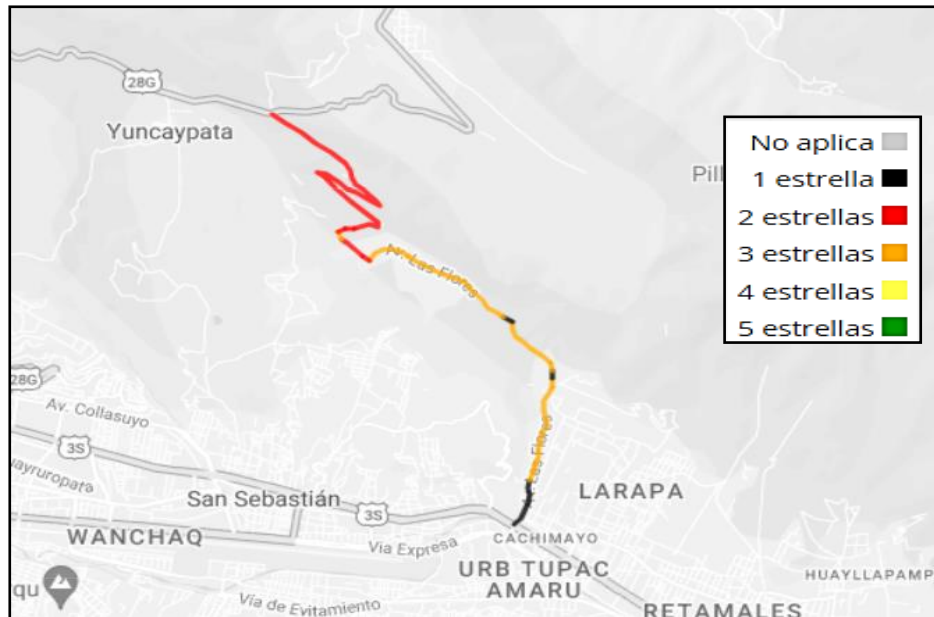
Fuente: Irap - VIDA.

Del gráfico se puede apreciar que 8 tramo de 100 metros, entre el kilómetro (00+00 al 03+00) se encuentran con 1 estrella, mientras que gran parte del kilómetro 04+700 aproximadamente hasta el final de la vía, presentan 3 estrellas.

Se aclarar que los gráficos mostrados líneas arriba, corresponden al perfil Distancia vs Clasificación por Estrellas de ocupantes de vehículos, referente a los resultados de ocupantes motociclistas, peatones y ciclistas, se detallarán en los anexos.

Generado los perfiles de clasificación por estrellas, a continuación, se muestra el mapa de clasificación de estrellas del tramo de estudio:

Imagen N° 51 Mapa de clasificación de estrellas del tramo



Fuente: Irap - VIDA.

Del mapa de clasificación por estrellas, se puede observar que 3 sub tramos presenta clasificación de 1 estrella el cual se detallada con el color negro y se encuentran entre las progresivas (00+00 – 00+590, 01+900 – 02+000, 02+800 – 02+900) respectivamente, 2 sub tramos que presentan una clasificación de 2 estrellas demarcado con el color rojo y se encuentran en las progresivas (04+700 05+100, 05+200 – 09+200) respectivamente, y por último 4 sub tramos que presenta clasificación 3 estrellas detallados con el color naranja, ubicadas en las progresivas (00+590 – 01+900, 02+000 – 02+800, 02+900 – 04+700, 05+200 – 09+200) respectivamente.

4.3.3. BANDAS Y COLORES DE LA CALIFICACIÓN POR ESTRELLAS

Las bandas que se muestran a continuación, representan la puntuación de calificación de estrellas en función a los componentes de probabilidad y severidad del riesgo de accidentes por tipo de usuario, es decir que los puntajes para los usuarios motorizados de la vía se basan en accidentes frontales, por salida del camino y en intersecciones; por otro lado, los puntajes de los peatones se basan en accidentes que se dan al caminar a lo largo de la vía o al cruzarla; y para los ciclistas los puntajes se basan en accidentes a lo largo de la vía y en intersecciones.

Tabla N° 30 Banda de clasificación de estrellas

| Calificaciones de estrellas | Ocupante del vehículo | | Motociclista | | Peatonal | | Ciclista | |
|-----------------------------|-----------------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|
| | Longitud (km) | Por ciento | Longitud (km) | Por ciento | Longitud (km) | Por ciento | Longitud (km) | Por ciento |
| 3 estrellas o mejor | 4,00 | 43,01% | 2,10 | 22,58% | 0,70 | 7,53% | 4,30 | 46,24% |
| 5 estrellas | 0,00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% |
| 4 estrellas | 0,00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% |
| 3 estrellas | 4,00 | 43,01% | 2,10 | 22,58% | 0,70 | 7,53% | 4,30 | 46,24% |
| 2 estrellas | 4,50 | 48,39% | 6,30 | 67,74% | 0,70 | 7,53% | 4,60 | 49,46% |
| 1 estrella | 0,80 | 8,60% | 0,90 | 9,68% | 0,10 | 1,08% | 0,20 | 2,15% |
| No aplica | 0,00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 7,80 | 83,87% | 0,20 | 2,15% |
| Totales | 9,30 | 100,00% | 9,30 | 100,00% | 9,30 | 100,00% | 9,30 | 100,00% |

Fuente: Irap - VIDA.

De la banda de calificación por estrella antes mostrada se puede mencionar que:

- El 56.99 % de la vía es considerado como insegura para ocupante de vehículo, mientras un 43.01 % de la vía es considerado como aceptable o moderado para el mismo usuario.
- El 77.42 % de la vía es considerado como insegura para ocupante de motociclistas, mientras un 22.58 % de la vía es considerado como aceptable o moderado para el mismo usuario.



- El 8.61 % de la vía es considerado como insegura para peatones, mientras el 7.53 % es considerado como aceptable o moderado y el 83.87 % no aplica para este tipo de usuarios.
- El 51.61 % de la vía es considerado como insegura para ciclistas, mientras el 46.24 % es considerado como aceptable o moderado y el 2.15 % no aplica para este tipo de usuarios.

La vía en estudio de acuerdo a la banda de calificación por estrellas, nos indica que los usuarios (ocupantes de vehículos, motociclistas, peatones y ciclistas) presentan mayor porcentaje de riesgo y probabilidad de un incidente, esto debido a que la calificación muestra como insegura con “1 a 2 estrellas”, frente a estos datos se puede aseverar que necesita una intervención urgente con una mayor inversión, para reducir estos riesgos.

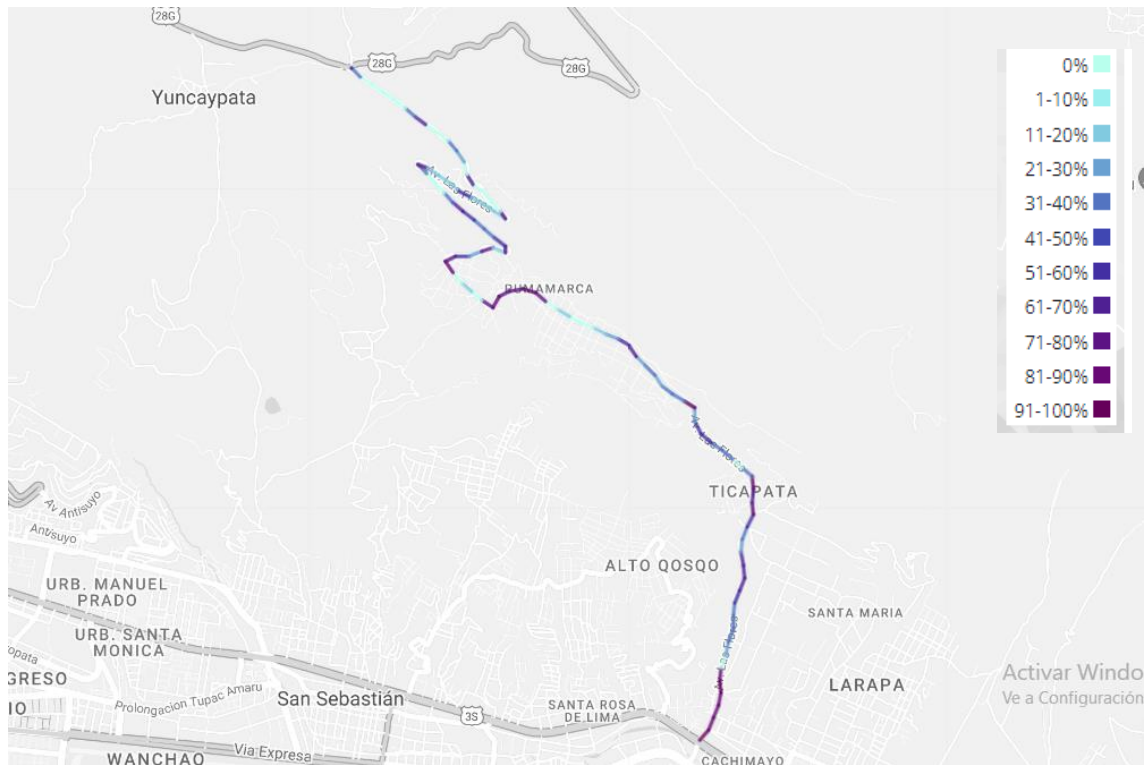
4.3.4. ESTIMACIÓN DE MUERTOS Y LESIONADOS GRAVES

Para determinar u obtener, planes de inversión para vías más seguras, el programa VIDA evalúa los beneficios y los costes de la aplicación de estas contramedidas, para lo cual como dato principal requiere la estimación del número de víctimas mortales y heridos graves (FSI) que se producen en cada segmento de 100 metros de la vía existente en las condiciones actuales.

Esta estimación debe ser calibrada a partir de dos pasos, el primero es determinando el número de muertes en la red en un periodo no menor a tres años, y el segundo paso es distribuyendo las muertes en grupos de usuarios y luego dividirlos en tipos de accidentes (esta distribución se puede realizar en porcentajes o número de víctimas), finalmente una vez calibrado estos datos, se obtendrá dos tipos de resultados que son estimación de víctimas mortales y heridos graves en tabla y mapa.

Para el caso del presente trabajo, se calibraron los datos de fatalidades a partir de la estadística que muestra el Observatorio Nacional de Seguridad Vial de Perú del periodo 2015 al 2021, obteniendo los resultados procesados en el Irap-vida como se muestran en las siguientes imágenes:

Imagen N° 52 Estimación de FSI de ocupantes de vehiculó en mapa



Fuente: Irap - VIDA.

Del resultado mostrado en la imagen (Mapa de estimación MLG), sobre la estimación del número de víctimas mortales y heridos graves para ocupantes de vehículo en mapa, se puede indicar que:

- El software VIDA muestra la probabilidad de un FSI, en el mapa mediante porcentaje y color, para tramos sin probabilidad de FSI este estará demarcado de color celeste y tendrá como porcentaje 0%, para aquellos tramos que tenga mediana probabilidad estará demarcado de color azul el cual representara el 50% y para tramos con alta probabilidad estará demarcado de color lila intenso y representará el 100%.
- La vía en estudio, presenta tramos con mayor grado de probabilidad de un FSI (61 al 100% con colores de azul a lila intenso) en curvaturas horizontales, y tramos con menor probabilidad (0 al 32% de color celeste) en tangentes. Ahora bien, estos resultados tienen correlación con lo inspeccionado en la vía, debido a que la gran mayoría de curvas horizontales no presentan radios armoniosos, no tiene visibilidad adecuada, las barreras de seguridad no presentan continuidad y finalizan con una cola de pez, etc.

*Imagen N° 53 Estimación de FSI por tipo de ocupante en cuadro***Ocupantes Motociclistas Peatones Ciclistas Total**
de Vehiculó

| | | | | |
|------|----|-----|-----|------|
| 28.1 | 11 | 5.5 | 5.5 | 50.1 |
|------|----|-----|-----|------|

Fuente: Irap - VIDA.

La tabla de estimación de MLG, muestra que el total de víctimas mortales y heridos graves en el tramo en un periodo de un año 50.1, lo cual representa 28.1 para ocupantes de vehículo, 11 motociclistas, 5.5 peatones y 5.5 ciclistas.

Ahora bien, si se desea tener solo de víctimas mortales o heridos graves, el programa iRAP VIDA, también muestra estos datos, el cual se detallan a continuación:

*Tabla N° 31 Estimación de víctimas mortales***Ocupantes de Vehiculó Motociclistas Peatones Ciclistas Total**

| | | | | |
|-----|---|-----|-----|-----|
| 2.4 | 1 | 0.5 | 0.5 | 4.6 |
|-----|---|-----|-----|-----|

*Fuente: Irap - VIDA**Tabla N° 32 Estimación de heridos graves***Ocupantes de Vehiculó Motociclistas Peatones Ciclistas Total**

| | | | | |
|------|----|---|---|------|
| 25.5 | 10 | 5 | 5 | 45.6 |
|------|----|---|---|------|

Fuente: Irap - VIDA

Para los resultados de la tabla N°21, se puede decir que 2.4 de ocupantes de vehículo, 1 motociclista, 0.5 peatón, 0.5 ciclista serían las víctimas mortales en el tramo por un periodo de 1 año.

Mientras que para los resultados de la tabla N°22, se puede decir que 25.5 de ocupantes de vehículo, 10 motociclista, 5 peatón, 5 ciclista serían las víctimas mortales en el tramo por un periodo de 1 año.



CAPITULO V.- RESULTADOS Y SOLUCIONES DE LA EVALUACIÓN

5.1. SOLUCIONES Y MEJORAS EN LA SEGURIDAD VIAL DEL TRAMO EVALUADO

El tramo en estudio está ubicado dentro de un área con características topográficas que cambia a lo largo de la vía que discurre a través de zonas planas, onduladas, accidentadas y muy accidentadas. Es así evaluado su seguridad vial a partir de las metodologías propuestas por Llopis-Castelló et al. (2018) y el software iRAP-VIDA, se encontró diferentes puntos y tramos pobres, así mismo la estimación del número de incidentes con víctimas tiene correlación con los reportes del instituto de seguridad vial de Perú, ante ello a fin de poder cumplir los objetivos del presente trabajo, el cual es proponer contramedidas a estos puntos conflictivos, a continuación se presentara un cuadro resumen de los resultados obtenidos por ambos métodos:

Tabla N° 33 Cuadro resumen de la seguridad vial del tramo

| METODOLOGÍAS | Modelo de consistencia de Llopis-Castelló et al. (2018) | | iRAP |
|---|---|----------------|-------------|
| | Local | Global | VIDA |
| Puntos de Conflicto | - 00+379.35 | - 00+379.35 al | - 00+00 al |
| | - 00+799.31 | 00+418.16 | 00+600 |
| | - 02+510.80 | - 07+185.88 al | - 04+700 al |
| | - 05+391.03 | 07+486.34 | 05+100 |
| | - 05+643.97 | | - 05+200 al |
| | - 05+678.65 | | 09+260 |
| | - 06+578.41 | | |
| | - 06+617.18 | | |
| | - 06+660.68 | | |
| | - 07+455.39 | | |
| - 07+486.34 | | | |
| Total de longitud | 489.289 m | 392.909 m | 5,060 m |
| Estimación número de incidentes con víctimas. | 9.65 | | 50.1 |

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la metodología desarrollada por Llopis Castello, para los modelos de consistencia local se encontró 11 puntos conflictivos, lo cual corresponden a

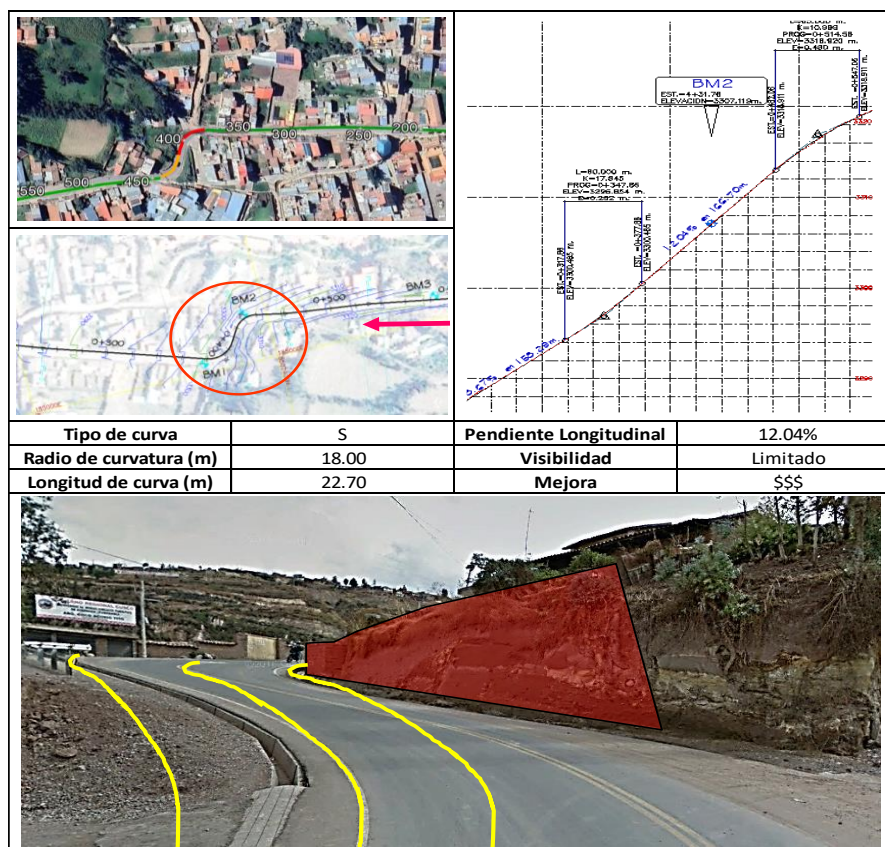
elementos geométricos particulares, en el caso de la consistencia global se encontraron 2 tramos del que se derivan a la combinación de 2 a más elementos geométricos. Para el caso de la metodología iRAP se encontraron 3 tramos conflictivos con un total de 5,060 metros, esto quiere decir más del 50% de la carretera presenta inseguridad.

5.1.1. SOLUCIONES PARA LOS MODELOS DE CONSISTENCIA DEL DISEÑO

Identificado los puntos conflictivos, como se muestra en el cuadro resumen, a continuación, se pasará a desarrollar las soluciones para cada metodología desarrollada, como primero será el caso de los modelos de Consistencia Local y Global propuestos por Llopis Castello.

- **Kilómetro 00+379.35 punto con consistencia de pobre**

Imagen N° 54 Inconsistencia local kilómetro 00+379.25



Fuente: Elaboración propia.

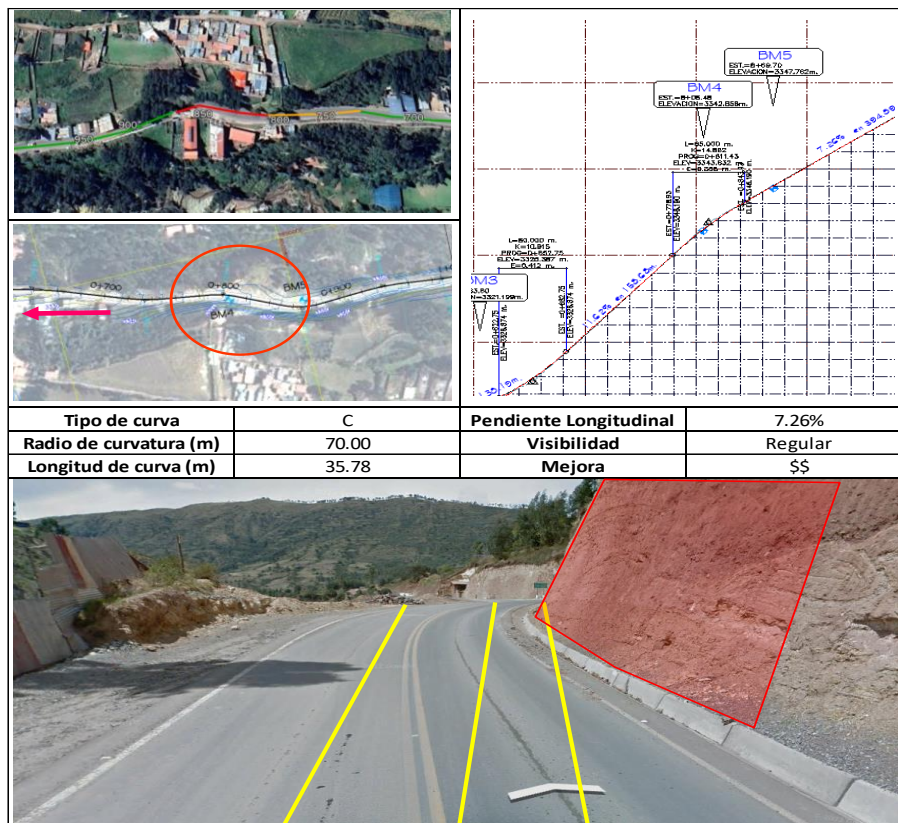
Este sector se encuentra dentro de una zona urbana con topografía ondulada a accidentada de tangentes y curvas cortas, cuya plataforma o superficie de

rodadura tiene 6.00 metros de ancho, existen a lo largo del sector pequeños cortes de explanaciones con un promedio de altura de 2.00 m. la pendiente es totalmente empinada.

Las soluciones para el presente punto conflictivo son:

- Realizar el cortado del talud de la margen derecha de la vía, con el objetivo de mejorar la visibilidad.
 - La modificar el alineamiento horizontal, es decir incrementar los radios de la curva en “S” llamados también contracurvas.
 - Implementar señales horizontales y verticales.
 - Implementar biondas de seguridad.
 - Implementar alumbrado público.
 - Recubrir las cunetas laterales.
- **Kilómetro 00+799.31 punto con consistencia de pobre**

Imagen N° 55 Inconsistencia local kilómetro 00+379.25



Fuente: Elaboración propia.

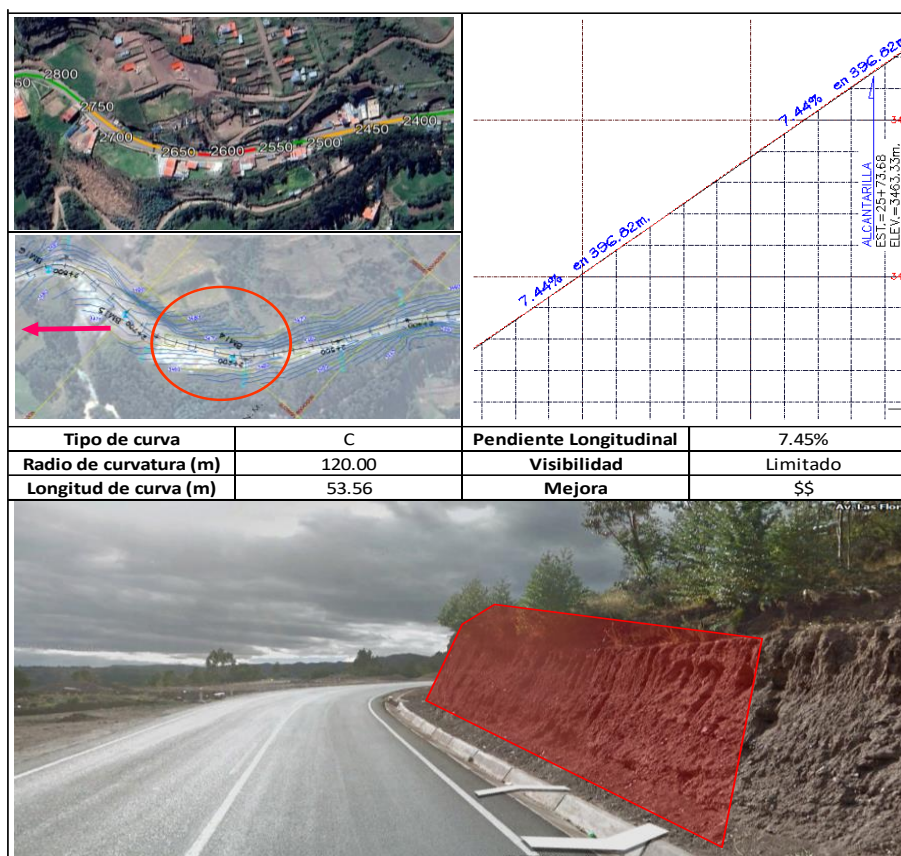
Este sector de acuerdo a la evaluación de la consistencia, es considerado una zona pobre, y es debido a la curva que presenta un radio mínimo, verificando y tratando de observar del porqué de esta configuración geométrica, la respuesta

sería que los proyectistas de entonces, por un factor económico evitaron realizar más corte al talud existente de la margen derecha de la vía a todo esto, también se puede apreciar una topografía ondulada a accidentada con pendientes empinadas de más de 7%.

Las soluciones para el presente punto conflictivo serían:

- Mejorar el alineamiento horizontal, convirtiendo la curva de 70 m radio a una longitud de tangente.
- Mejorar la visibilidad de los conductores, realizando el corte del talud de la margen derecha de la vía.
- Implementar biondas de seguridad debido a que existen, como muestra en la imagen barrancos de más de 10 metros.
- Recubrir las cunetas laterales.
- **Kilómetro 02+510.00 punto con consistencia de pobre**

Imagen Nº 56 Inconsistencia local kilómetro 02+510.00



Fuente: Elaboración propia.

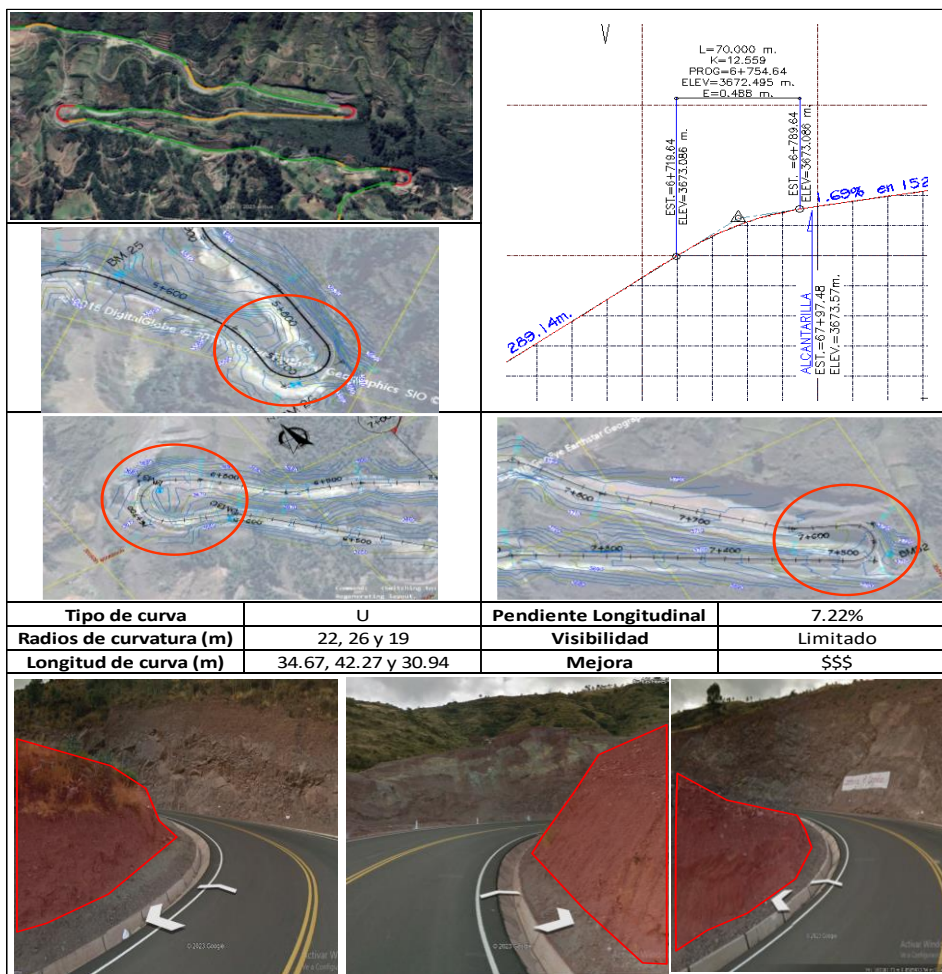
Este sector es considerado bajo la evaluación de la consistencia, como un punto pobre, y es debido al radio de curvatura que presenta, así mismo la topografía

ondulada a accidentada, con de pendientes longitudinales de más del 7%, así mismo se visualiza que existe un talud al margen derecho de la vía, que limita la visibilidad de los conductores.

Las soluciones para el presente punto conflictivo serian:

- Realizar el corte de talud, para así mejorar la visibilidad de los conductores.
- Implementar biondas de seguridad, esto debido a que se presenta una depresión de más de 5 metros, en la margen izquierda de la vía.
- Implementar señalización horizontal y vertical, como por ejemplo marcadores Chevron, postes de guía, etc.
- Recubrir las cuentas laterales.
- **Kilómetros 05+643.97, 05+678.65, 06+578.41, 06+617.18, 06+660.68, 07+455.39 y 07+486.34 punto con consistencia de pobre**

Imagen N° 57 Inconsistencia local kilómetro 05+643.97, 05+678.65, 06+578.41, 06+617.18, 06+660.68, 07+455.39 y 07+486.34



Fuente: Elaboración Propia.



Estos sectores presentan consistencia de diseño más críticos de toda la vía, esto debido, a que están dentro de una zona con topografía muy accidentada, cuya grados de curvatura son de 22, 26 y 27 metros respectivamente, así mismo el tipo de curva es en “U”, es decir son curvas de desarrollo el cual tiene como objeto al ser diseñado alcanzar cotas más altas en una reducida longitud de tramo, así mismo la pendiente longitudinal es empinada con un valor de 7.22%, sobre la visibilidad podemos indicar que no presenta, hay carencia de señalización, barreras de seguridad discontinuos y cunetas laterales expuestos

Las soluciones a corto plazo para estos puntos conflictivo serian:

- El corte del talud de los radios internos, para así mejorar la visibilidad.
- Otro aspecto sería la implementación de señales verticales como son los Chevron, postes de guía, etc.
- Implementar biondas de seguridad.
- Recubrir las cunetas laterales.
- Otro aspecto que sería eficiente, pero ocasionaría un costo muy elevado sería la modificación del alineamiento horizontal dejando de lado las curvas de desarrollo.

Una vez finalizado las soluciones para la evaluación de la consistencia, ahora pasaremos a los propuestos para el iRAP – VIDA.

5.1.2. PARA EL CASO DE LOS RESULTADOS MOSTRADOS POR EL IRAP

La implementación de un plan de inversiones para vías más seguras, desarrolladas por el mismo software iRAP llamado también VIDA, propone soluciones para aquellos tramos que presenta calificación de “1 y 2” estrellas tomando en consideración los siguientes criterios:

- Se prueban los “Gatilladores”, es decir verifica el puntaje de la clasificación de estrellas, los atributos viales y el flujo vehicular.
- Toma en consideración la estimación de muertos y lesionados graves.

- Cada medida de mejoramiento está sujeta a una evaluación económica.
- Cada medida está sujeta a una longitud mínima.
- Las medidas de mejoramiento se calculan en función al tipo de accidente.

Una vez evaluado cada atributo vial en un tramo de 100 m, el iRAP – VIDA desarrolla conjuntamente con los criterios antes mencionados las siguientes soluciones llamadas también, como planes de inversión para vías más seguras, el cual se detalla en el siguiente cuadro:

Tabla N° 34 Plan de inversión para la vía evaluada

| SRIP MONEDA: S/. PEN - PERIODO DE ANÁLISIS: 20 AÑOS | | | | | | |
|---|-------------------|--|---|----------------|---|--|
| Contramedita | Longitud / Sitios | Muertos y Lesionados graves Prevenidos | Valor Presente Total de los beneficios de seguridad | Costo estimado | Costo por Muertos Y Lesionados Grave salvados | Programa de Relación Costo Beneficio BCR |
| Mejorar la delineación | 1,00 kilómetros | 8.00 | 160,508.00 | 80,254.00 | 10,031.75 | 2.00 |
| Mejorar la calidad de las instalaciones para peatones | 2 sitios | 5.00 | 240,660.00 | 120,330.00 | 24,066.00 | 2.00 |
| Alumbrado público (intersección) | 7 sitios | 35.00 | 351,750.00 | 70,350.00 | 2,010.00 | 5.00 |
| carril de adelantamiento | 3,40 kilómetros | 26.00 | 15,002,100.00 | 2,500,350.00 | 96,167.31 | 6.00 |
| vallado peatonal | 0,60 kilómetros | 5.00 | 178,800.00 | 22,350.00 | 4,470.00 | 8.00 |
| Delineación y señalización (intersección) | 2 sitios | 31.00 | 292,500.00 | 32,500.00 | 1,048.39 | 9.00 |
| Barreras en carretera - lado del pasajero | 8,80 kilómetros | 90.00 | 10,742,688.00 | 1,193,632.00 | 13,262.58 | 9.00 |
| Mejorar la delineación de la curva. | 2,40 kilómetros | 47.00 | 302,500.00 | 30,250.00 | 643.62 | 10.00 |
| Resistencia al deslizamiento (camino pavimentado) | 6,50 kilómetros | 200.00 | 6,250,000.00 | 625,000.00 | 3,125.00 | 10.00 |

| | | | | | | |
|--|-----------------|---------------|-----------------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Distancia de visión (eliminación de obstrucciones) | 0,10 kilómetros | 1.00 | 300,000.00 | 25,000.00 | 25,000.00 | 12.00 |
| Barreras en carretera - lado del conductor | 8,80 kilómetros | 9.00 | 91,909,664.00 | 1,193,632.00 | 132,625.78 | 77.00 |
| Moneda: S/. PEN | | 457.00 | 125,731,170.00 | 5,893,648.00 | 312,450.42 | 21.33 |

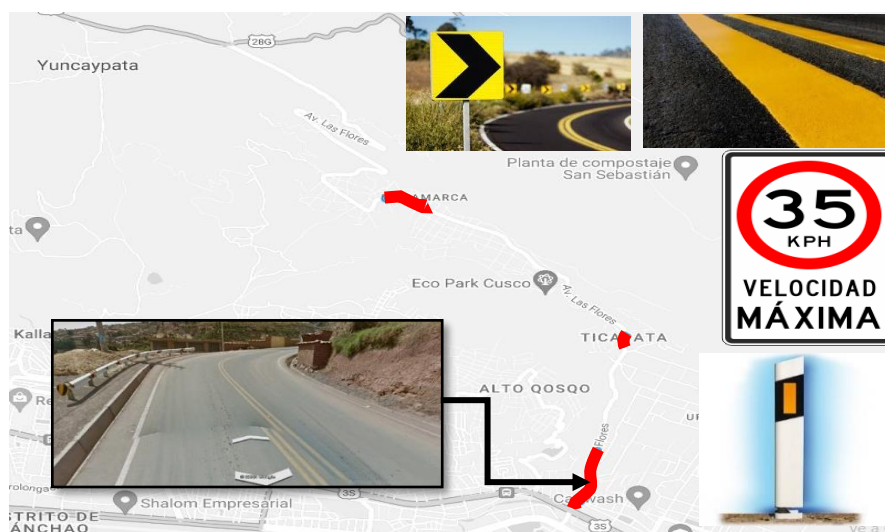
Fuente: Irap - VIDA

* BCR: Este mecanismo se utiliza para optimizar prioridades de inversión para un presupuesto en particular - aquellas medidas de mejora que no generan una RBC que supere el límite de RBC (Umbral de la relación beneficio costo) no se incluyen en el SRIP (Plan de Inversión para Vías Más Seguras).

Del cuadro antes mostrado sobre el Plan de inversión en carreteras más seguras se puede indicar que, se propusieron 11 soluciones que en conjunto tienen un costo de S/. 5,893,648.00 soles peruanos destinados a salvar la vida de 457 personas, obteniendo así una relación costo – beneficio de 21.33, el cual se encuentra dentro del umbral de la relación beneficio costo (RBC). En adición al plan de inversión propuesto, el software Irap posibilita determinar de manera puntual la localización de cada una de las soluciones propuestas, de manera que es posible ubicar todas ellas y sobre todo implementar las soluciones particulares para los tramos críticos de la vía en estudio. A continuación, se desarrollará una descripción de cada contramedida:

5.1.2.1. MEJORAMIENTO DE LA DELINEACIÓN

Imagen N° 58 Mejoramiento de las delineaciones en el tramo de estudio.



Fuente: Irap – VIDA
Elaboración propia.



Los tratamientos de demarcación del centro y de los bordes ayudan a los conductores a juzgar su posición en la carretera y brindan consejos sobre las condiciones que se avecinan. Los tratamientos de demarcación son especialmente útiles cuando la visibilidad puede empeorar (por ejemplo, debido a la lluvia, la niebla o la oscuridad) y en curvas pronunciadas.

Hay muchos tratamientos de demarcación disponibles, y estos deben usarse de manera uniforme a lo largo de una ruta o red de carreteras.

Ejemplos de tratamientos de demarcación incluyen:

- **Marcado de línea**

El marcado de líneas pintadas es relativamente barato. Las líneas centrales se pueden utilizar para desalentar los adelantamientos o el 'desviarse' accidentalmente del carril. Las líneas de borde ayudan a los conductores a juzgar la alineación de la carretera y pueden reducir los choques fuera de la carretera. El marcado de líneas también es efectivo para reducir el daño del hombro y, por lo tanto, para reducir los costos de mantenimiento. Bandas sonoras o el marcado de líneas perfiladas aplicado como línea de borde o línea central puede ser efectivo para reducir los choques frontales y que se salen de la carretera, particularmente los choques relacionados con la fatiga del conductor.

- **Marcadores de pavimento retrorreflectantes (RRPM)**

Los marcadores de pavimento retrorreflectantes o los captafaros ("ojos de gato") se utilizan generalmente junto con la señalización de líneas pintadas para advertir a los conductores sobre cambios en la alineación en el camino por delante. Los RRPM son particularmente útiles en la oscuridad o durante el clima húmedo cuando el marcado de líneas se vuelve difícil de ver.

- **Postes de guía**

Los postes de guía ayudan al usuario de la carretera al indicar la alineación de la carretera por delante, especialmente en las curvas horizontales y verticales. Los postes de guía suelen tener alrededor de un metro de altura y están colocados a un metro del borde de la carretera.

Pueden estar equipados con reflectores o pintados con pintura reflectante, por lo que son especialmente útiles por la noche. No deben constituir un

peligro al costado del camino y, por lo tanto, deben construirse con un material liviano, frangible y duradero.

Los postes de guía pueden ser necesarios en algunos lugares para mostrar una ruta de carretera en caso de nieve intensa.

- **Marcadores de alineación de Chevron (CAM)**

Se pueden instalar CAM o 'cheurones' a lo largo de la parte exterior de una curva para brindar a los conductores una mejor vista de la curva a medida que se acercan y para ayudarlos a posicionar el vehículo durante la curva.

- **Señales de advertencia y señales de velocidad recomendadas**

Las señales de advertencia informan a los conductores sobre la naturaleza del peligro al que se aproximan. Las señales de advertencia, incluidas las señales de advertencia de velocidad, les dicen a los conductores cómo sortear el peligro de manera segura. Por ejemplo, las señales de curvas peligrosas colocadas al acercarse a la curva pueden informar al conductor de cómo cambia la alineación de la carretera. Las señales de curvas peligrosas se pueden montar sobre una señal de límite de velocidad recomendada que indica una velocidad segura para la curva.

Tabla N° 35 Problemas de implementación y beneficios de las delineaciones

| PROBLEMAS DE IMPLEMENTACIÓN | BENEFICIOS |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Los delineadores mal diseñados o ubicados pueden aumentar el riesgo de colisión. • Demasiadas señales pueden confundir a los conductores. • Los captafaros requieren una superficie de carretera de buena calidad. • La delimitación debe ser coherente en todo un país. • La retroreflectancia de las líneas y las señales es una consideración importante para el uso de la carretera de noche y con lluvia. • La efectividad de las marcas de línea depende del ancho de la línea y su retroreflectividad. | <ul style="list-style-type: none"> • Las marcas viales se encuentran entre los tratamientos más rentables para hacer las carreteras más seguras. • Se ha demostrado que las mejoras en la delimitación reducen los choques de frente y de desborde. • Ayuda a los conductores a mantener una posición lateral segura y constante del vehículo dentro del carril. • Reducción de choques nocturnos y de baja visibilidad. • Reducción del deterioro del pavimento debido a la circulación de vehículos hacia el arcén. |

Fuente: Irap – VIDA

Elaboración propia.

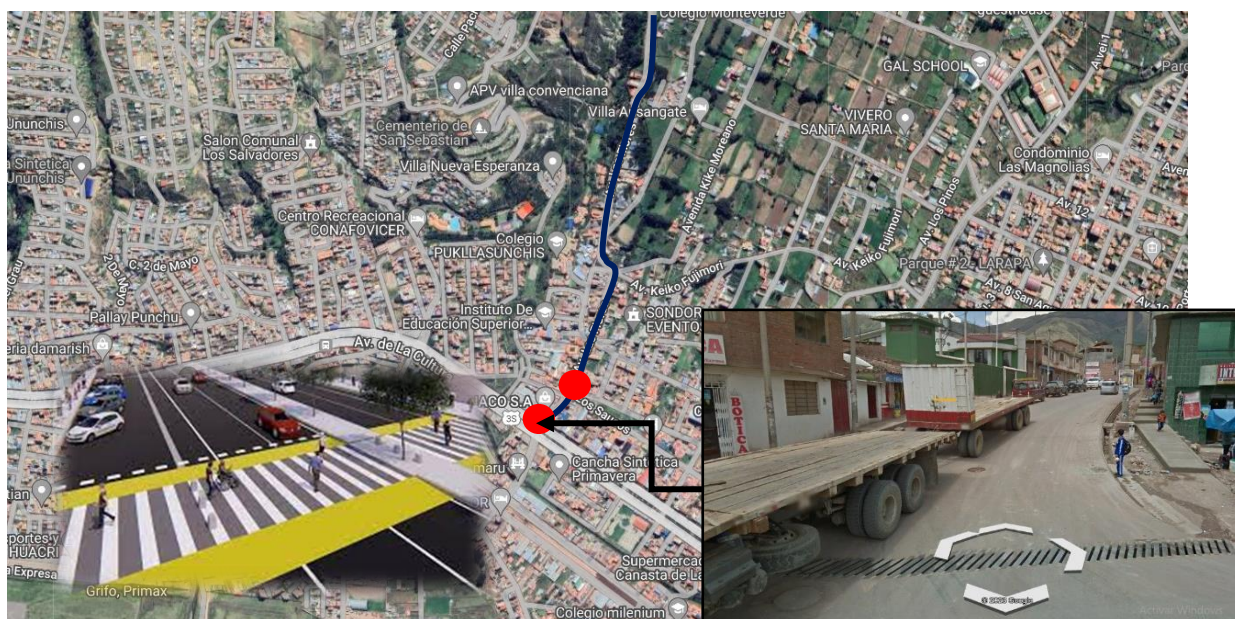
Tabla N° 36 Resumen del tratamiento para las delineaciones

| COSTOS | BAJO |
|--|----------------|
| Vida del tratamiento | 1 año - 5 años |
| Reducción potencial de Muertos y Lesionados graves | 10-25% |

Fuente: Irap – VIDA

5.1.2.2. MEJORAR LA CALIDAD DE LAS INSTALACIONES PARA PEATONES

Imagen N° 61 Mejoramiento de las instalaciones para peatones en la vía



Fuente: Irap – VIDA

Elaboración propia.

La mayoría de los choques de peatones ocurren mientras el peatón intentaba cruzar la calle. Una forma de prevenir los choques entre vehículos y peatones es colocarlos a diferentes niveles o 'separarlos'.

En situaciones urbanas donde las señales de cruce de peatones podrían causar congestión o choques (debido a la alta velocidad del tráfico), se puede usar un paso de peatones separado a nivel, como un paso elevado (o puente, puente peatonal) o un paso subterráneo. Fuera de las zonas urbanas en situaciones de demanda peatonal en entornos de alta velocidad, también se podrá aplicar este tratamiento.

Los pasos de peatones a desnivel reducen los choques de peatones, pero también tienen algunas desventajas:

- Son costosos
- A veces se llenan de vendedores ambulantes
- Los peatones pueden evitarlos si hay muchos escalones para subir o bajar
- Si no están bien iluminados y vigilados, pueden representar un riesgo para la seguridad personal
- Los pasos subterráneos son susceptibles a inundaciones y pueden volverse inutilizables si no se les da mantenimiento rutinario.

Tabla Nº 37 Problemas de implementación y beneficios para las instalaciones para peatones en la vía.

| PROBLEMAS DE IMPLEMENTACIÓN | BENEFICIOS |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Los cruces de peatones a desnivel son más atractivos si se reducen los desvíos y la diferencia de nivel aprovechando la topografía local y el perfil vertical de una carretera. • Los peatones tienden a utilizar únicamente las instalaciones de cruce ubicadas en, o muy cerca, de donde quieren cruzar la calle. Las cercas para peatones se pueden usar para alentar a los peatones a usar las instalaciones de cruce. • Se debe considerar la mejora de la accesibilidad para las personas con movilidad reducida. Esto puede incluir características de diseño como un ancho suficiente para acomodar sillas de ruedas y rampas o ascensores como alternativa a los escalones. | <ul style="list-style-type: none"> • Reducción del conflicto peatón/vehicular. • Puede ayudar a reducir las lesiones fatales y graves que involucran a peatones y ciclistas. • Mejoras en el flujo de tráfico |

Fuente: Irap – VIDA

Elaboración propia.

Tabla Nº 38 Resumen del tratamiento para las instalaciones para peatones en la vía

| COSTOS | ELEVADO |
|--|-----------|
| Vida del tratamiento | 20 años + |
| Reducción potencial de Muertos y Lesionados graves | 60% o más |

Fuente: Irap – VIDA

Elaboración propia.

5.1.2.3. ALUMBRADO PÚBLICO (INTERSECCIÓN)

Imagen N° 64 Mejoramiento del alumbrado público en la vía.



*Fuente: Irap – VIDA
Elaboración propia.*

Una farola es una fuente de luz elevada que a menudo se monta en una columna o poste de lámpara, ya sea al costado de la carretera o dentro de la mediana, o suspendida de un cable sobre la carretera para proporcionar iluminación. El alumbrado público puede brindar beneficios de seguridad a mitad de cuadra y en las intersecciones y también puede mejorar la seguridad de los peatones, particularmente en los puntos de cruce.

En la mitad de la cuadra La provisión de alumbrado público en la mitad de la cuadra aumenta la seguridad al hacer que las características del camino, como la alineación del camino, los bordillos, las aceras, el mobiliario urbano, el estado de la superficie, otros usuarios del camino y los objetos que pueden estar en el camino sean visibles para el tráfico de



vehículos y peatones. Las áreas que se benefician de la provisión de iluminación a mitad de cuadra incluyen caminos de servicio, ubicaciones de unión, divergencia y entrelazado, ubicaciones con altos niveles de iluminación de fondo o altos volúmenes de tráfico nocturno. La iluminación es recomendable para túneles, puentes importantes, instalaciones operativas importantes y sus accesos inmediatos.

Intersección Proporcionar alumbrado público en las ubicaciones de las intersecciones puede reducir los accidentes nocturnos al hacer que las características de la intersección sean visibles para el tráfico de vehículos y peatones. La iluminación de las intersecciones también puede ayudar a la navegación y ayuda a los conductores a ver la carretera que se cruza, los vehículos que giran, las colas de tráfico y cualquier otro usuario de la carretera. Siempre se debe proporcionar iluminación en las intersecciones y rotondas señalizadas. Se recomienda que se proporcione al menos una luminaria en cada una de las vías de intersección para ayudar al tráfico que se aproxima desde las vías laterales a identificar la intersección.

Paso de peatones La mejora de la iluminación en los pasos de peatones ayudará a que tanto el paso de peatones como los peatones que lo utilicen sean visibles para los automovilistas que se aproximan. La provisión de alumbrado público en los lugares de cruce de peatones también puede ayudar a los peatones a ubicar puntos de cruce seguros y detectar posibles peligros durante la noche. Se ha demostrado que este tratamiento reduce el número de choques de peatones y la mejora de la iluminación también puede ayudar a desalentar la delincuencia callejera.

Tabla N° 39 Problemas de implementación y beneficios para el alumbrado público.

| PROBLEMAS DE IMPLEMENTACIÓN | BENEFICIOS |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• El comienzo y el final de las secciones iluminadas de los caminos deben planificarse cuidadosamente en conjunto con las intersecciones adyacentes.• Deben evitarse los espacios cortos de secciones no iluminadas entre las secciones iluminadas. | <ul style="list-style-type: none">• El alumbrado público ayuda a reducir los accidentes nocturnos al mejorar la visibilidad.• Puede reducir los choques de peatones en aproximadamente 50%.• Puede ayudar a ayudar a la navegación. |



| | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • La provisión de postes de alumbrado público puede presentar peligros al borde de la carretera. Los postes frangibles deben considerarse particularmente en áreas donde hay poca actividad peatonal. Alternativamente, los postes se pueden proteger con una barrera de seguridad en la carretera. • Es importante lograr el espaciado correcto de las columnas de lámparas para evitar niveles de iluminación desiguales a lo largo de una ruta. • La provisión de alumbrado público requiere un suministro de electricidad y está asociada con los costos continuos de energía. Los paneles solares pueden considerarse como una fuente de alimentación alternativa. • Las lámparas de sodio de baja presión se pueden utilizar para reducir la contaminación lumínica, especialmente en las zonas urbanas. • La contaminación lumínica puede ser una consideración en las zonas rurales. | <ul style="list-style-type: none"> • El alumbrado público ayuda a las personas a sentirse seguras y puede contribuir a reducir la delincuencia. • La iluminación de rutas puede ayudar a reducir el deslumbramiento de los faros de los vehículos. |
|--|--|

Fuente: Irap – VIDA

Elaboración propia.

Tabla Nº 40 Resumen del tratamiento para el alumbrado público.

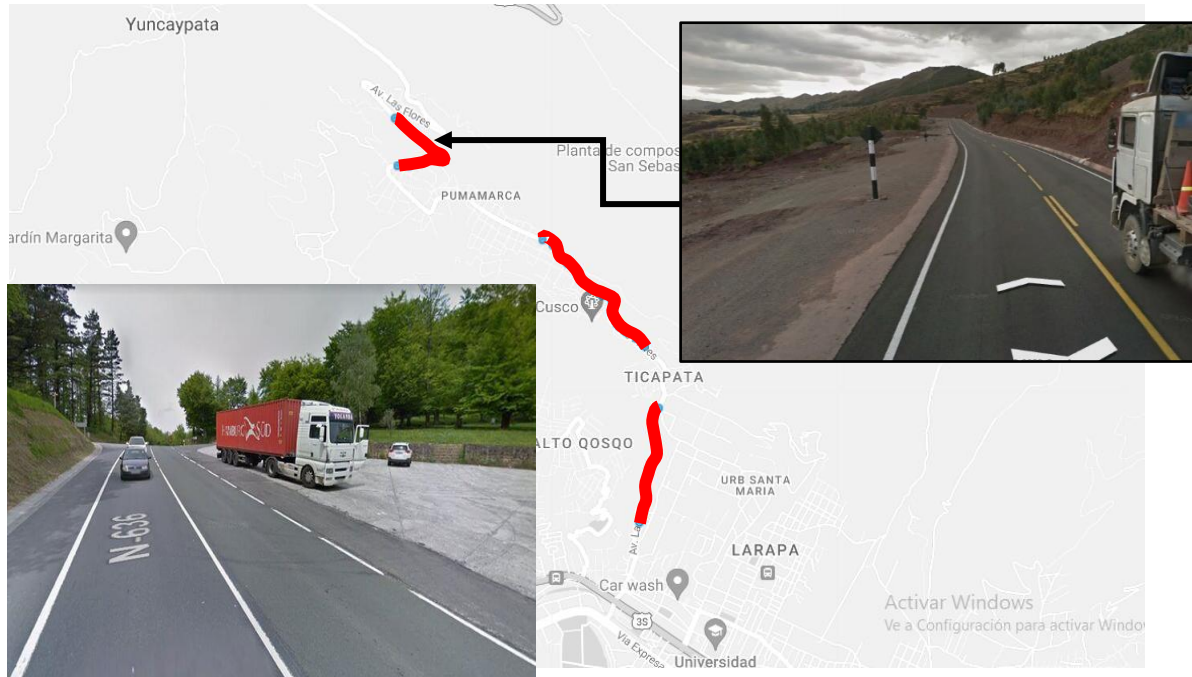
| Costos | Medio |
|--|-------------------|
| Vida del tratamiento | 10 años - 20 años |
| Reducción potencial de Muertos y Lesionados graves | 10-25% |

Fuente: Irap – VIDA

Elaboración propia.

5.1.2.4. CARRIL DE ADELANTAMIENTO

Imagen N° 67 Mejoramiento del carril de adelantamiento en la vía.



*Fuente: Irap – VIDA
Elaboración propia.*

En carreteras empinadas, pueden ocurrir choques frontales y de pérdida de control cuando los conductores intentan adelantar a otros vehículos. Los carriles de adelantamiento brindan una oportunidad segura para que un sentido de tránsito los adelante.

La congestión del tráfico, especialmente en áreas urbanizadas de países de ingresos bajos y medianos, se reconoce como un desafío. La construcción de carriles adicionales para aumentar la capacidad vial es costosa y, a menudo, no conduce a mejoras a largo plazo en la congestión a medida que aumenta la cantidad de vehículos. El transporte multimodal y la planificación del uso del suelo es una parte esencial de la gestión de la congestión.

Sin embargo, en carreteras de alta velocidad fuera de áreas urbanizadas, se pueden agregar carriles de adelantamiento para brindar oportunidades seguras para adelantar. Si se les brindan oportunidades regulares y seguras para adelantar, será menos probable que los conductores y



ciclistas realicen intentos de adelantamiento peligrosos. Los carriles de adelantamiento generalmente se usan en carreteras arteriales de alta velocidad donde hay una mezcla de tráfico lento y rápido. En terrenos montañosos, algunos vehículos (especialmente los vehículos pesados) estarán limitados a velocidades bajas. Otros vehículos pueden usar un carril adicional en descensos empinados (carriles descendentes) o secciones cuesta arriba (carriles de arrastre o ascendentes) para rebasar de manera segura. Los carriles de subida son adecuados para tramos de carretera con una alineación horizontal suave y buena visibilidad.

El tráfico opuesto está separado como mínimo por una línea central sólida doble calificación. Se puede lograr una mayor protección con el uso de amplia línea central, banda sonora longitudinal, mediana y/o barrera de seguridad mediana. Si se proporciona una barrera de seguridad mediana, el carril único cuesta abajo deberá tener un ancho libre adicional.

- **El 2+1 en carretera es una forma especial de adelantar**

Una carretera 2+1 consta de dos carriles en uno sentido y un carril en el otro, alternándose cada poco kilómetro, y generalmente separados con una flexible barrera de seguridad mediana. Este arreglo ha demostrado muy eficaz para reducir el riesgo de colisión frontal y desde entonces ha sido adoptado en muchos otros países

Se debe tener un alto grado de precaución al planificar y diseñar carriles de adelantamiento donde los peatones y ciclistas cruzan la carretera y cerca de las intersecciones. Es probable que el flujo mejorado creado por el carril adicional conduzca a velocidades más altas y cada carril adicional agregado a una carretera aumenta el riesgo para peatones y ciclistas que cruzan la calle.

Si la longitud de la pendiente cuesta arriba es limitada y la alineación es favorable, un carril de adelantamiento para el carril de ascenso debe ser continuo. En otros casos, los carriles de ascenso discretos pueden ser suficientes dada la consideración general del volumen de tráfico, la topografía y la economía. Tales secciones discretas son generalmente de



400 m o más de largo, excluyendo las áreas de conicidad y de amortiguamiento. Es posible que la alineación vertical deba estar bien coordinada con los túneles para evitar el aumento del costo de un carril de túnel adicional. En general, es aceptable reducir el ancho del arcén pavimentado a 1,0 m y excepcionalmente a 0,5 m en los carriles de ascenso. Deben proporcionarse apartaderos de estacionamiento de emergencia a un intervalo máximo de 1 km.

Otra opción son los carriles de participación de vehículos lentos. Estas son secciones cortas de arcén pavimentado o carril adicional donde los vehículos lentos pueden detenerse de manera segura y ser rebasados. Los desvíos de vehículos lentos pueden ser más apropiados que los carriles de adelantamiento donde los volúmenes de tráfico son bajos o donde un carril de adelantamiento sería demasiado costoso.

Tabla Nº 41 Problemas de implementación y beneficio del carril de adelantamiento.

| PROBLEMAS DE IMPLEMENTACIÓN | BENEFICIOS |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Los puntos de inicio y final de los carriles adicionales deben diseñarse con cuidado. Por ejemplo, la distancia visual debe ser adecuada para la velocidad del tráfico.• Los carriles de adelantamiento no deben instalarse en sitios que incluyan intersecciones significativas o muchos puntos de acceso o pasos de peatones. Se puede considerar la terminación del carril de adelantamiento o proporcionar señales de tráfico.• Se debe disuadir a los vehículos que circulen en sentido contrario al carril de adelantamiento de | <ul style="list-style-type: none">• Reducción del riesgo de colisiones relacionadas con adelantamientos como De frente accidentes• Zona extra clara (área libre de peligros en la carretera) |



| | |
|--|--|
| <p>utilizar también este carril. Es posible que se requieran barreras físicas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Al final de un carril de adelantamiento, el tráfico de adelantamiento debe volver a incorporarse al carril más lento con una disminución gradual. Se debe proporcionar un área de amortiguamiento en las marcas sombreadas más allá del final. • En carreteras divididas, los carriles de ascenso deben ser continuos en la medida de lo posible. En caminos no divididos, los carriles de ascenso discretos pueden ser suficientes dada la consideración general del volumen de tráfico, la topografía y la economía. Tales secciones discretas son generalmente de 400 m o más de largo, excluyendo las áreas de conicidad y de amortiguamiento. | |
|--|--|

Fuente: Irap – VIDA
Elaboración propia.

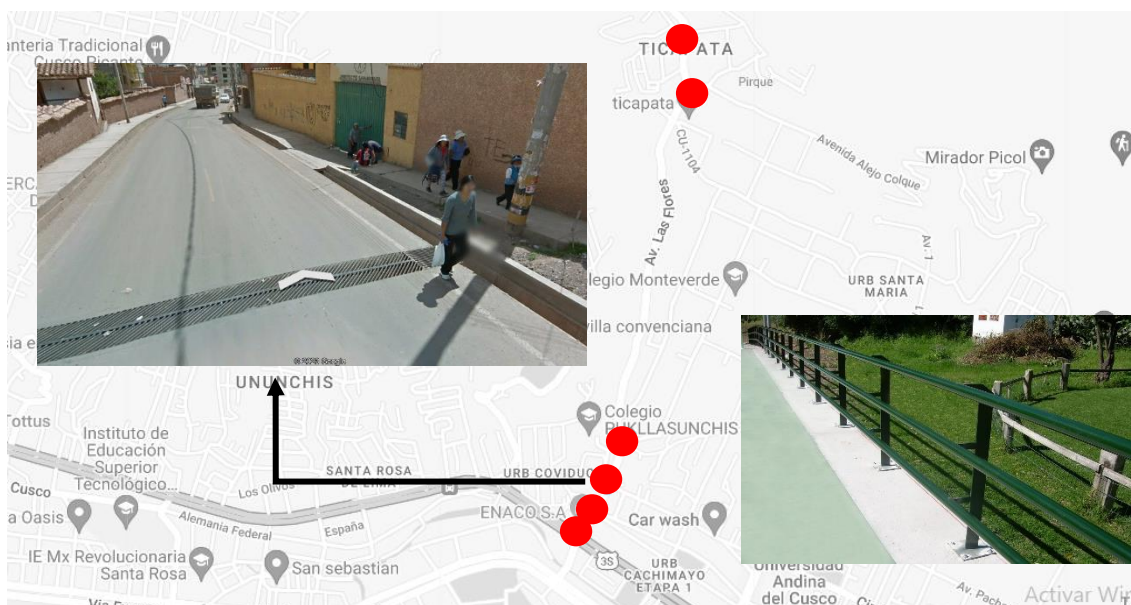
Tabla N° 42 Resumen del tratamiento para el carril de adelantamiento

| COSTOS | ELEVADO |
|--|-------------------|
| Vida del tratamiento | 10 años - 20 años |
| Reducción potencial de Muertos y Lesionados graves | 25-40% |

Fuente: Irap – VIDA
Elaboración propia.

5.1.2.5. VALLADO PEATONAL

Imagen N° 70 Mejora del vallado peatonal en la vía.



Elaboración propia.

Se pueden usar cercas para peatones o barandillas al costado de una carretera o dentro de la mediana para restringir el acceso de los peatones a la calzada, lo que reduce el conflicto entre los vehículos motorizados y los peatones.

El cercado a menudo se usa para dirigir a los peatones a un punto de cruce formal preferido y para disuadir a los peatones de realizar movimientos de cruce peligrosos donde la visibilidad puede ser limitada.

Se pueden lograr soluciones innovadoras a través de un buen diseño de calles utilizando mobiliario urbano, vegetación y arte público para guiar y dirigir los movimientos de los peatones. Los diseños deben considerar las necesidades de los usuarios viales vulnerables y las personas con movilidad reducida.

Tabla N° 43 Problemas de implementación y beneficio en el vallado peatonal.

| PROBLEMAS DE IMPLEMENTACIÓN | BENEFICIOS |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Las vallas peatonales continuas pueden contribuir a la visión de túnel de los conductores y al aumento de la velocidad. Esto | <ul style="list-style-type: none"> Ayuda a guiar a los peatones a los puntos de cruce formales. |



| | |
|---|--|
| <p>aumentaría el riesgo en los cruces de peatones y cualquier espacio a lo largo de la valla. En consecuencia, las cercas para peatones deben usarse con cuidado. La pacificación del tráfico para reducir la velocidad del tráfico podría ser una solución más adecuada.</p> <ul style="list-style-type: none">• Es importante asegurarse de que las cercas para peatones no obstruyan la vista de los conductores de los peatones en la acera, o de los que están a punto de cruzar la calle, y el tráfico conflictivo en las intersecciones. Esto se puede lograr limitando la altura de la cerca y adoptando paneles de cerca en barras horizontales que permitan a los conductores ver a través.• Se debe considerar el diseño de la cerca para garantizar que el riesgo para los vehículos errantes sea limitado en caso de impacto. Esto se puede lograr utilizando elementos metálicos deformables y evitando la instalación de un riel superior continuo.• Se debe considerar la mejora de la accesibilidad para las personas con movilidad reducida. Esto puede incluir características de diseño como senderos pavimentados con suficiente | <ul style="list-style-type: none">• Puede ayudar a prevenir movimientos de cruce de peatones no deseados.• Impide físicamente el acceso de peatones a la calzada.• Ayuda a evitar que los peatones salgan corriendo de los caminos peatonales que se cruzan con la carretera en ángulo recto.• Ayuda a evitar que las multitudes se derramen repentinamente en la carretera en las salidas de escuelas, cines y edificios, etc.• Puede ayudar a evitar que los automovilistas estacionen en la acera.• Proporciona una guía útil para los peatones con discapacidad visual. |
|---|--|

| | |
|--|--|
| ancho para acomodar sillas de ruedas, bordillos en los puntos de cruce de peatones y pavimento táctil. | |
|--|--|

Fuente: Irap – VIDA
Elaboración propia.

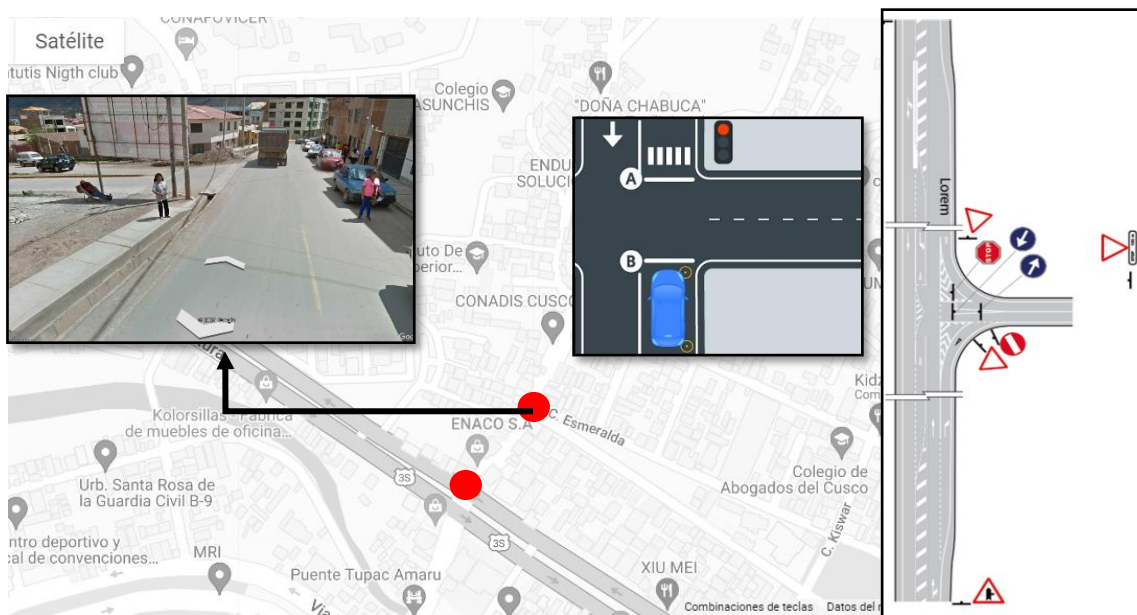
Tabla Nº 44 Resumen del tratamiento en el vallado peatonal

| COSTOS | BAJO |
|---|-------------------|
| Vida del tratamiento | 10 años - 20 años |
| Reducción potencial de Muertos y Lesionados graves. | 25-40% |

Fuente: Irap – VIDA
Elaboración propia.

5.1.2.6. DELINEACIÓN Y SEÑALIZACIÓN (INTERSECCIÓN)

Imagen Nº 73 Mejoras en la delineación y señalización de intersecciones de la vía en estudio



Fuente: Irap – VIDA
Elaboración propia.

La mayoría de los accidentes ocurren en las intersecciones. Los semáforos son una forma de detener los flujos de tráfico en conflicto que ingresan a la intersección al mismo tiempo y pueden reducir el riesgo de colisión.



En las intersecciones señalizadas, se asigna prioridad a los flujos de tráfico en conflicto por separación de tiempo. Se adaptan a un volumen de tráfico muy alto y son relativamente compactos. El diseño de los esquemas de señales debe satisfacer las demandas de capacidad y seguridad. Se necesita un espacio de tiempo adecuado entre las señales verdes de movimientos en conflicto.

Las señales se pueden configurar para que cambien según los tiempos fijos, o se pueden activar según las demandas del tráfico. También es posible vincular una red de intersecciones señalizadas para proporcionar control de la red de carreteras en su conjunto.

Algunas señales se controlan manualmente, pero a menudo esto hace que los tiempos de ciclo sean demasiado largos para la capacidad máxima de la intersección. Esto puede provocar largas demoras y la frustración del conductor, lo que puede conducir a una conducción insegura.

Las intersecciones señalizadas de alta velocidad son aquellas en las que la velocidad del tráfico en cualquiera de los brazos es de 60 km/h o superior. Estas intersecciones requieren una precaución adicional en el diseño, ya que están asociadas con una zona de dilema que dificulta que los conductores se detengan o continúen cuando ven una luz ámbar. Además, la consecuencia de colisiones en ángulo recto o colisiones con usuarios no motorizados suele ser alta debido a la mayor velocidad del tráfico.

Los semáforos deben colocarse de manera que sean muy visibles para los usuarios. La ubicación de los semáforos debe verificarse para minimizar cualquier riesgo de que los usuarios lean la señal incorrecta o malinterpreten las pantallas de señales.

Tabla N° 45 Problemas de implementación y beneficios en la delineación y señalización de intersecciones

| PROBLEMAS DE IMPLEMENTACIÓN | BENEFICIOS |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Es probable que se desobedezcan las señales | <ul style="list-style-type: none">• Puede aumentar la capacidad de la intersección. |



| | |
|---|--|
| <p>utilizadas en las intersecciones con flujos de tráfico bajos y tiempos fijos.</p> <ul style="list-style-type: none">• Los semáforos bien diseñados generalmente reducirán el total de choques, pero a veces aumentarán los tipos de choques específicos (por ejemplo, choques por alcance).• Antes de instalar semáforos, se debe considerar cuidadosamente la información sobre los volúmenes de tráfico, los volúmenes de peatones, las velocidades de aproximación a las intersecciones y los accidentes previos en el sitio.• Se requiere visibilidad para los conductores que se acercan a los semáforos y entre los conductores que esperan en las líneas de parada.• El diseño de los semáforos debe verificarse por claridad y posibles malentendidos por parte de los conductores.• El diseño de los semáforos debe incorporar tiempos adecuados de separación entre semáforos en verde para tráfico conflictivo.• | <ul style="list-style-type: none">• Puede reducir ciertos tipos de choques (especialmente choques en ángulo recto).• Puede mejorar la seguridad de peatones y ciclistas |
|---|--|

Fuente: Irap – VIDA
Elaboración propia.

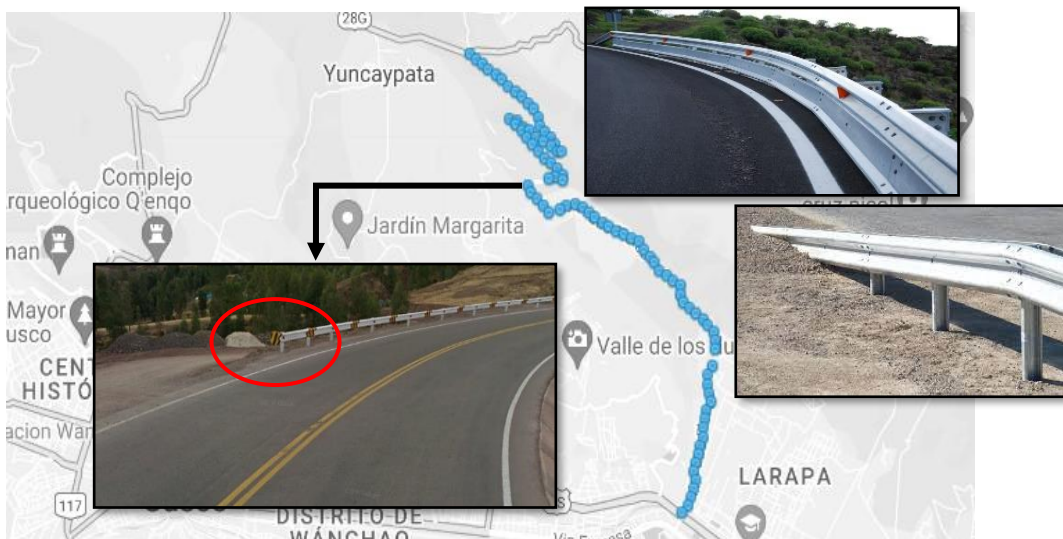
Tabla N° 46 Resumen del tratamiento de las delineaciones y señalización de intersecciones

| COSTOS | MEDIO |
|--|-------------------|
| Vida del tratamiento | 10 años - 20 años |
| Reducción potencial de Muertos y Lesionados graves | 25-40% |

Fuente: Irap – VIDA
Elaboración propia.

5.1.2.7. BARRERAS EN CARRETERA - LADO DEL PASAJERO Y CONDUCTOR

Imagen N° 76 Mejoras de las barras en carreteras de la vía en estudio.



Fuente: Irap – VIDA
Elaboración propia.

Las barreras de seguridad se utilizan para evitar que los vehículos puedan salirse de la carretera y toparse con peligros en la carretera, incluidas pendientes (barreras en la carretera) cruce en el camino de los vehículos que se aproximan (ver barreras medianas).

Están diseñados para redirigir el vehículo y tienen una severidad menor que el peligro en la carretera que protegen. Hay varios tipos de barrera de seguridad (pero dentro de estos tipos hay diferentes sistemas que tienen sus propias características específicas de funcionamiento).

Las barreras flexibles están hechas de cable metálico sostenido entre postes frangibles. Las barreras flexibles pueden ser la mejor opción para minimizar las lesiones de los ocupantes del vehículo, sin embargo,



pueden representar un riesgo para los motociclistas. Estas barreras se desvían más que otros tipos de barreras y deben repararse después del impacto para mantener su capacidad de redirección.

Las barreras semirrígidas suelen estar hechas de vigas o rieles de acero. Estos se desvían menos que las barreras flexibles y, por lo tanto, pueden ubicarse más cerca del peligro cuando el espacio es limitado. Dependiendo del impacto, estas barreras pueden redirigir los impactos secundarios.

Las barreras rígidas suelen estar hechas de hormigón y no se desvían. Las barreras rígidas deben usarse solo donde no hay espacio para la deflexión de una barrera semirrígida o flexible. Las barreras rígidas a menudo se utilizan en sitios de obras viales de alto volumen para proteger a los trabajadores de la carretera u otros usuarios de la carretera, particularmente donde otro tipo de barrera está esperando reparación. Actualmente (dependiendo de su altura y otros detalles) estos proporcionan el mayor nivel de contención de vehículos pesados. En la mayoría de los casos, después del impacto, estas barreras requieren poco o ningún mantenimiento.

Los parapetos de vehículos son barreras rígidas de acero, hormigón o una combinación de ambos. Se instalan en estructuras de carreteras como puentes, muros de contención o instalaciones de edificios. Su objetivo principal es evitar que un vehículo errante se caiga de las estructuras.

Gran parte del beneficio del uso de barreras proviene de una reducción en la gravedad del choque. Aunque aún puede ocurrir un choque, es probable que tenga una consecuencia más segura que chocar con el objeto que la barrera está protegiendo.

En las carreteras existentes, la modernización de las barreras de seguridad puede ser un desafío debido a la incompatibilidad entre el diseño de la carretera, las condiciones del suelo, el espacio al borde de la carretera, etc. y los criterios técnicos para la instalación de barreras de seguridad. En estas circunstancias, las soluciones suelen ser sensibles al



contexto y es posible que deban personalizarse. Las soluciones para las carreteras existentes deben formularse con estudios in situ, comparación de opciones y evaluaciones de riesgos.

En áreas urbanas densas donde se necesita el borde de la carretera para cruzar, acceder a vehículos y actividades de carga o descarga, los bolardos pueden ser un medio para proteger a los peatones de los vehículos errantes. Sin embargo, es posible que los bolardos rígidos no sean tolerantes a alta velocidad, excepto en el caso de productos diseñados para atenuar un impacto al mismo tiempo.

- **TERMINALES FINALES DE BARRERA**

La necesidad de terminales finales surge del despliegue de barreras de seguridad. La colisión con terminales finales sin tratar puede provocar una desaceleración violenta o la penetración de la barrera en el compartimento. Por otro lado, el extremo inclinado de una barrera puede lanzar un vehículo errante por el aire seguido de un vuelco, caída o colisión con objetos rígidos. Todos estos escenarios tienen un alto potencial de lesiones graves a los ocupantes de un vehículo errante.

Los terminales finales de las barreras de seguridad deben abordarse de manera proactiva en toda la ruta.

El primer paso es minimizar la cantidad de terminales finales o reubicarlos en posiciones más seguras:

Cierre de espacios cortos entre dos secciones de las mismas barreras de seguridad.

Cierre de espacios cortos entre dos secciones de diferentes barreras de seguridad con una transición.

Extender la barrera de seguridad aguas arriba a lugares con velocidades de tráfico más bajas, por ejemplo, inicio de vías de acceso.

Ampliación de la barrera de seguridad aguas arriba de las curvas y otros sitios vulnerables.



Los sitios restantes deben abordarse con las siguientes medidas:

Extender y ensanchar la barrera de seguridad para que se mezcle con una pendiente aguas arriba o anclarse a una pared de apoyo.

Adoptar amortiguadores de choque o terminales finales.

Si esto no es posible, se pueden considerar los siguientes tratamientos siempre que la velocidad del tráfico sea de baja a moderada:

Ensanchamiento de barreras de haz para que la terminal final esté lo más lejos posible de la alineación general de la barrera

Diseño curvo de barreras rígidas o parapetos de mampostería en un ángulo máximo de 40 grados desde la alineación general de la barrera

El extremo inclinado de las barreras de vigas en W de pendiente suave ancladas en el suelo puede ser un tratamiento aceptable. A una velocidad entre baja y moderada, un vehículo errante puede pasar por encima de la barrera. No debe haber grandes peligros en la carretera a los que pueda llegar el vehículo errante.

A veces se necesitan aberturas a lo largo de una barrera de seguridad para refugio de emergencia, evacuación, operación o mantenimiento. Estas aberturas pueden proporcionarse mediante una disposición de barrera superpuesta de modo que el terminal del extremo delantero de la segunda barrera esté protegido por la sección trasera de la barrera aguas arriba. Sin embargo, esta disposición puede no ser adecuada para caminos no divididos donde un vehículo errante puede invadir el borde del camino desde la dirección opuesta.

Tabla N° 47 Problemas de implementación y beneficios en las barras de carretera

| PROBLEMAS DE IMPLEMENTACIÓN | BENEFICIOS |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Solo se debe construir una barrera de seguridad si el peligro existente no se puede eliminar (consulte Seguridad en la carretera: eliminación de peligros). | <ul style="list-style-type: none"> Si se diseñan, instalan y mantienen adecuadamente, las barreras deben reducir la gravedad de los choques que |



| | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• En caminos divididos de gran volumen y alta velocidad y caminos en terreno lateral empinado, una barrera de seguridad continua puede ser una estrategia más apropiada para abordar pendientes laterales cuesta abajo continuas o una alta densidad de objetos peligrosos.• Con el uso de barreras continuas, se debe dar la debida consideración al espacio de refugio para los vehículos varados y sus ocupantes. En general, es deseable un ancho de arcén de 4 m a 6 m (3 m mínimo) frente a la barrera o, de lo contrario, se deben proporcionar apartaderos a intervalos regulares. Las aberturas de acceso para emergencias o mantenimiento pueden estar provistas de la barrera de seguridad en disposición superpuesta.• Los puntos finales (terminales o tratamientos finales) de las barreras pueden ser peligrosos si no se diseñan, construyen y mantienen correctamente (consulte Imágenes relacionadas para ver ejemplos de tratamientos terminales deficientes).• Las barreras de seguridad deben ubicarse de manera que minimicen los ángulos de alto impacto y también deben dejar espacio para que los vehículos salgan del carril de tránsito.• Las barreras de seguridad pueden tener implicaciones adversas en la visibilidad y la visibilidad en intersecciones, accesos, pasos de peatones, etc. El problema a menudo se agrava alrededor de curvas y perfiles de cresta.• Los daños menores pueden reducir los beneficios de seguridad de las barreras si no se reparan adecuadamente.• Las barreras en la carretera son un peligro para los motociclistas.• Asegúrese de que se tenga en cuenta el espacio libre adecuado | <p>involucran vehículos 'fuera de control'.</p> <ul style="list-style-type: none">• Cuando se usan en la mediana, las barreras de seguridad pueden reducir en gran medida la probabilidad de choques frontales. |
|---|---|



| | |
|--|--|
| <p>detrás de la barrera de seguridad, en particular para las barreras flexibles y semirrígidas. Si bien las barreras de concreto no se desvían, se debe tener en cuenta que cualquier peligro que sea más alto que la barrera esté lo suficientemente alejado de la cara de la barrera para que, durante el impacto, los vehículos (en particular, los vehículos altos, como los camiones) no se inclinen sobre la barrera. y golpear el peligro</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si no se dispone de una pendiente cuesta arriba, será necesario crear un área adicional al costado del camino para acomodar una terminal final de barrera ensanchada. • Si una barrera de seguridad ensanchada necesita cruzar una zanja longitudinal, se requerirán los detalles apropiados para evitar que un vehículo errante se enganche, pase por debajo o pase por encima de la barrera. • Si se abre una carretera de alta velocidad o un intercambio por etapas, los extremos de los tramos deben tratarse adecuadamente. | |
|--|--|

Fuente: Irap – VIDA

Elaboración propia.

Tabla N° 48 Resumen del tratamiento de las barras de carretera.

| Costos | Medio |
|--|--------------------------|
| Vida del tratamiento | 10 años - 20 años |
| Reducción potencial de Muertos y Lesionados graves | 40-60% |

Fuente: Irap – VIDA

Elaboración propia.

5.1.2.8. RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (CAMINO PAVIMENTADO)

Imagen N° 79 Mejoras a la resistencia al deslizamiento en la vía.



Fuente: Irap – VIDA

Elaboración propia.

La pérdida de control por derrape puede ser un factor importante en muchos choques (especialmente cuando la carretera está mojada). Debe prestarse especial atención a las propiedades de resistencia al derrape de la superficie de la calzada en las zonas en las que se suele frenar, como en las aproximaciones a intersecciones, rotondas, pasos de peatones y en curvas o pendientes pronunciadas.

La resistencia al deslizamiento deficiente puede ocurrir cuando la superficie del camino se desgasta (el agregado se pule) bajo la acción del tráfico, o temporalmente si hay una acumulación de aceite o escombros en el camino o si el drenaje del camino es deficiente. Hay dos opciones principales para el tratamiento de la baja resistencia al deslizamiento:

Retexturizado Este método incluye el retrabajo mecánico de la superficie existente para mejorar sus características de fricción y por lo tanto la resistencia al deslizamiento. Por lo general, implica la eliminación de



material de la superficie de la carretera. Los métodos incluyen ranurado con diamante, granallado, abujardado, chorro de agua a alta velocidad.

Renovación de la superficie Estos incluyen tratamientos de superficie delgada de costo relativamente bajo que no solo mejoran la textura de la superficie y la resistencia al derrape de la carretera húmeda, sino que también pueden sellar la superficie contra la penetración del agua y detener la desintegración de la superficie de la carretera existente.

El tratamiento de superficies, por ejemplo, utiliza una emulsión bituminosa que se rocía sobre la superficie de la carretera seguida de una capa de virutas con un alto valor de piedra pulida (PSV).

La superficie de alta fricción (HFS) utiliza bauxita calcinada de grado refractario, un agregado extremadamente resistente (con un alto PSV) que proporciona y mantiene una buena resistencia al deslizamiento. Los sistemas HFS pueden basarse en aglutinantes de resina termoplásticos (en caliente) o termoendurecibles (en frío).

La capa de fricción porosa es una capa de asfalto muy permeable con vacíos continuos para acomodar la escorrentía de lluvias de intensidad baja a moderada. El material mejora la resistencia al derrape a altas velocidades de tráfico, limita las salpicaduras de agua y reduce la posibilidad de aquaplaning.

Tabla N° 49 Problemas de implementación y beneficio a la resistencia al deslizamiento.

| PROBLEMAS DE IMPLEMENTACIÓN | BENEFICIOS |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Seguridad mejorada para carreteras donde ocurren muchos choques, especialmente en clima húmedo. • Puede ayudar a prevenir choques en la carretera tanto por detrás como por salida. • La repavimentación brinda la oportunidad de solucionar otros problemas de la superficie de la carretera, como caídas cruzadas y surcos. • Brinda la oportunidad de agregar o reemplazar la delineación de la superficie de la carretera, como marcas pintadas o postes reflectantes. | <ul style="list-style-type: none"> • Seguridad mejorada para carreteras donde ocurren muchos choques, especialmente en clima húmedo. • Puede ayudar a prevenir choques en la carretera tanto por detrás como por salida. • La repavimentación brinda la oportunidad de solucionar otros problemas de la superficie de la carretera, como caídas cruzadas y surcos. • Brinda la oportunidad de agregar o reemplazar la delineación de la superficie de la carretera, como marcas pintadas o postes reflectantes. |

| | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Puede prolongar la vida útil de la superficie del pavimento. • El retexturizado tiene beneficios ambientales sobre algunos revestimientos tradicionales de mezcla asfáltica en caliente. Por lo general, una solución de menor costo y menor consumo de energía. • A menudo, tratamientos rápidos y repetibles con poca interrupción del tráfico. En la mayoría de los casos, las carreteras se pueden transitar inmediatamente después de la aplicación. | <ul style="list-style-type: none"> • Puede prolongar la vida útil de la superficie del pavimento. • El retexturizado tiene beneficios ambientales sobre algunos revestimientos tradicionales de mezcla asfáltica en caliente. Por lo general, una solución de menor costo y menor consumo de energía. • A menudo, tratamientos rápidos y repetibles con poca interrupción del tráfico. En la mayoría de los casos, las carreteras se pueden transitar inmediatamente después de la aplicación. |
|---|---|

Fuente: Irap – VIDA
Elaboración propia.

Tabla Nº 50 Resumen de la resistencia al deslizamiento.

| COSTOS | BAJO A MEDIO |
|--|------------------|
| Vida del tratamiento | 5 años - 10 años |
| Reducción potencial de Muertos y Lesionados graves | 25-40% |

Fuente: Irap – VIDA
Elaboración propia.

5.1.2.9. DISTANCIA DE VISIÓN (ELIMINACIÓN DE OBSTRUCCIONES)

Imagen Nº 82 Mejora a la distancia de visión en la vía.



Fuente: Irap – VIDA
Elaboración propia.



La distancia visual insuficiente y la visibilidad frontal limitada pueden afectar negativamente la seguridad y aumentar el riesgo de colisión al reducir los tiempos de reacción y las distancias de frenado. Una distancia visual adecuada proporciona a los conductores tiempo suficiente para identificar y reaccionar adecuadamente ante todos los elementos del entorno vial, incluidos otros usuarios de la vía y los peligros. Las distancias de visibilidad son particularmente importantes en áreas donde se sabe que los peatones y los ciclistas cruzan la calle.

Cuando la visibilidad esté restringida, las líneas de visión deben despejarse mediante la eliminación de obstrucciones o mediante la realineación de la carretera. Por ejemplo, la remoción de vegetación o el corte de un terraplén en el interior de las curvas horizontales mejorará las distancias de visibilidad. También se debe tener en cuenta la ubicación y la altura de las cercas y barreras para garantizar que no obstruyan la visibilidad.

Si la distancia visual no se puede mejorar significativamente, se puede considerar la gestión de la velocidad o las restricciones a los movimientos del vehículo, como giros a la derecha y adelantamientos, junto con las señales de advertencia anticipadas apropiadas.

La distancia visual también es necesaria en otras situaciones en las que los conductores necesitan interactuar con otros usuarios y en las que hay un cambio en el entorno de la carretera. Estos incluyen el acceso a los portales de los túneles, apartaderos, paradas de autobús, áreas de unión y divergencia. También se necesita una amplia distancia visual al acercarse a las señales de tráfico para que los conductores puedan leerlas correctamente.

El entorno visual a lo largo de una carretera debe planificarse con variedad para reducir la monotonía. Es deseable abrir la vista en las secciones escénicas de la ruta y hacia las características o puntos de referencia destacados del paisaje. Esto también dará una mejor idea de su ubicación y el progreso del viaje para los usuarios.



Tabla Nº 51 Problemas de implementación y beneficio a la distancia en la visión.

| PROBLEMAS DE IMPLEMENTACIÓN | BENEFICIOS |
|---|--|
| <p>1. La mejora de la distancia visual se puede asociar con un alto costo si se requieren realineaciones de crestas y/o curvas o si la línea visual está fuera de la reserva vial que requiere la adquisición de terrenos para eliminar obstrucciones como terraplenes, edificios, etc.</p> <ul style="list-style-type: none">• Aunque se deben proporcionar distancias de visibilidad mínimas, en algunas situaciones, como las aproximaciones a intersecciones, la visibilidad frontal excesiva puede provocar velocidades de aproximación elevadas y desviar la atención del conductor de las condiciones de la intersección inmediata.• A menudo se requieren plantaciones y montículos en la isla central de las rotondas para restringir la visibilidad hacia adelante de los conductores que se aproximan. Los conductores que ven a través de la rotonda pueden pasar por alto la presencia de una rotonda y no reducir la velocidad a tiempo.• En casos muy específicos, los ajustes para reducir las distancias de visibilidad pueden ser útiles para reducir las velocidades de aproximación (consulte, por ejemplo. Sin embargo, se debe tener especial cuidado al adoptar este enfoque.• En las intersecciones, las líneas de visión y las separaciones de visibilidad a menudo se requieren en ángulos más grandes con respecto al punto de vista normal del usuario (por ejemplo, en un vehículo de motor, es posible que el conductor tenga que mirar a través de las ventanas laterales).• Asegúrese de que las señales de tráfico y los semáforos no estén obstruidos por vegetación o mobiliario urbano. | <ul style="list-style-type: none">• Una distancia visual adecuada proporciona tiempo para que los conductores identifiquen los peligros y tomen las medidas adecuadas para evitarlos.• Las distancias visuales mejoradas en las aproximaciones a las intersecciones ya través de las curvas pueden reducir los choques en estos lugares de alto riesgo.• Una buena visibilidad hacia adelante en las instalaciones de cruce de peatones les dará a los conductores más tiempo para reaccionar.• Las colisiones traseras se pueden reducir con una mejor visibilidad hacia adelante. |

Fuente: Irap – VIDA
Elaboración propia.

Tabla N° 52 Resumen de la distancia de visión.

| COSTOS | BAJO A MEDIO |
|------------------------------|---------------------|
| Vida del tratamiento | 10 años - 20 años |
| Reducción potencial de bajas | 25-40% |

Fuente: Irap – VIDA

Elaboración propia.

Imagen N° 85 Mapa post prevención de víctimas



Fuente: Irap – VIDA

Por último, así mismo el software iRAP - VIDA propone una simulación post implementación de soluciones, donde los resultados de la reducción en muertes y lesionados graves por kilómetro serían los que se muestra en la siguiente imagen, destacándose así una reducción notable de fallecimientos o lesiones graves por kilómetro en toda la longitud de la carretera a un plazo de 20 años.

CONCLUSIONES

1. Se cumplió con obtener la estimación de velocidades de operación (Pérez Zuriaga), inercial (Llopis Castelló), y medición de campo, el cual ayudo a construir el perfil de velocidades encontrándose el siguiente resultado:

- El perfil de velocidad de operación inercial, es quien se asemeja mucho más en forma al perfil de velocidades de campo, debido a que la expresión matemática de la estimación de velocidad inercial, toma en cuenta las expectativas de los conductores. No obstante, si se interpreta a nivel de diferencia de velocidades entre ambos perfiles (inercial y de campo), se puede observar que hay un desfase promedio de 30 km/h (ver imagen N°37), y esto se interpreta debido a que la calibración de esta expresión se realizó para vías de España.

2. De la evaluación a la consistencia de diseño mediante los modelos calibrados por Llopis Castello, realizado a la carretera en estudio, se identificó que:

- La vía presenta un índice de consistencia local (ICI) con calificación “**POBRE**”, en 12 elementos geométricos entre curvas y tangentes, y estos se ubican en las progresivas (00+379.35, 00+799.31, 02+510.80, 04+251.41, 05+391.03, 05+643.97, 05+678.65, 06+578.41, 06+617.18, 06+660.68, 07+455.39 y 07+486.34). Asi mismo 37 elementos entre (curvas y tangentes) presentan ICI con calificación “**ACEPTABLE**”, y están en las progresivas (00+406.66, 00+418.16, 00+762.66, 01+035.37, 01+075.83, 01+122.85, 01+171.22, 01+353.21, 01+487.43, 01+832.50, 01+905.29, 01+961.72, 02+355.34, 02+564.36, 02+612.78, 02+647.98, 02+723.10, 02+985.10, 03+958.39, 04+333.38, 05+099.88, 05+355.16, 05+426.09, 05+456.87, 05+584.09, 05+713.33, 05+925.51, 05+947.46, 06+544.60, 07+091.14, 07+115.36, 07+149.36, 07+185.88, 07+794.94, 07+876.86, 08+420.63 y 08+447.75). Por último, el resto de los elementos geométricos presentan ICI “**BUENO**”, para más detalle a lo indicado, se puede apreciar en la imagen N.º 39 el mapa de resultados de la ICI realizado.
- Para el caso del parámetro de consistencia Global (C), la vía en estudio,



se subdivido inicialmente en 3 partes, encontrándose que el primer subtramo (kilómetro 00+00 al 03+00) presenta 5.46% consistencia “ACEPTABLE”, 0.38% “POBRE” y 94.16 % presenta una consistencia “BUENA”. Por otra parte, el segundo subtramo el cual comprende del kilómetro 02+00 al 05+00 presenta toda su longitud consistencia “BUENA”. por último, el tercer subtramo del kilómetro 05+00 al 09+260 presenta 92.57% de consistencia “BUENA”, 6.7% “ACEPTABLE” y 0.73% de consistencia “POBRE”. El detalle de los resultados se puede visualizar en el mapa de consistencia global, de la imagen N°40.

3. De la evaluación mediante el software iRAP – VIDA (calificación por estrellas) a la carretera de estudio puedo obtener que:

- La vía presenta dos sub tramos con clasificación de “1 estrella” (en las progresivas 00+00 – 00+590, 01+900 – 02+000, 02+800 – 02+900) y “2 estrellas” (en las progresivas 04+700 05+100, 05+200 – 09+200), el cual representa más del 50% de longitud total, con grado de inseguridad.
- Asi mismo 4 sub tramos presenta clasificación “3 estrellas” en las progresivas (00+590 – 01+900, 02+000 – 02+800, 02+900 – 04+700, 05+200 – 09+200), para más referencia de lo indicado, se puede visualizar en el mapa de calificación de estrellas en la imagen N° 51.

4. Por otro lado, de los resultados obtenidos líneas arriba, se realizó la estimación de número de incidentes con víctimas en carreteras, encontrándose que de acuerdo a los modelos calibrados por Llopis-Castelló et al. (2018) el número de víctimas en vehiculó es de 9.65, mientras que por el software iRAP – VIDA, estimó 50.1 víctimas totales. De este último se aclara que este resultado, considera a las víctimas de ocupantes de vehículos, peatones, motoristas y ciclistas.

5. Por último, del plan de inversiones para vías por el iRAP, se propuso 11 soluciones que en conjunto tienen un costo de S/. 5,893,648.00 soles peruanos destinados a salvar la vida de 457 personas en un periodo de 10 años, obteniendo así una relación costo – beneficio de 21.33, el cual se encuentra dentro del umbral de la relación beneficio costo (RBC).



RECOMENDACIONES

- Se recomienda, a partir del presente trabajo, que para la obtención de velocidades de operación en campo, considerar sitios estratégicos donde el conductor no perciba la recolección de estas medidas a efectos de tener datos con una alta precisión.
- De las metodologías utilizadas en el presente trabajo podemos indicar que, los modelos de consistencia propuesto por Llopis Castelló y el software iRAP, son eficaces para la evaluación y sustento técnico para una vía de dos carriles, debido a la practicidad, dinamismo y sobre todo de resultados eficaces que proporcionan. Estas herramientas pueden ser buscadas en los siguientes links que son de acceso gratuito <https://dallocas.blogs.upv.es/> (block DALLOCAS) <https://vida.irap.org/es/home> (iRAP VIDA).
- Se recomiendan para futuras investigaciones, para el ámbito de estudio de (Perú), realizar una calibración de estimación de velocidades inerciales para vehículos livianos y pesados, con el objeto de tener resultados más precisos acorde a la configuración geométrica y geografía de la zona.
- Para el caso de la restitución geométrica de una vía existente, se recomienda la utilización de la metodología de Camacho-Torregrosa et al. (2015), el cual se basa en diagrama de azimuts, y simplifica el trabajo para obtener las características geométricas, a diferencia de un levantamiento topográfico y gabinete el cual involucra más tiempo y costo.
- Sobre los 11 planes de inversión de vías propuestas por le iRAP, se recomienda implementar en la vía en estudio, debido a que reduciría en un 45% las víctimas mortales.



BIBLIOGRAFÍA

- Diaz Orta, D. A. (2015). *Recomendaciones para aumentar la seguridad vial en la red carretera federal, aplicando la metodología iRAP - caso de estudio: Jaime Guillermo*. Morelia, Mexico.
- Direccion de Seguridad Vial, D. (2022). *Informe de victimas fatales en siniestros de transito e identificacion de puntos de alta siniestralidad en la region Cusco*. Lima: Observatorio Nacional de Seguridad Vial.
- Echeveguren et al, T. (2015). *Criterios para el analisis de consistencia del diseño geometrico: Velocidad, Friccion, Visibilidad y Criterios agregados*. Concepcion, Chile.
- Felipe Chiquito, E. A. (2014). *Analisis de Consistencia del trazado en caminos de montaña, en la republica de Guatemala*. Guatemala.
- Feliz Perez, W. A. (2020). *Evaluación de la seguridad vial y propuestas de mejora de las carreteras CV-31, pp.kk. 0+000 al 4+225 y CV-310, pp.kk. 0+000 al 0+725 (Tramo: Paterna-Godella), utilizando la metodología iRAP*. Valencia.
- Gallegos Acevedo, G. E. (2013). *Analisi de Consistencia en el diseño geoemtrico de curvas inveras*. Concepcion, Chile.
- Garcia Deprestre et al, R. (2012). Modelos de perfil de velocidad para evaluación de consistencia del trazado en carreteras de la provincia de Villa Clara, Cuba. *Revista Ingeniería de Construcción Vol. 27 N°2, 12*.
- Garcia Garcia et al, A. (2013). Consistencia del diseño geometrico de carreteras: concepto y criterios. *Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes UPV, 10*.
- Garcia Garcia et al, A. (2016). *Nuevo proceso de diseño geométrico para unas carreteras convencionales más seguras*. Valencia: Plataforma Tecnológica Española de la Carretera (PTC).
- Garcia Jimenez, M. E. (2017). *Desarrollo de modelos de velocidades de operacion de vehiculos, considerando sus características geometricas y operacionales*. Valencia.
- García Ramírez, Y. D. (2014). *Aceleraciones y desaceleraciones de vehiculos livianos en camino de montaña*. San Juan, Argentina.
- Gomez Allende, G. R. (2020). *Evaluacion de la seguridad Vial de la Carretera CV-310 entre los PPKK 9+185 Y 20+240 (TRAMO “BÉTERA – SERRA”), utilizando la metodología iRAP*. Valencia.



- Gomez Gonzales et al, N. (2015). *Mejoras de Seguridad Vial de la Infraestructura de un tramo carretero, a partir de su evaluación iRAP*. Mexico.
- Hurtado Beltrán, A. (2015). Aplicación de la metodología iRAP y el software ViDA-iRAP en un tramo de autopista en México. *Revista Infraestructura Vial / LanammeUCR / ISSN: 2215-3705 / Volumen 17, 12*.
- International Road Assessment Programme, i. (Fecha de consulta 10 de Octubre de 2023). *Calificación con estrellas para vías más seguras*. Obtenido de ViDA: https://vida.irap.org/en-gb/?return_data=%7B%22returnURL%22%3A%22https%253A%252F%252Fvida.irap.org%252Fen-gb%252Fdashboard%22%7D
- International Road Assessment Programme, i. (Fecha de consulta 18 de Octubre de 2023). *Planes de inversión para vías más seguras*. Obtenido de ViDA: https://vida.irap.org/en-gb/results/investment_plans/srip?report_filters=%7B%22filter_1%22%3A%22497426%22%7D
- International Road Assessment Programme, i. (fecha de consulta 8 de Octubre de 2023). *PROGRAMME INTERNATIONAL ROAD ASSESSMENT*. Obtenido de iRAP: <https://irap.org/es/about-us/>
- iRAP, V. (2023). *Manual de codificación del iRAP*. FOUNDATION.
- Llopis Castelló et al, D. (2018). Análisis de la seguridad vial mediante modelos globales de consistencia. *Ingeniería e Infraestructura de los Transportes UPV*, 11.
- Llopis Castelló et al, D. (2018). Análisis de la seguridad vial mediante modelos locales de consistencia. *Ingeniería e Infraestructura de los Transportes UPV*, 11.
- Llopis Castello, D. (2017). *Desarrollo de una metodología para el diseño y mejora de carreteras convencionales a partir del análisis de la seguridad vial mediante modelos de consistencia*. Valencia.
- Mestanza Rosero, R. C. (2019). *Estudio de la mejora de la seguridad vial en la carretera E35/E50, tramo Loja-Catamayo de la provincia de Loja, Ecuador*. Valencia.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, M. (2018). *Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial*. Lima, Peru.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, M. (2016). *Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras*. Lima, Peru.



- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, M. (2018). *Manual de Diseño Geométrico DG-2018*. Lima, Peru.
- Ministerio Transportes y Comunicaciones, M. (2017). *Manual de Seguridad Vial*. Lima, Peru.
- Municipalidad Distrital de San Sebastian, M. (2008). *MEJORAMIENTO CARRETERA SANTUTIS CHICO, CC. PUMAMARCA, ABRA SAN MARTIN PUERTO DEL, DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN - CUSCO - CUSCO*. San Sebastian, Cusco.
- Olvera Andrade, J. A. (2016). *Evaluación de la Seguridad Vial de la Autopista México- Cuernavaca mediante la Metodología de Calificación por Estrellas del iRAP (International Road Assessment Programme)*. Mexico.
- Organización Mundial de la Salud, O. (Fecha de visita 2 de Setiembre de 2023). *Séptima Semana Mundial de las Naciones Unidas para la Seguridad Vial*. Obtenido de <https://www.who.int/es/campaigns/un-global-road-safety-week/2023>
- Pérez Castro et al, J. G. (2013). *Proyecto de mejoramiento de un tramo carretero a partir de su evaluación con el modelo iRAP*. Mexico.
- Quiñonez Rosales, E. R. (2011). *Planeamiento y diseño preliminar de carriles de sobrepaso para vías de primer orden en zonas accidentadas y de altura*. Lima, Peru.
- Sánchez Ordóñez, J. F. (2011). *Metodología para la evaluación de la consistencia del trazado de carreteras interurbanas de dos carriles*. Madrid, España.
- Torres Calderón et al, D. A. (2015). *Inspecciones de seguridad Vial*. Lima, Peru.



ANEXOS

ANEXO 1. Condiciones Detalladas de la Codificación del Tramo de Estudio

Tabla Nº 53 Condición del borde del camino

| Severidad en la carretera: distancia del lado del conductor | kilómetros | % |
|--|-------------------|----------|
| 0 a <1m | 2,80 | 30 |
| 1 a <5m | 5 | 54 |
| 5 a <10m | 1,50 | 16 |
| >= 10m | 0 | 0 |
| Gravedad en la carretera: objeto del lado del conductor | kilómetros | % |
| Barrera de seguridad - metálica | 0,50 | 5 |
| Barrera de seguridad - hormigón | 0 | 0 |
| Barrera de seguridad - apta para motocicletas | 0 | 0 |
| Barrera de seguridad - cable metálico | 0 | 0 |
| Cara vertical agresiva | 0 | 0 |
| Pendiente ascendente - gradiente de vuelco | 1 | 11 |
| Pendiente ascendente - pendiente sin vuelco | 0,40 | 4 |
| Zanja de drenaje profundo | 2.1 | 23 |
| Pendiente descendente | 4.2 | 45 |
| Acantilado | 0,10 | 1 |
| Árbol >=10cm de diámetro. | 0 | 0 |
| Letrero, poste o poste >= 10 cm de diámetro. | 0,10 | 1 |
| Estructura/puente o edificio rígido | 0,70 | 8 |
| Estructura o edificio semirrígido | 0,20 | 2 |
| Extremo de la barrera de seguridad desprotegido | 0 | 0 |
| Grandes rocas >=20 cm de altura | 0 | 0 |
| Ninguno | 0 | 0 |
| Severidad en la carretera: distancia del lado del pasajero | kilómetros | % |
| 0 a <1m | 9 | 97 |
| 1 a <5m | 0,20 | 2 |
| 5 a <10m | 0,10 | 1 |
| >=10m | 0 | 0 |
| Gravedad en la carretera: objeto del lado del pasajero | kilómetros | % |
| Barrera de seguridad - metálica | 0,20 | 2 |
| Barrera de seguridad - hormigón | 0 | 0 |



| | | |
|--|-------------------|----------|
| Barrera de seguridad - apta para motocicletas | 0 | 0 |
| Barrera de seguridad - cable metálico | 0 | 0 |
| Cara vertical agresiva | 0 | 0 |
| Pendiente ascendente - gradiente de vuelco | 0 | 0 |
| Pendiente ascendente - pendiente sin vuelco | 0 | 0 |
| Zanja de drenaje profundo | 8.9 | 96 |
| Pendiente descendente | 0,20 | 2 |
| Acantilado | 0 | 0 |
| Árbol >= 10 cm de diámetro. | 0 | 0 |
| Letrero, poste o poste >=10 cm de diámetro. | 0 | 0 |
| Estructura/puente o edificio rígido | 0 | 0 |
| Estructura o edificio semirrígido | 0 | 0 |
| Extremo de la barrera de seguridad desprotegido | 0 | 0 |
| Grandes rocas >= 20 cm de altura | 0 | 0 |
| Ninguno | 0 | 0 |
| Bandas sonoras para hombros | kilómetros | % |
| No presente | 9.3 | 100 |
| Presente | 0 | 0 |
| Banquina pavimentada - lado del conductor | kilómetros | % |
| Ancho (>= 2,4m) | 0 | 0 |
| Mediano (>= 1,0 ma < 2,4 m) | 0 | 0 |
| Estrecho (>= 0 ma < 1,0 m) | 9.3 | 100 |
| Ninguno | 0 | 0 |
| Banquina pavimentada - lado del pasajero | kilómetros | % |
| Ancho (>= 2,4m) | 0 | 0 |
| Mediano (>= 1,0 ma < 2,4 m) | 0 | 0 |
| Estrecho (>= 0 ma < 1,0 m) | 9.2 | 99 |
| Ninguno | 0,10 | 1 |

Fuente: Irap – VIDA

Tabla N° 54 Condición de las características de la vía.

| Etiqueta de calzada | km | % |
|--|-----|-----|
| Cuerpo A de una carretera de cuerpos separados | 0 | 0 |
| Cuerpo B de una carretera de cuerpos separados | 0 | 0 |
| Carretera no dividida | 9.3 | 100 |
| Cuerpo A de la infraestructura para moto | 0 | 0 |



| | | |
|--|-----------|----------|
| Cuerpo B de la infraestructura para moto | 0 | 0 |
| Costo de modernización | km | % |
| Bajo | 0.5 | 5 |
| Medio | 0.7 | 8 |
| Alto | 8.1 | 87 |
| Tipo de separador central | km | % |
| Barrera de seguridad - metal | 0 | 0 |
| Barrera de seguridad - concreto | 0 | 0 |
| Faja separadora central física de ancho $\geq 20m$ | 0 | 0 |
| Faja separadora central física de ancho $\geq 10m$ y $< 20m$ | 0 | 0 |
| Faja separadora central física de ancho $\geq 5m$ y $< 10m$ | 0 | 0 |
| Faja separadora central física de ancho $\geq 1m$ y $< 5m$ | 0 | 0 |
| Faja separadora central física de ancho $\geq 0m$ y $< 1m$ | 0 | 0 |
| Carril central continuo para vueltas | 0 | 0 |
| Indicadores de alineamiento flexibles | 0 | 0 |
| Raya separadora de sentidos de circulación doble $>1m$ y rayas diagonales a 45° | 0 | 0 |
| Línea central | 9.3 | 100 |
| Barrera de seguridad - amigable para motocicletas | 0 | 0 |
| Un solo sentido | 0 | 0 |
| Raya separadora de sentidos de circulación doble (0.3m a 1m) y rayas diagonales a 45° | 0 | 0 |
| Barrera de seguridad - cables | 0 | 0 |
| Banda de alerta en el centro de la carretera | km | % |
| Ausente | 9.3 | 100 |
| Presente | 0 | 0 |
| Número de carriles | km | % |
| Uno | 9.2 | 99 |
| Dos | 0.1 | 1 |
| Tres | 0 | 0 |
| Cuatro o más | 0 | 0 |
| Dos y uno | 0 | 0 |
| Tres y uno | 0 | 0 |
| Ancho de carril | km | % |
| Ancho ($\geq 3.25 m$) | 0 | 0 |
| Medio ($\geq 2.75 m$ y $< 3.25 m$) | 9.3 | 100 |
| Estrecho ($\geq 0 m$ y $< 2.75 m$) | 0 | 0 |
| Curvatura | km | % |
| Recta o ligeramente curvo | 6.9 | 74 |
| Moderada | 0.8 | 9 |



| | | |
|--|-----------|----------|
| Cerrada | 1 | 11 |
| Muy cerrada | 0.6 | 6 |
| Calidad de la curva | km | % |
| Adecuado | 0 | 0 |
| Deficiente | 2.4 | 26 |
| No aplica | 6.9 | 74 |
| Pendiente | km | % |
| >= 0% y <7.5% | 4 | 43 |
| No aplica | 0 | 0 |
| No aplica | 0 | 0 |
| >= 7.5% y <10% | 5.1 | 55 |
| >= 10% | 0.2 | 2 |
| Condición del camino | km | % |
| Bueno | 9.2 | 99 |
| Regular | 0.1 | 1 |
| Malo | 0 | 0 |
| Resistencia al deslizamiento | km | % |
| Pavimentada - adecuado | 0 | 0 |
| Pavimentada - regular | 9.3 | 100 |
| Pavimentada - pobre | 0 | 0 |
| Revestida - adecuada | 0 | 0 |
| Revestida - pobre | 0 | 0 |
| Señalamiento | km | % |
| Adecuado | 0 | 0 |
| Deficiente | 9.3 | 100 |
| Alumbrado público | km | % |
| Ausente | 9.3 | 100 |
| Presente | 0 | 0 |
| Estacionamiento para ocupantes de vehículos | km | % |
| Bajo | 9.3 | 100 |
| Medio | 0 | 0 |
| Alto | 0 | 0 |
| Calle de servicio | km | % |
| Ausente | 9.3 | 100 |
| Presente | 0 | 0 |
| Obras | km | % |
| Sin obras | 9.3 | 100 |



| | | |
|---------------------------------|-----------|----------|
| Obra menor en proceso | 0 | 0 |
| Obra mayor en proceso | 0 | 0 |
| Distancia de visibilidad | km | % |
| Adecuado | 8.1 | 87 |
| Deficiente | 1.2 | 13 |

Fuente: Irap – VIDA

Tabla Nº 55 Condición del flujo vehicular

| Flujo observado de motocicletas | km | % |
|--|-----------|----------|
| Ninguno | 9.3 | 100 |
| 1 moto observada | 0 | 0 |
| 2 a 3 motocicletas observadas | 0 | 0 |
| 4 a 5 motocicletas observadas | 0 | 0 |
| 6 a 7 motocicletas observadas | 0 | 0 |
| 8 ó más motocicletas observadas | 0 | 0 |
| Flujo observado de bicicletas | km | % |
| Ninguna | 9.3 | 100 |
| 1 bici observada | 0 | 0 |
| 2 a 3 bicicletas observadas | 0 | 0 |
| 4 a 5 motocicletas observadas | 0 | 0 |
| 6 a 7 motocicletas observadas | 0 | 0 |
| 8 ó más motocicletas observadas | 0 | 0 |
| Flujo observado de peatones cruzando la carretera | km | % |
| Ninguna | 9.3 | 100 |
| 1 peatón observado cruzando | 0 | 0 |
| 2 a 3 peatones observados cruzando | 0 | 0 |
| 4 a 5 peatones observados cruzando | 0 | 0 |
| 6 a 7 peatones observados cruzando | 0 | 0 |
| 8 ó más peatones observados cruzando | 0 | 0 |
| Flujo observado de peatones a lo largo de la carretera del lado del conductor | km | % |
| Ninguna | 9.3 | 100 |
| 1 peatón observado a lo largo del camino del lado del conductor | 0 | 0 |
| 2 a 3 peatones observados a lo largo del camino del lado del conductor | 0 | 0 |
| 4 a 5 peatones observados a lo largo del camino del lado del conductor | 0 | 0 |
| 6 a 7 peatones observados a lo largo del camino del lado del conductor | 0 | 0 |
| 8 ó más peatones observados a lo largo del camino del lado del conductor | 0 | 0 |



| Flujo observado de peatones a lo largo de la carretera del lado del copiloto | km | % |
|---|-----------|----------|
| Ninguno | 9.3 | 100 |
| 1 peatón observado a lo largo del camino del lado del copiloto | 0 | 0 |
| 2 a 3 peatones observados a lo largo del camino del lado del copiloto | 0 | 0 |
| 4 a 5 peatones observados a lo largo del camino del lado del copiloto | 0 | 0 |
| 6 a 7 peatones observados a lo largo del camino del lado del copiloto | 0 | 0 |
| 8 ó más peatones observados a lo largo del camino del lado del copiloto | 0 | 0 |
| Flujo vehicular (TDPA) | km | % |
| 0 - 1000 | 9.3 | 100 |
| 1000 - 5000 | 0 | 0 |
| 5000 - 10000 | 0 | 0 |
| 10000 - 15000 | 0 | 0 |
| 15000 - 20000 | 0 | 0 |
| 20000 - 40000 | 0 | 0 |
| 40000 - 60000 | 0 | 0 |
| 60000 - 80000 | 0 | 0 |
| 80000 - 100000 | 0 | 0 |
| mas de 100000 | 0 | 0 |
| % motocicletas | km | % |
| No registrado | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 1% - 5% | 9.3 | 100 |
| 6% - 10% | 0 | 0 |
| 11% - 20% | 0 | 0 |
| 21% - 40% | 0 | 0 |
| 41% - 60% | 0 | 0 |
| 61% - 80% | 0 | 0 |
| 81% - 99% | 0 | 0 |
| 100% | 0 | 0 |
| Flujo peatonal en hora pico cruzando la carretera | km | % |
| 0 | 8.1 | 87 |
| 1 a 5 | 1 | 11 |
| 6 a 25 | 0.1 | 1 |
| 26 a 50 | 0.1 | 1 |
| 51 a 100 | 0 | 0 |
| 101 a 200 | 0 | 0 |
| 201 a 300 | 0 | 0 |
| 301 a 400 | 0 | 0 |
| 401 a 500 | 0 | 0 |
| 501 a 900 | 0 | 0 |
| 900+ | 0 | 0 |



| Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera del lado del conductor | km | % |
|--|-----------|----------|
| 0 | 7.8 | 84 |
| 1 a 5 | 1.3 | 14 |
| 6 a 25 | 0.1 | 1 |
| 26 a 50 | 0.1 | 1 |
| 51 a 100 | 0 | 0 |
| 101 a 200 | 0 | 0 |
| 201 a 300 | 0 | 0 |
| 301 a 400 | 0 | 0 |
| 401 a 500 | 0 | 0 |
| 501 a 900 | 0 | 0 |
| 900+ | 0 | 0 |
| Flujo peatonal en hora pico a lo largo de la carretera del lado del copiloto | km | % |
| 0 | 8 | 86 |
| 1 a 5 | 1.1 | 12 |
| 6 a 25 | 0.1 | 1 |
| 26 a 50 | 0.1 | 1 |
| 51 a 100 | 0 | 0 |
| 101 a 200 | 0 | 0 |
| 201 a 300 | 0 | 0 |
| 301 a 400 | 0 | 0 |
| 401 a 500 | 0 | 0 |
| 501 a 900 | 0 | 0 |
| 900+ | 0 | 0 |
| Flujo de bicicletas en hora pico | km | % |
| Ninguna | 0.2 | 2 |
| 1 a 5 | 9.1 | 98 |
| 6 a 25 | 0 | 0 |
| 26 a 50 | 0 | 0 |
| 51 a 100 | 0 | 0 |
| 101 a 200 | 0 | 0 |
| 201 a 300 | 0 | 0 |
| 301 a 400 | 0 | 0 |
| 401 a 500 | 0 | 0 |
| 501 a 900 | 0 | 0 |
| 900+ | 0 | 0 |

Fuente: Irap – VIDA

Tabla N° 56 Condición infraestructura para usuarios vulnerables y uso de suelo

| Uso de suelo del lado del conductor | km | % |
|---|-----------|----------|
| Áreas sin desarrollo | 7.8 | 84 |
| Agricultura y ganadería | 0 | 0 |
| Residencial | 1.5 | 16 |
| Comercial | 0 | 0 |
| Sin registro | 0 | 0 |
| Educacional | 0 | 0 |
| Industrial y manufacturero | 0 | 0 |
| Uso de suelo del lado del copiloto | km | % |
| Áreas sin desarrollo | 7.8 | 84 |
| Agricultura y ganadería | 0 | 0 |
| Residencial | 1.5 | 16 |
| Comercial | 0 | 0 |
| Sin registro | 0 | 0 |
| Educacional | 0 | 0 |
| Industrial y manufacturero | 0 | 0 |
| Tipo de área | km | % |
| Rural/ área abierta | 7.8 | 84 |
| Urbano/ población pequeña o pueblo | 1.5 | 16 |
| Infraestructura de cruce peatonal en carretera inspeccionada | km | % |
| Infraestructura a desnivel | 0 | 0 |
| Semaforizada con refugio | 0 | 0 |
| Semaforizada sin refugio | 0 | 0 |
| No semaforizada, señalizada con pintura y con refugio | 0 | 0 |
| No semaforizada, señalizada con pintura y sin refugio | 0.8 | 9 |
| Sólo refugio | 0 | 0 |
| Sin infraestructura | 8.5 | 91 |
| Cruce demarcado elevado, sin semáforo, con refugio | 0 | 0 |
| Cruce demarcado elevado, sin semáforo, sin refugio | 0 | 0 |
| Cruce no demarcado elevado, con refugio | 0 | 0 |
| Cruce no demarcado elevado, sin refugio | 0 | 0 |
| Calidad de cruce peatonal | km | % |
| Adecuado | 0 | 0 |
| Deficiente | 0.8 | 9 |
| No aplica | 8.5 | 91 |
| Infraestructura de cruce peatonal en carretera secundaria | km | % |
| Infraestructura a desnivel | 0 | 0 |
| Semaforizada con refugio | 0 | 0 |
| Semaforizada sin refugio | 0 | 0 |
| No semaforizada, señalizada con pintura y con refugio | 0 | 0 |
| No semaforizada, señalizada con pintura y sin refugio | 0.8 | 9 |
| Sólo refugio | 0 | 0 |

| | | |
|--|-----------|----------|
| Sin infraestructura | 8.5 | 91 |
| Cruce demarcado elevado sin señalizar, con refugio | 0 | 0 |
| Cruce demarcado elevado sin señalizar, sin refugio | 0 | 0 |
| Cruce no demarcado elevado, con refugio | 0 | 0 |
| Cruce no demarcado elevado, sin refugio | 0 | 0 |
| Cerca para contener peatones | km | % |
| Ausente | 9.3 | 100 |
| Presente | 0 | 0 |
| Banqueta del lado del conductor | km | % |
| Barrera física | 0 | 0 |
| Separación no-física ≥ 3.0 m | 0 | 0 |
| Separación no-física 1.0 m a 3.0 m | 0 | 0 |
| Separación no-física 0 m a < 1.0 m | 0 | 0 |
| Vereda ≥ 1.0 m | 0.4 | 4 |
| Vereda 0m a < 1.0 m | 0.4 | 4 |
| Banqueta del lado del copiloto | km | % |
| Barrera física | 0 | 0 |
| Separación no-física ≥ 3.0 m | 0 | 0 |
| Separación no-física 1.0 m a 3.0 m | 0 | 0 |
| Separación no-física 0 m a < 1.0 m | 0 | 0 |
| Ninguno | 8.5 | 91 |
| Vereda ≥ 1.0 m | 0.5 | 5 |
| Vereda 0m a < 1.0 m | 0.3 | 3 |
| Infraestructura para motocicletas | km | % |
| Motovía exclusiva de un sentido con barrera | 0 | 0 |
| Motovía exclusiva de un sentido sin barrera | 0 | 0 |
| Motovía exclusiva de dos sentidos con barrera | 0 | 0 |
| Motovía exclusiva de dos sentidos sin barrera | 0 | 0 |
| Motovía compartida en la carretera | 0 | 0 |
| Ninguno | 9.3 | 100 |
| Infraestructura para bicicletas | km | % |
| Vía fuera de la carretera con barrera | 0 | 0 |
| Vía fuera de la carretera | 0 | 0 |
| Carril en la carretera | 0 | 0 |
| Ninguno | 9.3 | 100 |
| Extremo derecho extra-ancho ≥ 4.2 m | 0 | 0 |
| Vía compartida con señalamiento vertical | 0 | 0 |
| Ciclovía de uso compartido | 0 | 0 |
| Señal de Cuidado, zona escolar | km | % |
| Balizas interminentes en zona escolar | 0 | 0 |
| Señalización estática o demarcación horizontal en zona escolar | 0 | 0 |
| Sin señal de cuidado, zona escolar | 0 | 0 |
| No aplica (ho hay escuela en el lugar) | 9.3 | 100 |

Fuente: Irap – VIDA