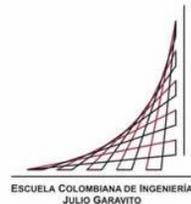


Maestría en Ingeniería Civil

Lineamientos de la seguridad vial aplicados al diseño geométrico de vías, caso de estudio: tramo de vía Inspección La Magdalena (municipio de Quebradanegra) – km 5 vía Útica en el departamento de Cundinamarca.

Ing. Diego Fernando Coronado Soler

Bogotá, D.C., 19 de diciembre de 2023



Lineamientos de la seguridad vial aplicados al diseño geométrico de vías, caso de estudio: tramo de vía Inspección La Magdalena (municipio de Quebradanegra) – km 5 vía Útica en el departamento de Cundinamarca.

Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en Tránsito y Transporte.

Santiago Henao Pérez. M.Sc

Director

Bogotá, D.C., 19 de diciembre de 2023



La tesis de maestría titulada “*Lineamientos de la seguridad vial aplicados al diseño geométrico de vías, caso de estudio: tramo de vía Inspección La Magdalena (municipio de Quebradanegra) – km 5 vía Útica en el departamento de Cundinamarca.*”, presentada por Diego Fernando Coronado Soler, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Tránsito y Transporte.

Santiago Henao Pérez
Director de la tesis

Ing. Santiago Henao Pérez M. Sc

Maritza Villamizar R
Jurado

Ing. Maritza Cecilia Villamizar Roper M. Sc

Ivan Camilo Barahona R
Jurado

Ing. Iván Camilo Barahona Rodríguez M. Sc

Bogotá, D.C., 26 de enero de 2024

Dedicatoria:

Primeramente, quisiera dedicar por primera vez en mi vida algo a mi señor padre Silvio Coronado Borda. *“Papá, te fuiste de este mundo hace 14 años y no pudiste ver ninguno de mis logros, pero aquí estoy, haciendo mi camino y buscando seguir tu ejemplo aplicando las lecciones que en vida me diste, esas que hoy hacen de mí el hijo del cual con gran certeza hubieras sentido orgullo de ver triunfar”.*

Finalmente, también quisiera dedicar este logro a mis hermanas y a mi mamá, quienes a pesar de mi duro temperamento y forma de actuar nunca me han dejado de lado y por el contrario siempre me han apoyado en todos los proyectos y sueños que quiero cumplir, sin ustedes esto no hubiera sido posible, mil gracias.

Agradecimientos:

A mis familiares y amigos que me brindaron su apoyo incondicional durante todo este tiempo, en tiempos difíciles siempre estuvieron allí para mí.

A los ingenieros Santiago Henao Pérez y Maritza Cecilia Villamizar Ropero por su dedicación, orientación, consejos y colaboración en el desarrollo de este trabajo de grado.

A los docentes que tuve a lo largo del programa de maestría, muchas gracias por el conocimiento aportado para mi formación profesional y personal.

A la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito que me permitió desempeñar labores como asistente graduado del centro de estudios de vías y transporte en la institución durante mi estancia en la maestría.

Resumen

La accidentalidad en las vías siempre ha sido considerada una problemática de alto valor social y económico para las naciones, razón por la cual se hace necesario estudiar sus posibles causas de ocurrencia, así mismo, se debe analizar conjuntamente qué factores son los más influyentes para que se presentan dichas eventualidades. De acuerdo con múltiples estudios realizados por numerosas entidades mundiales expertas en temas de seguridad vial, salud, tránsito y, de la mano con organizaciones gubernamentales conjuntas, han llegado a la conclusión de aceptar que cuando se presenta un accidente de tránsito, este se ve influenciado por tres factores principales: el usuario (conductor o peatón), el vehículo y el entorno (infraestructura vial, diseño y condiciones del medio ambiente). Por otra parte, se tiene que las vías son el motor fundamental de la economía de una nación y que su correcto trazado y buen estado se hacen necesarios para que se puedan satisfacer las necesidades del transporte mediante los flujos de personas, mercancías y bienes, lo cual genera desarrollo y productividad para un país.

Para efectos de esta investigación se planteó estudiar a fondo el factor infraestructura, el cual está directamente ligado con el diseño geométrico de las vías y la implicación de los conceptos de seguridad vial y accidentalidad a partir de la aplicación de una metodología exclusiva y delimitada al corredor terciario comprendido entre el sector de Inspección de La Magdalena perteneciente al municipio de Quebradanegra y el kilómetro 5 vía a al municipio de Útica en Cundinamarca. Este estudio se centró en el análisis y rectificación de las variables de diseño horizontal y vertical de dicho corredor a partir de los criterios definidos en el manual vigente de diseño de carreteras de Colombia, así mismo, se tuvo en cuenta el estado actual de la infraestructura vial presente en el sector, se analizó el área de influencia y se generaron propuestas de mejora según lo encontrado.

A lo largo del documento se tiene todo el procedimiento llevado a cabo para analizar la relación entre infraestructura y seguridad vial del corredor; para ello, se realizó la revisión a fondo de literaturas competentes al tema, así mismo, se tomaron como base estudios similares realizados a otros corredores viales con el fin de poder construir la metodología de análisis de la problemática y, a partir de dicho proceso y de la información tratada, se generó un listado de lineamientos de seguridad vial para la carretera en mención.

Finalmente, a partir de la información analizada del tramo de vía se encontró que existen inconsistencias a lo largo de todo el corredor en materia de diseño geométrico, señalización e infraestructura, arrojando como resultado final que esta carretera requiere intervención y rehabilitación total. Así mismo, se obtuvieron conclusiones y recomendaciones útiles para futuros estudios similares y que también podrán ser tenidas en cuenta para las intervenciones que se deseen realizar al corredor vial que se analizó.

Palabras clave: Seguridad vial, diseño geométrico, accidentalidad, infraestructura.

Abstract

Road accidents have always been considered a problem of high social and economic value for nations, which is why it is necessary to study their probable causes of occurrence, as well as to jointly analyze which factors are the most influential for the occurrence of such eventualities. According to multiple studies carried out by numerous world expert entities in road safety, health, and traffic issues, together with joint governmental organizations, they have reached the conclusion of accepting that when a traffic accident occurs, it is influenced by three main factors: the user (driver or pedestrian), the vehicle and the environment (road infrastructure, design, and environmental conditions). On the other hand, roads are the fundamental engine of a nation's economy, and their correct layout and good condition are necessary for transportation through the flow of people, goods, and merchandise, which generates development and productivity for a country.

For the purposes of this research, the infrastructure factor, which is directly linked to the geometric design of roads and the implication of the concepts of road safety and accident rate, was studied by applying an exclusive and limited methodology to the tertiary corridor between the sector of Inspección de La Magdalena belonging to the municipality of Quebradanegra and kilometer 5 on the road to the municipality of Útica in Cundinamarca. This study focused on the analysis and rectification of the horizontal and vertical design variables of this corridor based on the criteria defined in the current Colombian highway design manual. The current state of the road infrastructure in the sector was also considered, the area of influence was analysed and proposals for improvement were generated according to the findings.

Throughout the document, the entire procedure carried out to analyze the relationship between infrastructure and road safety in the corridor is described; for this purpose, a thorough review of relevant literature on the subject was carried out, and similar studies on other road corridors were used as a basis to build the methodology for analyzing the problem and, based on this process and the information processed, a list of road safety guidelines for the road in question was generated.

Finally, based on the information analyzed for the road section, it was found that there are inconsistencies along the entire corridor in terms of geometric design, signaling and infrastructure, resulting in the conclusion that this road requires intervention and total rehabilitation. Likewise, useful conclusions and recommendations were obtained for future similar studies, which may also be considered for the interventions to be conducted in the road corridor analyzed.

Keywords: road safety, geometric design, road accidents, infrastructure.

Tabla de contenido

Introducción	17
Objetivos y alcance.....	20
A. Objetivo general	20
B. Objetivos específicos	20
C. Alcance.....	21
Capítulo I: Accidentalidad y seguridad vial	22
1.1. Accidentalidad y seguridad vial.....	22
1.1.1. Gestión y control de la seguridad vial y la accidentalidad	26
1.2. Comportamiento y gestión de la accidentalidad en Colombia	27
Capítulo II: Diseño geométrico de vías.....	30
2.1. Variables del diseño horizontal	31
2.1.1. Radio de curvatura	31
2.1.2. Longitud de curva circular	31
2.1.3. Longitud de transición.....	32
2.1.4. Entretangencia	32
2.1.5. Peralte	32
2.1.6. Sobreancho	33
2.1.7. Velocidad.....	33
2.2. Variables del diseño vertical	33
2.2.1. Pendiente longitudinal	34
2.2.2. Curva vertical.....	34
2.2.3. Visibilidad	34
2.2.4. Longitud de curva vertical	35
2.2.5. Articulación planta – perfil de una vía	35
2.3. Variables del diseño transversal.....	35
Capítulo III: Factor infraestructura en las vías.....	37
3.1. Aspectos viales complementarios.....	37
3.1.1. Geotecnia: Laderas y taludes	37
3.1.2. Superficie de rodadura.....	38

3.1.3. Señalización vertical y horizontal	38
3.1.4. Elementos de seguridad vial complementarios	40
3.1.5. Intersecciones	41
3.1.6. Bermas y cunetas	42
3.1.7. Obstáculos	42
Capítulo IV: Descripción general del caso de estudio, antecedentes y metodología	44
4.1. Descripción de la vía y de la zona de estudio	44
4.1.1. Topografía del sector	45
4.1.2. Actividad económica del sector	45
4.1.3. Datos de interés adicionales	46
4.2. Antecedentes en Colombia	46
4.2.1. Estudio de seguridad vial mediante criterios IRAP	46
4.2.2. Estudio de rectificación de curvas en un diseño geométrico.....	48
4.3. Antecedentes en Cuba	49
4.3.1. Estudio de seguridad vial y accidentalidad con diseño de vías.....	49
4.4. Antecedentes en España.....	50
4.4.1. Estudio con análisis estadístico de consistencia vial caso 1.....	50
4.4.2. Estudio con análisis estadístico de consistencia vial caso 2.....	51
4.5. Pregunta de investigación	52
4.6. Árbol de problemas.....	52
4.7. Metodología propuesta.....	53
4.7.1. Complementar el estado del arte que se tiene actualmente	53
4.7.2. Revisiones sobre los elementos que componen el diseño geométrico	54
4.7.3. Revisión del manual de diseño geométrico de carreteras.....	54
4.7.4. Delimitar el caso de estudio.....	55
4.7.5. Validar la metodología trabajada sobre los elementos del diseño geométrico mediante la aplicación directa al caso de estudio.....	56
4.7.6. Determinación de lineamientos que se deben aplicar al caso de estudio según la metodología propuesta.....	57
4.7.7. Publicación de los resultados de la investigación	57
4.8. Cuadro metodológico.....	58

Capítulo V: Desarrollo del caso de estudio y análisis de resultados	59
5.1. Clasificación del corredor vial tramo de vía Inspección La Magdalena (municipio de Quebradanegra) – km 5 vía Útica.....	59
5.1.1. Condiciones generales encontradas	59
5.2. Valores normativos sobre el diseño horizontal.....	63
5.2.1. Velocidad de tramos homogéneos	63
5.2.2. Peralte	65
5.2.3. Radio mínimo de curvatura.....	65
5.2.4. Longitud de curva circular mínima.....	66
5.2.5. Entretangencia y longitud de transición	66
5.2.6. Sobreancho	67
5.3. Valores normativos sobre el diseño vertical	68
5.3.1. Pendiente longitudinal mínima y máxima.....	68
5.3.2. Longitud mínima de curva vertical.....	68
5.3.3. Longitud de tangente vertical	69
5.3.4. Parámetro de relación de consistencia entre horizontal y vertical	70
5.3.5. Criterio de visibilidad K.....	71
5.4. Valores normativos sobre infraestructura presente en el corredor	71
5.4.1. Superficie de rodadura.....	72
5.4.2. Señalización.....	72
5.4.3. Elementos complementarios	72
5.4.4. Accesos.....	73
5.4.5. Bermas y cunetas	73
5.4.6. Obstáculos.....	73
5.5. Análisis preliminar según software ViDA de IRAP	74
5.5.1. Sección transversal estándar.....	75
5.5.2. Atributos de la vía	75
5.5.3. Características zona lateral	76
5.5.4. Características ancho, carril y laterales.....	77
5.5.5. Características intersecciones	78
5.5.6. Tránsito.....	78

5.5.7. Obras civiles complementarias	79
5.5.8. Criterios de velocidad.....	79
5.5.9. Análisis arrojado por IRAP.....	80
5.6. Criterios de calificación y análisis de resultados para parámetros del diseño horizontal	80
5.6.1. Peralte	80
5.6.2. Radio mínimo de curvatura.....	83
5.6.3. Longitud de curva circular mínima.....	87
5.6.4. Entretangencia y longitud de transición	90
5.6.5. Sobreancho	96
5.7. Criterios de calificación y análisis de resultados para parámetros del diseño vertical.....	99
5.7.1. Pendiente longitudinal mínima y máxima.....	99
5.7.2. Longitud mínima de curva vertical.....	102
5.7.3. Longitud de tangente vertical	106
5.7.4. Parámetro de relación de consistencia entre horizontal y vertical	109
5.7.5. Criterio de visibilidad K.....	113
5.8. Criterios de calificación y análisis de resultados para parámetros de infraestructura ...	117
5.8.1. Superficie de rodadura.....	117
5.8.2. Señalización.....	118
5.8.3. Elementos complementarios	121
5.8.4. Accesos.....	122
5.8.5. Bermas y cunetas	123
5.8.6. Obstáculos.....	124
Capítulo VI: Lineamientos generales para el corredor vial analizado.	126
6.1. Asignación de criterios de peso a los elementos del diseño horizontal, vertical y de infraestructura del corredor vial terciario y calificación del corredor.	126
6.2. Determinación de lineamientos.....	128
6.2.1. Lineamientos para el diseño horizontal	128
6.2.2. Lineamientos para el diseño vertical.....	129
6.2.3. Lineamientos para el diseño de infraestructura	131
6.3. Cuadro resumen con los lineamientos.....	133
Capítulo VII: Conclusiones y recomendaciones	134

Referencias bibliográficas	137
----------------------------------	-----

Índice de tablas

Tabla 1: Variables para tener en cuenta al determinar causas de un accidente. Fuente: Resolución 0011268 del 6 de diciembre de 2012-----	29
Tabla 2: Datos adicionales del sector de estudio. Fuente: Elaboración propia-----	46
Tabla 3: Elección del criterio de velocidad según el terreno. Fuente: Elaboración propia a partir de manual del INVIAS 2008 -----	63
Tabla 4: Especificaciones para velocidades de tramos homogéneos. Fuente: Elaboración propia a partir de manual del INVIAS 2008 -----	64
Tabla 5: Análisis de velocidad de tramo homogéneo para el corredor vial en estudio. Fuente: Elaboración propia. -----	64
Tabla 6: Radio mínimo con base en criterios de diseño definidos. Fuente: AASHTO (2004)-----	65
Tabla 7: Valores de pendiente máxima en diseño vertical. Fuente: INVIAS (2008) -----	68
Tabla 8: Longitudes mínimas de tangente vertical. Fuente: INVIAS (2008) -----	69
Tabla 9: Criterios de distancia de visibilidad para curvas cóncavas y convexas. Fuente: INVIAS (2008)-----	71
Tabla 10: Accidentalidad según orden de obstáculos. Fuente: Fondo de prevención vial (2012) ---	73
Tabla 11: Tabla de criterios de calificación para peraltes.-----	81
Tabla 12: Análisis cuantitativo de la variable de peralte. Fuente: Elaboración propia -----	81
Tabla 13: Criterios de calificación para radio mínimo de curvas horizontales-----	83
Tabla 14: Calificación con criterios cuantitativos para el radio de curvatura mínimo en curvas horizontales. Fuente: Elaboración propia -----	84
Tabla 15: Criterios de calificación para longitud mínima de curvas horizontales-----	87
Tabla 16: Calificación con criterios cuantitativos para la longitud de curvatura mínima en curvas horizontales. Fuente: Elaboración propia -----	88
Tabla 17: Criterios de calificación para entretangencia mínima de curvas horizontales en un mismo sentido -----	91
Tabla 18: Criterios de calificación para entretangencia mínima de curvas horizontales en diferente sentido -----	91
Tabla 19: Calificación con criterios cuantitativos para la entretangencia entre curvas mínima en el diseño horizontales. Fuente: Elaboración propia-----	91
Tabla 20: Calificación con criterios cuantitativos para el sobrancho en curvas del diseño horizontales. Fuente: Elaboración propia -----	96
Tabla 21: Cálculo de valores de sobrancho en las curvas horizontales de condición actual. Fuente: Elaboración propia -----	96
Tabla 22: Criterios de calificación para la pendiente mínima y máxima del diseño vertical -----	99
Tabla 23: Calificación con criterios cuantitativos para las pendientes máximas y mínimas en el diseño vertical. Fuente: Elaboración propia -----	99
Tabla 24: Criterios de calificación para longitud mínima de curvas verticales en ambos casos----	102

Tabla 25: Calificación con criterios cuantitativos para longitud mínima de curvas verticales. Fuente: Elaboración propia -----	103
Tabla 26: Criterios de calificación para longitudes de tangentes verticales -----	106
Tabla 27: Calificación con criterios cuantitativos para la longitud de tangente vertical. Fuente: Elaboración propia -----	106
Tabla 28: Criterios de calificación para consistencia entre diseño horizontal y vertical -----	109
Tabla 29: Calificación con criterios cuantitativos para la consistencia de diseño planta y perfil. Fuente: Elaboración propia -----	110
Tabla 30: Criterios de calificación para visibilidad K en curvas verticales de tipo cóncavas.-----	113
Tabla 31: Criterios de calificación para visibilidad K en curvas verticales de tipo convexas.-----	113
Tabla 32: Calificación con criterios cuantitativos para la visibilidad en el diseño vertical. Fuente: Elaboración propia -----	114
Tabla 33: Criterio de calificación para superficie de rodadura. -----	117
Tabla 34: Calificación con criterios cuantitativos y cualitativos para la señalización presente en vía. Fuente: Elaboración propia -----	118
Tabla 35: Calificación con criterios cuantitativos y cualitativos para los elementos complementarios existentes en vía. Fuente: Elaboración propia-----	121
Tabla 36: Calificación general de las intersecciones presentes en el corredor vial analizado. Fuente: Elaboración propia. -----	122
Tabla 37: Calificación general de los criterios de bermas y cunetas presentes en el corredor vial analizado. Fuente: Elaboración propia. -----	123
Tabla 38: Criterios de peso y calificación del corredor con todos los elementos analizados. Fuente: Elaboración propia. -----	126
Tabla 39: Resumen de los lineamientos y valores normativos del caso de estudio. Fuente: Elaboración propia. -----	133

Índice de figuras

Ilustración 1: Enfoque tradicional de la seguridad vial. Fuente de elaboración propia -----	22
Ilustración 2: Nuevo enfoque de la gestión de la seguridad vial. Fuente: Intránsito; Tomado de: https://intransito.edu.co/planes-estrategicos-seguridad-vial/ -----	23
Ilustración 3: Muertes por accidentes de tránsito por cada 100000 habitantes. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del portal El Orden Mundial (2017) -----	25
Ilustración 4: Ocurrencia de accidentes de tránsito a nivel nacional. Fuente: Elaborada a partir de los datos de la ANSV -----	27
Ilustración 5: Elementos que componen el diseño geométrico de la vía. Fuente: Elaboración propia. -----	30
Ilustración 6: Elementos que componen el diseño transversal de una vía. Fuente: Manual de diseño geométrico de vías 2008 (INVIAS).-----	36
Ilustración 7: Mapa con ubicación del tramo de estudio. Fuente: Google Earth -----	44
Ilustración 8: Topografía del sector en escala de colores y elevaciones. Fuente: Elaboración propia -----	45
Ilustración 9: Clasificación por estrellas del IRAP. Fuente: elaboración propia, información tomada de https://irap.org/es/rap-tools/infrastructure-ratings/star-ratings/ -----	47
Ilustración 10: Tasa promedio de accidentes VS nivel de consistencia de la vía. Fuente: Llopis (2018)-----	50
Ilustración 11: Metodología de Polus. Consistencia del diseño VS variación de la velocidad. Fuente: Morcillo (2014)-----	51
Ilustración 12: Árbol de problemas generado a partir de la pregunta de investigación. Fuente: elaboración propia. -----	53
Ilustración 13: Cuadro metodológico de la investigación. Fuente: elaboración propia. -----	58
Ilustración 14: Imagen de una sección del corredor con su ancho. Fuente: Registro fotográfico propio -----	60
Ilustración 15: Falencia encontrada con respecto al tránsito de peatones en la vía estudiada. Fuente: Registro fotográfico propio -----	61
Ilustración 16: Fallas en el ancho de vía. Fuente: Registro fotográfico propio -----	61
Ilustración 17: Pérdida de visibilidad del trazado en vertical. Fuente: Registro fotográfico propio-----	62
Ilustración 18: Ausencia de señalización horizontal, pérdida total de zona lateral y presencia de obstáculos naturales potencialmente peligrosos. Fuente: Registro fotográfico propio -----	62
Ilustración 19: Zona de alto flujo peatonal en el sector sin presencia de señalización alguna. Fuente: Registro fotográfico propio.-----	62
Ilustración 20: Criterios de A para curvas verticales cóncavas. Fuente: INVIAS (2008) -----	70
Ilustración 21: Criterios de A para curvas verticales convexas. Fuente: INVIAS (2008) -----	70
Ilustración 22: Esquema normativo para instalación de señales verticales en zona rural. Fuente: Manual de Señalización Vial INVIAS (2015) -----	72
Ilustración 23: Sección transversal para ingreso a software. Fuente: IRAP -----	75

Ilustración 24: Atributos de la vía solicitados por el software. Fuente: IRAP -----	75
Ilustración 25: Características de zona lateral según software. Fuente: IRAP -----	76
Ilustración 26: Elementos de ancho, carril y laterales para software. Fuente: IRAP -----	77
Ilustración 27: Información sobre intersecciones para software. Fuente: IRAP -----	78
Ilustración 28: Variables del tránsito para el software. Fuente: IRAP -----	78
Ilustración 29: Obras complementarias pedidas por el software. Fuente: IRAP -----	79
Ilustración 30: Criterios de velocidad ingresados en el software. Fuente: IRAP -----	79
Ilustración 31: Cantidad de estrellas por calificación del corredor para cada usuario según IRAP. Fuente: IRAP -----	80
Ilustración 32: Estadísticos del parámetro Rc -----	87
Ilustración 33: Análisis estadístico de las condiciones de Lc min -----	90
Ilustración 34: Análisis estadístico de las condiciones de entretangencia mínima -----	95
Ilustración 35: Análisis estadístico de las condiciones de pendientes longitudinales en el alineamiento vertical -----	102
Ilustración 36: Análisis estadístico de las condiciones de longitud de curva vertical mínima -----	105
Ilustración 37: Análisis estadístico de las condiciones de tangencia vertical -----	109
Ilustración 38: Análisis estadístico de las condiciones de consistencia en el diseño planta - perfil	113
Ilustración 39: Análisis estadístico de las condiciones de visibilidad en el corredor vial -----	116

Introducción

Una carretera debe ser diseñada con la intención de movilizar personas, mercancías y bienes de una manera económica, segura y eficaz. Para que dicho diseño de la infraestructura carretable cumpla con todos los estándares expuestos anteriormente y pueda colocarse al servicio a una comunidad, se tiene que partir de la condición de que todas las vías deben soportarse con ciertos estándares técnicos y de diseño en cuanto a geometría horizontal y vertical de las curvas que la componen junto con unas distancias prudenciales y justificadas entre los tramos rectos que las separan, a su vez, posee unos parámetros únicos de diseño que se delimitan a partir de la topografía del sector y el área de influencia donde se vaya a construir la carretera.

Teniendo en cuenta que para construir una vía se requiere seguir las normativas de diseño que cada país define puntualmente en sus manuales, se tiene entonces que hay parámetros técnicos adicionales que no se deben pasar por alto, tales como la clasificación del tipo de vía por diseñar, la velocidad de operación con la que los usuarios puedan transitar sobre ella de manera segura y sin sufrir algún tipo de accidente, la ruta definida y los puntos por conectar mediante su trazado, las diferentes obras civiles que la complementan, la geología, hidrografía y demás condiciones ambientales y técnicas presentes en el sector de construcción que deban ser analizadas con el fin de dar como entregable una vía en condiciones de operabilidad y servicio adecuadas para cubrir las múltiples necesidades de transporte de los usuarios de una población.

Si el compendio de características enunciadas anteriormente no se llegase a cumplir, se tendrían como resultado carreteras en mal estado y condiciones de operabilidad deficientes, desencadenando así en la ocurrencia de accidentes de tránsito, en pérdidas de vidas y en daños importantes a la infraestructura vial en términos constructivos, lo cual trae como consecuencias a las naciones el tener que asumir pérdidas millonarias que se reflejan en reconstrucción de vías que aún no cumplen su vida útil, en reparar a las familias de las víctimas implicadas en los siniestros viales y en pérdidas de talento humano.

Según el informe presentado por la Organización Mundial de la Salud (WHO), acerca de la Situación Mundial De la Seguridad Vial de 2018, durante el año 2016 (periodo estudiado en dicho informe) el número de muertes alcanzado por los accidentes de tránsito fue de 1.35 millones y la población más afectada fueron personas menores de 29 años (población más

activa en términos laborales y productivos de una nación), lo cual representa una preocupación que no se puede pasar por alto y que necesita ser investigada a fondo con el fin de reducir las cifras presentadas y reevaluar las medidas en cuanto a educación en las personas sobre este tema y respecto a las condiciones de operación de las vías que se encuentran en servicio en el mundo.

Para este trabajo de investigación se presenta el caso de un corredor vial terciario ubicado en el departamento de Cundinamarca en Colombia, el cual tiene bastantes años de construcción y poca o nula intervención por parte de los entes que están a cargo de su mantenimiento, al cual se le aplicó una metodología de análisis de seguridad vial y rectificación de su diseño geométrico en condiciones actuales y, basándose en la pregunta de investigación formulada para este documento; ¿Existen en Colombia lineamientos que relacionen la seguridad vial y el diseño geométrico con el fin de garantizar que las infraestructuras viales existentes o por diseñar a futuro sean más seguras y se pueda mitigar en ellas la ocurrencia de accidentes de tránsito?, se definieron seis capítulos que estructuran y justifican todo el desarrollo de este documento.

Para aclarar mejor el contexto de dichos capítulos, en el primero se plasma todo lo relacionado con el estado del arte y cifras de accidentalidad junto con los conceptos y teorías de la seguridad vial; el segundo tiene como fin explicar todo lo relacionado al diseño geométrico de una vía basándose en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de Colombia en su versión más reciente del año 2008 donde se especifican todos los criterios necesarios a tener en cuenta para el trazado tanto en planta como en perfil y en diseño transversal de un camino carretable y las restricciones que se deben tener según la clasificación del tipo de infraestructura vial a diseñar; el tercero desglosa el factor infraestructura vial desde el punto de vista constructivo de acuerdo con manuales y guías técnicas de diseño para elementos de contención lateral y zonas laterales, por otra parte también se expone el factor infraestructura bajo el enfoque de seguridad vial.

el cuarto capítulo describe todo el caso de estudio desde el punto de vista de análisis del área de influencia, estado actual de la vía, estado actual de las diferentes obras de infraestructura que la componen, información demográfica y descripción general de zona delimitada; el quinto capítulo expone todo el desarrollo de la metodología propuesta para el tratamiento de datos del diseño geométrico del corredor Inspección La Magdalena

(Quebradanegra) – Km 5 vía Útica en el departamento de Cundinamarca junto con el estado del arte que se compone de casos de estudio similares, el tratamiento estadístico y técnico de los datos y el análisis de resultados obtenido.

Finalmente, con base en el compendio de los capítulos del 1 al 5, se presenta un capítulo 6 donde se entregan los lineamientos de seguridad vial y de diseño geométrico propuestos para el corredor Inspección La Magdalena (Quebradanegra) – Km 5 vía Útica para dar como resultado los pros y los contras que tiene la vía en dichos términos; un séptimo y último capítulo se destina a las conclusiones y recomendaciones encontradas en el transcurso del desarrollo de esta investigación.

Objetivos y alcance

A. Objetivo general

Establecer lineamientos de seguridad vial que sean aplicables a las variables del diseño geométrico con el fin de proporcionar criterios de validez y consistencia a cada uno de ellos.

B. Objetivos específicos

- Revisar las diferentes metodologías que se han aplicado relacionadas con el análisis de seguridad vial en elementos del diseño geométrico de las vías.
- Identificar cuales elementos del diseño y de la infraestructura son más influyentes en la ocurrencia de accidentes de tránsito y poder definir que tratamiento es el adecuado por aplicar en cada caso.
- Elaborar una metodología para estimar indicadores cuantificables que permitan encontrar correlación entre variables del diseño geométrico y la seguridad vial, con el fin de poder efectuar correcciones que se deban aplicar a los diseños y las infraestructuras viales existentes para que cumplan con criterios más seguros y se mitigue la ocurrencia de accidentes de tránsito.
- Determinar con las condiciones de estado del arte actuales sobre casos de seguridad vial, como se podrían complementar las metodologías existentes, como aplicarlos de manera efectiva en el diseño geométrico de las vías e identificar que oportunidades de mejora hay para estos estudios realizados.
- Validar mediante el caso de estudio definido para este trabajo la aplicación de la metodología a elaborar.
- Definir cuáles son los lineamientos de seguridad vial por aplicar al diseño geométrico e infraestructura de la vía que se quiere analizar.

C. Alcance

Para poder desarrollar el caso de estudio, se contó con el trazado original de la vía en el programa AutoCAD Civil 3D, así mismo, con toda su información de diseño geométrico y obras de infraestructura existentes. Para efectos de esta investigación no se hizo hincapié en los análisis de cuencas hídricas, estabilidad de taludes y demás obras geotécnicas presentes en la vía, dicha información se utilizó de manera superficial.

Por otra parte, esta investigación se centró exclusivamente en el análisis de las variables de trazado de la vía en cuanto a diseño horizontal, vertical y transversal, esto con el fin de complementarla con elementos de seguridad presentes o por imponer (señalización horizontal y vertical, barreras de contención, obras civiles relacionadas con la seguridad vial y estado de la superficie de rodadura).

Todo lo anterior se empleó para desarrollar un listado de lineamientos fundamentado en un análisis estadístico de variables previas, los cuales son los entregables principales de este documento.

Capítulo I: Accidentalidad y seguridad vial

En este capítulo se trató el concepto de accidentalidad, el cual es el principal inconveniente que se presenta en las carreteras a nivel mundial, sus posibles causas y algunos datos relevantes sobre el control de dichos eventos. Por otra parte, en este acápite también se plasmó el concepto de seguridad vial, el cual es fundamental para que en las vías se reduzca o se mitigue la ocurrencia de fatalidades de vehículos y peatones, de dicho concepto también se plasmó como es su gestión y control, las estrategias en curso a nivel mundial para mejorar en este aspecto, cifras de interés y una explicación de los elementos principales que se utilizan en las vías para que sean más seguras.

1.1. Accidentalidad y seguridad vial

Un accidente se define como un “Evento generalmente involuntario, generado al menos por un vehículo en movimiento, que causa daños a personas y bienes involucrados en él e igualmente afecta la circulación normal de los vehículos que se movilizan por la vía o vías comprendidas en el lugar o dentro de la zona de influencia del hecho” (Código Nacional de Tránsito, 2002).

Para entender mejor el concepto anterior, se tenía el enfoque tradicional de la seguridad vial, cuando un accidente se presentaba y se deseaba entender sus posibles causas se tenía el siguiente esquema de posibles relaciones:

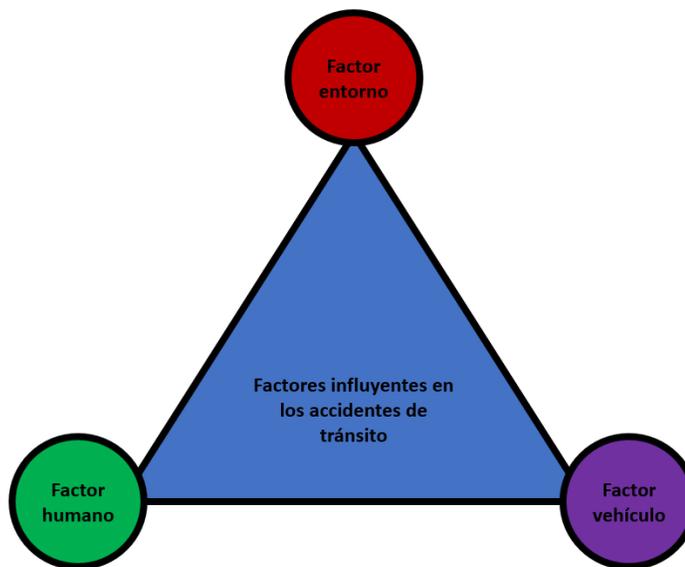


Ilustración 1: Enfoque tradicional de la seguridad vial. Fuente de elaboración propia

Sin embargo, el esquema presentado anteriormente no especifica con claridad variables que puedan dar mejor resolución a los problemas de accidentalidad para encontrar las causas de fondo que pueden estar influyendo para que se desencadenen los siniestros en las vías, por ejemplo: ¿qué conductas humanas son atribuibles a los siniestros viales?, ¿qué puede existir en el entorno (infraestructura y diseño) que los pueda producir?, ¿cuáles son las posibles fallas en el vehículo que sean causales de provocar el accidente?. Por tales razones, con el paso de los años y con la aparición de entidades reguladoras de estos asuntos a nivel mundial, se cambió dicho enfoque por uno más sofisticado y organizado como se muestra a continuación:



Ilustración 2: Nuevo enfoque de la gestión de la seguridad vial. Fuente: Intránsito; Tomado de: <https://intransito.edu.co/planes-estrategicos-seguridad-vial/>

El gráfico anterior indica con más claridad los tres pilares del esquema tradicional y, adicionalmente, se le agregan dos pilares adicionales (gestión institucional y atención a víctimas). El nuevo pilar de la gestión institucional se colocó para poder dar mayor consistencia a la información de los accidentes y crear políticas y estrategias que mitiguen la ocurrencia de incidentes y fatalidades, por otra parte, el de atención a víctimas se incluyó con el fin de clasificar mejor los accidentes y tener

registro exacto del estado final de salud de los implicados, volviendo así más humano el enfoque.

Por otra parte, según Movilidad Bogotá (SDM), la definición de seguridad vial es “el conjunto de acciones y políticas dirigidas a prevenir, controlar y disminuir el riesgo de muerte o de lesión de las personas en sus desplazamientos ya sea en medios motorizados o no motorizados. Lo cual brinda una clara idea de que dicha seguridad no va exclusivamente enfocada en los conductores, sino que usuarios más vulnerables como el peatón o bici usuario también van incluidos allí”.

El tópico descrito anteriormente ha tomado bastante fuerza en los últimos años y mucho más ahora con la existencia de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), resulta la existencia de una estrecha relación directa entre los temas de seguridad vial y accidentalidad desde el punto de vista de la sostenibilidad y la ingeniería, tomando así mucha más relevancia el trato de estas problemáticas, inclusive, dentro de las metas de los ODS se tienen trazadas algunas muy puntuales con miras a la reducción de la accidentalidad en las vías, cabe indicar que estas deberán ser cumplidas en lo posible antes de 2030, fecha en la cual se revisarán nuevamente todos los 17 objetivos del pliego para obtención de resultados acerca de la efectividad y avance en materia de cada uno de ellos, y es que no es para menos, según el informe presentado por la Organización Mundial de la Salud (WHO), acerca de la Situación Mundial De la Seguridad Vial de 2018, durante el año 2016 (periodo estudiado en dicho informe) el número de muertes alcanzado por los accidentes de tránsito fue de 1.35 millones y la población más afectada fueron personas menores de 29 años (población más activa en términos laborales y productivos de una nación), adicionalmente, estos eventos sucedieron en su mayoría en países donde los ingresos no son tan altos. Si se analizara mucho más a fondo el estudio de situaciones relacionadas con la seguridad vial como la expuesta anteriormente, teniendo también como base que las tasas de desigualdad en un gran número de países son elevadas y que, por ende, las condiciones de vida no son las mejores, la ocurrencia de accidentes en las vías debe ser siempre el tema central de estudio, ya que está muy relacionada con dichos índices (a mayor desigualdad, mayor será la accidentalidad), conjuntamente se debería buscar como mejorar las infraestructuras y demás elementos que componen las vías para reducir las cifras que se dan hoy día.

Para entender mejor el contexto de seguridad vial a nivel mundial y la importancia de mitigar en mayor medida las muertes y accidentalidad en vías se tienen algunos datos plasmados en el portal El Orden Mundial (EOM) para el año 2017, en el cual se tuvieron en cuenta países latinoamericanos, europeos y asiáticos dando como resultado lo siguiente:

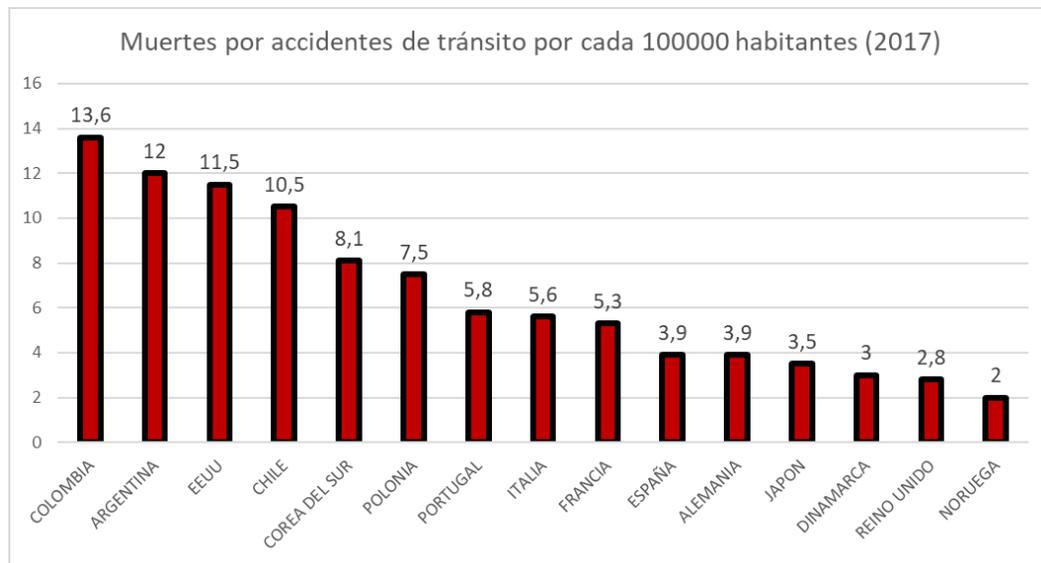


Ilustración 3: Muertes por accidentes de tránsito por cada 100000 habitantes. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del portal El Orden Mundial (2017)

Del gráfico anterior se puede observar que los países con menores índices de desigualdad tienen cifras más favorables en materia de siniestralidad en las vías, por otra parte, los países con exceso de población o en desarrollo tienen cifras mucho más alarmantes (exceptuando a Japón), si bien, según este portal se determinó que la principal causa de muerte en las naciones con números más altos en la materia es la conducción de los vehículos en estado de embriaguez, esto se ve también reflejado en la baja rigidez de las normativas de tránsito, en las conductas humanas erróneas al momento de tomar decisiones al volante y en la eficiencia de los diseños y señalización de las vías.

Ahora, según Naciones Unidas (2011), la seguridad vial requiere un enfoque sistemático para mejorarla, sobre todo en los sectores de más bajos ingresos y, muchas veces la falta de capacidad local en los países para crear alternativas de mejora en dicho campo es lo que hace que sea complejo su tratamiento. Por

ejemplo; en los países latinoamericanos, más exactamente en Colombia, la tasa de mortalidad en las vías ha sido en su mayoría representada por accidentes donde se han visto implicados los usuarios que utilizan los modos activos (bicicletas y peatones), un fenómeno que ha venido creciendo en los últimos años, sin embargo, los entes locales no tienen del todo aplicadas las normativas para todas las regiones del territorio nacional sobre dichos usuarios, lo cual se ve reflejado precisamente en deficiencias en la creación de alternativas de mejora y en el no cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible nombrados con anterioridad.

1.1.1. Gestión y control de la seguridad vial y la accidentalidad

Los países con mejor desarrollo llevan rigurosamente el control de los datos de accidentalidad, causas y fatalidades ocurridas en sus vías y, con base en su información recolectada, buscan mejorar sus infraestructuras en materia de entregar a sus ciudadanos carreteras más seguras y amigables con todos los actores viales presentes en estas.

Para ello, parten del hecho de que la conducta humana (comportamientos que pueden ser erróneos) juega un papel de suma importancia en la ocurrencia de accidentes y así aceptar que en cualquier momento puede ocurrir un siniestro vial por múltiples causas (error humano, mal estado de los caminos, etc.). Con base en lo anterior, diseñan sus infraestructuras viales con riguroso detalle en su trazado geométrico y articulándolo con diseños de tipo “perdonador” que no son más que infraestructuras modeladas bajo un esquema de seguridad vial diseñadas para que los seres humanos las utilicen, pero, con la condición de que la conducta de los usuarios no puede ser perfecta en todo momento.

Lo anterior ha funcionado bastante bien en las naciones donde las condiciones de igualdad, PIB, y demás índices económicos son estables, junto con altos índices de alfabetización en sus poblaciones (en educación vial desde los primeros años de infancia) y son ejemplos que deberían tomarse en consideración por aquellas naciones donde los índices de accidentalidad y fatalidad tienden a ser superiores.

1.2. Comportamiento y gestión de la accidentalidad en Colombia

Colombia tiene en este momento tiene como ente regulador de todo lo que ocurre en materia de seguridad vial y accidentalidad en las vías nacionales a la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV), entidad que lleva registro y control de cifras de accidentalidad y fatalidad en las carreteras del territorio nacional. Ahora, como es una agencia que lleva todo el registro de víctimas e implicados en dichos eventos, ellos deberían llevar las cifras demás consignas de información relevante para dar un contexto mucho más claro de la importancia de encontrar el factor real que desencadena en la ocurrencia de los accidentes en las vías. Si bien, según dicha agencia reguladora (ANSV) se tienen los siguientes históricos de muertes en las vías:

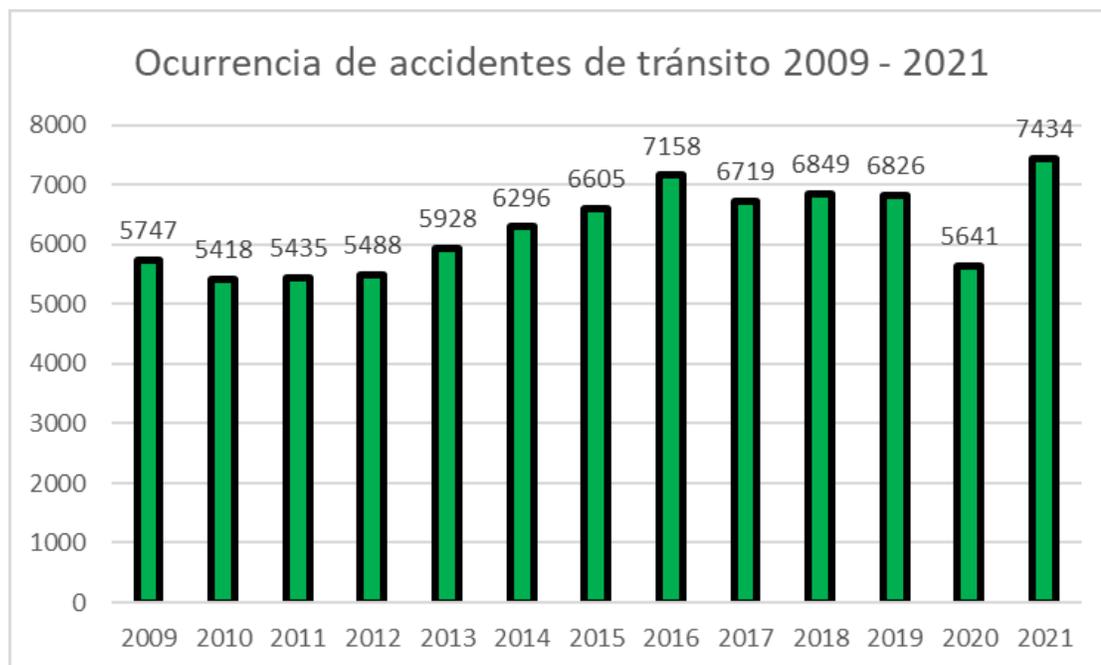


Ilustración 4: Ocurrencia de accidentes de tránsito a nivel nacional. Fuente: Elaborada a partir de los datos de la ANSV

El gráfico anterior da un panorama bastante desalentador respecto a la seguridad de los usuarios en las vías colombianas, adicional a ello no da la causa exacta de la ocurrencia del accidente. El año 2020 no da una información real puesto que por cuestiones de confinamiento y pandemia se obtuvo un valor atípico. Sin embargo, observando el año 2021 el número aumento significativamente respecto a los años

anteriores, lo cual debe significar un llamado urgente a investigar exhaustivamente las causas reales de accidentalidad (para este estudio se tiene interés por aquellos que hayan sucedido debido a deficiencias en el diseño geométrico y la baja reglamentación de normativas de seguridad vial).

Con lo anterior, se pudo evidenciar que las variables de fondo del problema de la seguridad vial pueden tener una respuesta lógica si se hiciera un análisis exhaustivo mediante la generación de unos lineamientos para el diseño y conservación de las vías, basados en parámetros como el tránsito, el diseño geométrico consistente de las calles y carreteras y la configuración de las infraestructuras presentes en estas, de esta manera se lograría obtener un informe real de las causas de las fatalidades e incidentes y facilitaría la solución de los conflictos que se puedan estar presentando en un punto o tramo de vía analizado.

Lo expuesto en el párrafo anterior conlleva a preguntarse entonces ¿Cómo se están manejando los datos de accidentalidad en Colombia? ¿Qué información tiene accesibilidad si se quisiera consultar un histórico de accidentes en cualquier vía colombiana?

Vale la pena entonces verificar cual documento relaciona actualmente las variables de seguridad vial (estado de la vía, condiciones medioambientales presentes en el lugar, información de los implicados, señalización existente y normativas de tránsito aplicables al sector), diseño geométrico e infraestructura en el territorio colombiano. Dependiendo de las normativas de cada país se tiene un formato específico para diligenciar la información respectiva en el momento de ocurrencia de un accidente de tránsito, por ejemplo, para el caso de Colombia se tiene el IPAT o Informe Policial de Accidentes de Tránsito, en este se plasman las causas por las cuales ocurrió el accidente, entre los ítems que se tienen en cuenta para determinar dichos causales, según la resolución 0011268 del 6 de diciembre de 2012, la cual indica cómo se debe llenar el formato según los hechos ocurridos en vía, tiene definidas las siguientes casillas:

Tabla 1: Variables para tener en cuenta al determinar causas de un accidente. Fuente: Resolución 0011268 del 6 de diciembre de 2012

Variable	Observaciones
Características del lugar	Incluye: Sector, área, zona, diseño y condiciones climáticas.
Características de las vías	Incluye: Características geométricas, utilización, número de calzadas, número de carriles, estado de la superficie de rodadura, estado general de la vía, condiciones presentes en la vía, estado de la iluminación artificial, existencia de controles de tránsito y condiciones de visibilidad.
Información de conductores, vehículos y propietarios	Incluye: Datos del conductor, datos del vehículo, tipo de vehículo, daños materiales presentados y fallas presentadas en el automóvil.
Información sobre los heridos	Incluye: Datos personales de los heridos, descripción de las lesiones, estado de la persona en el momento del accidente, detalles sobre el uso de elementos de seguridad, tipo de herido o víctima y gravedad.

Siendo entonces este el documento actualmente vigente que lleva el registro de correlación entre las tres variables, adicionalmente, posee un anexo especial donde se debe realizar el croquis para reconstruir el accidente y así posteriormente determinar las causas desde el punto de vista de interpretación de los datos. Sin embargo, los datos plasmados en un IPAT no son de libre acceso, puesto que contienen información altamente sensible en los apartados de “información de conductores, vehículos y propietarios” e “información sobre los heridos”, y, adicionalmente, estos documentos suelen volverse confidenciales cuando se llevan a procesos legales.

Dicho lo anterior se puede concluir que si el ente regulador (ANSV) pudiera recopilar con exactitud los IPAT y colocar al público la información plasmada en estos, pero omitiendo los apartados sensibles, se podrían mejorar los estudios de accidentalidad en el país, dando información más exacta sobre dichos siniestros.

Capítulo II: Diseño geométrico de vías

En este capítulo se trataron los conceptos de diseño horizontal, vertical y transversal de una vía, lo cual se resume en un diseño geométrico total, a partir de ello, se especificaron los parámetros útiles en cada uno de estos de acuerdo con el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS (2008) y de la normativa AASHTO (2004).

Retomando lo plasmado en el alcance de este trabajo, donde se estipuló estudiar únicamente el pilar del factor entorno, específicamente la consistencia del diseño, la configuración de las infraestructuras existentes y los elementos seguridad vial que se puedan encontrar allí, se hace entonces necesario especificar los parámetros para diseñar y construir las vías, según los manuales expuestos en el párrafo anterior, se deben considerar como principales los siguientes:

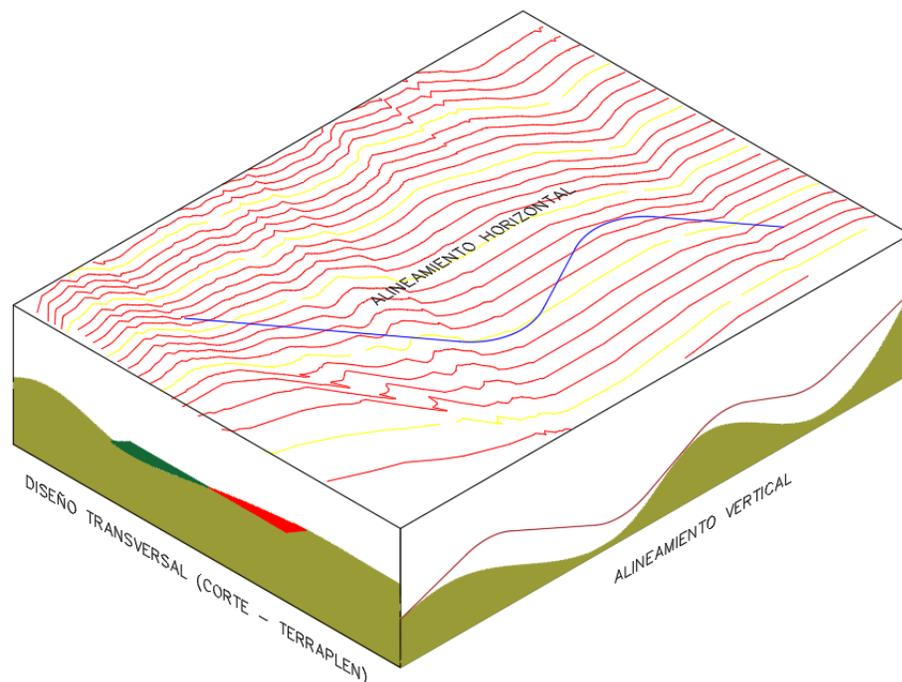


Ilustración 5: Elementos que componen el diseño geométrico de la vía. Fuente: Elaboración propia.

La imagen anterior muestra en perspectiva los tres componentes que toda vía debe tener sincronizados. Agudelo (2002) define el diseño geométrico como la determinación de características de una vía a partir de múltiples factores que busquen conjuntamente la circulación de vehículos de manera cómoda y segura. Ahora, ¿Cómo se garantiza dicha

seguridad?, para ello se deben revisar las normativas (manuales de diseño) y comparar numéricamente los criterios como los radios de curvatura, peraltes, distancias de visibilidad, pendientes, etc. Razón por la cual a continuación se desglosa mucho mejor la información en cada subcapítulo de diseño.

2.1. Variables del diseño horizontal

Según el Manual de Diseño Geométrico de carreteras del INVIAS (2008) en su capítulo 3, el diseño horizontal está constituido por alineamientos rectos, curvas circulares y curvas de grado de curvatura variable que permiten una transición suave al pasar de alineamientos rectos a curvas circulares o viceversa o también entre dos curvas circulares de curvatura diferente. Así mismo, resalta la importancia de que este debe permitir una operación segura y cómoda a la velocidad de diseño.

Dicho trazado horizontal enunciado anteriormente se diseña principalmente por los parámetros de radio de curvatura, longitud de curva circular y de transición, entretangencia, peralte, sobreechancho y velocidad, conceptos que se explican a continuación.

2.1.1. Radio de curvatura

Este concepto es uno de los primeros a tratar en el diseño geométrico de una vía, puesto que, según el valor que le sea asignado, se definirá la velocidad a la cual un vehículo podrá transitar por un elemento tipo curva de manera segura y, adicionalmente, uno que toma mayor relevancia en materia de accidentalidad si queda delimitado de manera errónea.

2.1.2. Longitud de curva circular

Cuando se delimita el parámetro de radio de curvatura, implícitamente se da a entender que el diseño de una curva debe tener una longitud de desarrollo por la cual un vehículo deberá hacer su trayectoria para entrar y salir de ella, por ende, la longitud de curva circular es una distancia donde existe un cambio en la vía debido a un elemento tipo arco circular o curva entre dos alineamientos rectos. Dicho parámetro también posee bastante gobernanza en el diseño geométrico de una

carretera, ya que, si no se deja un tiempo prudencial “seguro” para transitar, se pueden llegar a cometer maniobras peligrosas por parte de los conductores que tienen alta probabilidad de desencadenar en accidentes de tránsito.

2.1.3. Longitud de transición

En múltiples casos, los conductores se pueden encontrar con vías sinuosas y/o con tramos con curvas contiguas, las cuales deben tener una separación o transición suave para que los vehículos puedan circular sin perder el control. La transición es relacionada con la estabilidad vehicular, ya que todo cuerpo (vehículo en vía) posee un centro de gravedad que puede verse afectado cuando se enfrenta a tramos sinuosos, esto generalmente para vehículos de carga, causando inestabilidad y volcamiento y no se articula correctamente dicha condición.

2.1.4. Entretangencia

La entretangencia también es un parámetro de separación o transición entre dos curvas, pero, a diferencia de la longitud de transición, esta utiliza un segmento tipo recto intermedio entre las curvas que va a separar. De la misma manera que en la longitud de transición, se debe dejar un tiempo prudencial o seguro de reacción de los conductores para poder realizar la maniobra de cambio geométrico. Cabe resaltar que existen dos tipos de curvas en el diseño; las que van en un mismo sentido y las que van en diferente sentido, a las primeras por seguridad vial y según las normativas del Manual (2008) se les debe garantizar que se puedan recorrer en un tiempo mínimo de 5 segundos y a las segundas en un lapso de 15 segundos.

2.1.5. Peralte

En el desarrollo de la longitud de las curvas, los vehículos deben atravesar por ellas sin perder su trayectoria en ningún caso, por ende, el concepto de peralte se da como una inclinación transversal que se le da a la calzada en una curva para contrarrestar los efectos de la aceleración centrífuga y evitar que un vehículo salga abruptamente del trazado de la vía.

2.1.6. Sobreancho

Las condiciones de flujo vehicular en las vías son altamente afectadas si no se deja el espacio suficiente para que los vehículos puedan transitar por esta sin friccionar y/o chocar entre ellos, razón por la cual se deben dejar zonas con sobreanchos definidos para evitar este tipo de situaciones. El sobreancho es una porción adicional de terreno que se destina a un tramo recto o curva; en el caso del segmento recto se utiliza para casos de bahías de estacionamiento que no interrumpan el tránsito de una vía y, en el caso de las curvas, este se deja con el fin de que dos vehículos de diseño (condición más crítica) puedan pasar al tiempo por la curva sin chocar y puedan realizar su maniobra de giro de forma cómoda.

2.1.7. Velocidad

Es el parámetro que gobierna todo el diseño geométrico de la vía, este se ve afectado directamente por todos los demás enunciados anteriormente, para asignar una velocidad a una carretera en específico se deben tener en cuenta el análisis en conjunto de todos los parámetros del diseño horizontal y, adicionalmente, por la clasificación y demás condiciones de diseño que se le asignen a la vía.

2.2. Variables del diseño vertical

Según el Manual de Diseño Geométrico de carreteras del INVIAS (2008) en su capítulo 4, el diseño vertical “está formado por una serie de rectas enlazadas por arcos parabólicos, a los que dichas rectas son tangentes. La inclinación de las tangentes verticales y la longitud de las curvas dependen principalmente de la topografía de la zona, del alineamiento horizontal, de la visibilidad, de la velocidad del proyecto, de los costos de construcción, de los costos de operación, del porcentaje de vehículos pesados y de su rendimiento en los ascensos”.

Lo anterior da a entender la estrecha conexión entre el diseño horizontal previo de una vía y el perfil vertical de la misma, por tal razón, todo error cometido en el diseño horizontal será fácilmente detectable en el desarrollo del diseño vertical y se hará necesario realizar actividades de replanteo y modificaciones al trazado original.

Los principales parámetros de estudio que competen al diseño vertical son sus pendientes longitudinales, curvas verticales, visibilidad, longitudes de curvas verticales y la articulación de diseño planta – perfil, conceptos que se exponen a continuación.

2.2.1. Pendiente longitudinal

Es la inclinación vertical de la vía y su correcto diseño es de suma importancia, ya que un trazado vertical consistente tiene como principal característica un desarrollo cómodo para que los vehículos de mayor peso y longitud (vehículos de diseño) puedan realizar la maniobra de conducción tanto en subida como en bajada de manera segura. Adicionalmente, este parámetro es el que garantiza la correcta visibilidad del trazado para los conductores.

2.2.2. Curva vertical

Las curvas verticales, a diferencia de las horizontales, se delimitan por las condiciones del terreno y su correcto diseño es el que permite la visibilidad del trazado geométrico de la vía a los conductores y son de suma importancia a nivel de seguridad vial, ya que su debida implantación y armonía con el diseño horizontal dan una conducción cómoda y segura, siendo estas un factor determinante en la consistencia de percepción de continuidad del trazado carretero para los conductores y de alto impacto en cuanto a la mitigación u ocurrencia de accidentes en las vías.

2.2.3. Visibilidad

La visibilidad es quizá uno de los parámetros más relevantes tanto en el diseño horizontal como en el vertical, ya que esta compete directamente al campo de la seguridad vial y la accidentalidad. Se debe dejar bien configurada en casos de curvas horizontales y curvas verticales, esta condición dependerá del tipo de vehículo que se esté utilizando, ya que las alturas del ojo del conductor son variables en todos los casos, adicionalmente, las condiciones morfológicas y ambientales del área de estudio pueden influir en esta ya sea a favor o en contra.

2.2.4. Longitud de curva vertical

Todo elemento tipo curva, ya sea horizontal o vertical deberá tener consigo unas características geométricas de diseño e implantación en una vía, la cual cuando entra en servicio (operación) deberá permitir un flujo vehicular donde la condición primordial sea la seguridad de todos los vehículos y usuarios que requieran transitar por ella, por tal razón, y por las que se expusieron en los conceptos de curva vertical y visibilidad, un correcto desarrollo de las curvas verticales y su articulación y empalme con el trazado deberá ser totalmente consistente a lo largo de todo el trazado en los lugares donde exista presencia de dichos elementos.

2.2.5. Articulación planta – perfil de una vía

El diseño horizontal y vertical de las vías no pueden tratarse por separado bajo ninguna circunstancia, ya que en escenarios críticos como las curvas horizontales muy cerradas o con peralte en alto porcentaje, los cambios bruscos de pendiente en el perfil vertical de la vía y las curvas verticales muy convexas o con concavidad irregular es altamente probable que los conductores experimenten sensaciones como discontinuidad de la vía, pérdida de control del vehículo, inestabilidad al momento de frenado, pérdida de visibilidad del trazado, entre otros. Todos los anteriores se traducen en focos potenciales de accidentalidad y deben tener armonía tanto en planta como en perfil, lo cual se verá reflejado en un diseño seguro, consistente, coherente y apto para que los usuarios puedan transitarlo sin colocar en riesgo sus vidas.

2.3. Variables del diseño transversal

Según el Manual de Diseño Geométrico de carreteras del INVIAS (2008) en su capítulo 5, la sección transversal de una vía describe los elementos de la carretera en un plano normal a su eje. Lo anterior indica que el diseño transversal da información de diseño complementaria adicional que no se tiene en los diseños horizontal y vertical, pero, que resulta de la unión final de ambos diseños y será la imagen que los conductores encontrarán en la carretera cuando transiten por

determinado sector. Dicho diseño vertical se compone de los elementos que se muestran a continuación:

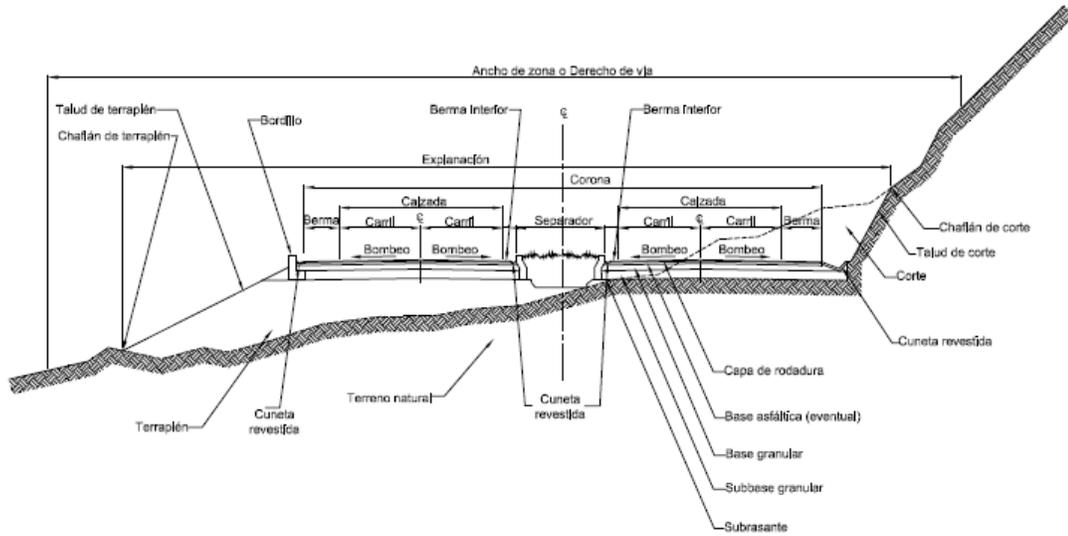


Ilustración 6: Elementos que componen el diseño transversal de una vía. Fuente: Manual de diseño geométrico de vías 2008 (INVIAS).

De la imagen anterior se puede evidenciar que entran nuevos aspectos para tener en cuenta para el diseño, como lo son la geotecnia, la hidráulica, el diseño de pavimentos, las obras de infraestructura complementarias y los movimientos de tierra que se deben hacer para que quede estabilizada y funcional la vía. Aquí se habla de forma general acerca de dichos conceptos, ya que el diseño transversal es la unión de todo lo realizado en el trazado horizontal y vertical (conceptos tratados anteriormente). Para efectos de explicación de los conceptos de infraestructura se destinó un capítulo adicional exclusivo para ello.

Capítulo III: Factor infraestructura en las vías

En el capítulo 3, en el último apartado se trató el tema del diseño transversal, el cual es el bosquejo de la vía en perspectiva real vista en un punto específico de estudio del cual se requiera conocer información del trazado. Sin embargo, aparecen allí nuevos elementos complementarios de tipo infraestructura o tipo obstáculo natural que también deben ser considerados para el diseño geométrico y la seguridad vial, cabe aclarar que no son exclusivos del diseño transversal, sino que también competen al horizontal y vertical, razón por la cual se exponen las más relevantes y que tengan relación directa con los términos anteriores en el presente acápite.

3.1. Aspectos viales complementarios

Las variables de este tipo son determinantes en la configuración de las vías, para empezar, se tiene el geotécnico, ya que toda obra carretable se encuentra cimentada sobre el suelo y cualquier variación que suceda sobre este afecta directamente la operación vial, pudiendo provocar cierres temporales o accidentes en vía, todo lo anterior dependerá fuertemente de las condiciones geológicas del sector. Por otra parte, tenemos la señalización tanto horizontal como vertical, la cual será fundamental para que la operación del corredor vial sea consistente y mantenga alerta a los conductores de todos los peligros posibles a los que puedan enfrentarse durante la actividad de conducción. Finalmente se tienen los elementos de obra civil y de tipo natural que pudieran existir a lo largo del trazado, los cuales necesitan una configuración y tratamiento especial para que no se conviertan en focos potenciales de accidentalidad. A continuación, se enuncian las más importantes y las que tienen mayor relevancia para esta investigación:

3.1.1. Geotecnia: Laderas y taludes

El termino ladera se refiere a una inclinación del terreno que se encuentra de forma natural y que está compuesta por material de tipo suelo. Por otra parte, el talud es también una inclinación terrea, pero con la diferencia de que este no se presenta de forma natural, puesto que se crea a partir de la intervención del hombre. Su importancia es sumamente relevante, ya que determinarán las estacas de chaflan

de la sección transversal de la vía para iniciar movimientos de tierra ya sea en corte o relleno y poder así realizar obras civiles de estabilización como los muros de contención.

La importancia de controlar dichas inclinaciones recae en que son causales de desastres y accidentes en vía, manifestadas en derrumbes, fraccionamiento total o parcial de la vía, interrupción del tránsito vehicular y, en términos de seguridad vial se vuelven un obstáculo adicional que incomoda la conducción segura de los vehículos y pueden catalogarse en todos los casos como fallas que pueden implicar alto riesgo de muerte y/o accidente para los usuarios de la vía.

3.1.2. Superficie de rodadura

La superficie de rodadura de una vía será fundamental para que se garanticen las condiciones de flujo vehicular, velocidad y confort del usuario. Para ello se tiene que las carreteras deberán cumplir con condiciones de adherencia adecuadas para que los vehículos no presenten inestabilidad o daños que puedan desencadenar en un accidente, lo anterior se ve garantizado mediante un pavimento asfáltico o de concreto debidamente aplicado y estabilizado geotécnicamente.

3.1.3. Señalización vertical y horizontal

La operación de las vías se ve fuertemente influenciada por la presencia o ausencia de señalización que pueda advertir a los usuarios de peligros, normativas e información útil que les permita estar alerta en todo momento durante el acto de conducir sus vehículos, para ello debe cumplir los siguientes aspectos:

- Debe ser necesaria: Cuando se instala una señal no se hace a la ligera, debe estar justificada mediante una posible situación que pueda colocar en riesgo la vida del conductor si no la acata.
- Debe ser visible y llamar la atención: Su ubicación debe ser precisa, ya que el conductor siempre se encuentra alerta y debe poder visualizarla fácilmente, para ello se debe diseñar con ciertos parámetros como la

reflectividad, su tamaño adecuado, su correcta nomenclatura y con un mensaje claro de fondo.

- Debe ser legible y fácil de entender: El conductor al estar realizando la labor de manejo, debe poder captar con facilidad los mensajes de las señales, estos deben ser cortos, legibles y orientados a un fácil entendimiento, puesto que el tratar de leer señalización muy cargada de información puede generar confusión para el conductor.
- Debe dar tiempo suficiente al actor del tránsito para responder adecuadamente: La instalación de señales debe ser orientada a la prevención, por ello, es necesario que su ubicación se encuentre retirada considerablemente del evento próximo a suceder para que así el conductor tenga el tiempo suficiente para entender, procesar y actuar adecuadamente ante el riesgo que puede presentársele en el camino.
- Debe infundir respeto: La señal debe llamar la atención del conductor en el momento que la visualiza e incitar a que este cumpla la acción que está comunicándole en su momento, ya que el no hacerlo podrá colocar en riesgo su vida o generarle repercusiones de tipo económico ante los entes de tránsito.
- Debe ser creíble: Si la señal se coloca debe cumplir con dos parámetros fundamentales. El primero va orientado hacia el diseño estipulado por las normativas del tránsito que debe tener la señal para que el conductor la acate con facilidad; el segundo y último tiene que ver con la justificación real de su ubicación, ya que el conductor va a encontrarla en su camino y así mismo deberá enfrentarse obligatoriamente al evento que previamente la señal le advirtió, de lo contrario no generará credibilidad.

Adicional a lo expuesto anteriormente, toda señal, ya sea de tipo horizontal o vertical, debe ser instalada de tal manera que sea visible y capte oportunamente la atención de los conductores y demás actores en la vía, para que mediante sus habilidades cognitivas y psicomotoras puedan reaccionar y tengan el tiempo suficiente para detectarla en su entorno, analizarla y comprenderla. Todo lo anterior buscará que el conductor pueda tomar la decisión de maniobra apropiada con el fin de hacer caso a la advertencia dada previamente por esta.

3.1.4. Elementos de seguridad vial complementarios

Las vías cuentan con elementos orientados a su diseño y operación que en términos de seguridad vial y diseño geométrico pueden influir notoriamente en el tráfico vehicular y en el actuar de los conductores al encontrárselas durante la conducción de sus vehículos, a continuación, se enuncian las más relevantes en los aspectos descritos anteriormente:

- Zonas laterales: Según la Guía técnica para el diseño de las zonas laterales para vías más seguras del Fondo de Prevención Vial (2012), una zona lateral de una vía es aquella ubicada fuera del área de circulación vehicular, la cual incluye las bermas, terrenos colindantes e instalaciones auxiliares como parqueaderos, áreas de descanso, etc. En términos de seguridad vial y diseño geométrico son fundamentales ya que sirven como zona auxiliar en las vías para cubrir algunos eventos que se puedan presentar a nivel de incidente o accidente, adicional a ello, sirven para segregar la vía de lugares por los cuales puedan existir tránsito de peatones, o donde se requiera instalar algo adicional como una señal de tránsito, poste de iluminación u otra obra complementaria en pro del funcionamiento de la vía.
- Elementos sobre la superficie de rodadura: Sobre la vía pueden existir en algunos sectores elementos instalados sobre el pavimento con la finalidad de advertir o proteger a los usuarios de algún riesgo, tal es el caso de pasos pompeyanos que tienen la función de hacer que los conductores reduzcan la velocidad para que puedan transitar los peatones de un costado al otro, las tachas reflectivas que sirven como delineadores de las vías que cuentan con poca iluminación y ayudan a que los conductores puedan maniobrar correctamente su vehículo por la carretera, los estoperoles que sirven también como reductor de la velocidad advirtiendo algún evento o situación que se pueda encontrar en vía y los delineadores viales, los cuales son elementos verticales que sirven para demarcar los límites de la carretera y para guiar correctamente el tráfico vehicular. Todos los elementos descritos anteriormente son de suma importancia ante la prevención de accidentes y como complemento de algunas variables del propio diseño geométrico.

- Barreras de contención laterales: Según la Guía técnica para el diseño, aplicación y uso de sistemas de contención vehicular del Fondo de Prevención Vial (2012), “los sistemas de contención vehicular son dispositivos que se instalan en las zonas laterales de una carretera o en las fajas de separación de calzadas en sentido contrario, y su finalidad es retener y redireccionar los vehículos que se salen fuera de control de la vía, de manera que se limiten los daños y lesiones, tanto para los ocupantes como para los otros usuarios de la carretera y personas u objetos situados en las cercanías, tales como viviendas, escuelas, ciclovías, personas y objetos en zonas de obras”. Los elementos descritos anteriormente son de los más importantes en términos de mitigación de accidentes fatales, ya que sirven para amortiguar colisiones, evitar las salidas de vehículos de manera tangencial de la vía por efectos de la velocidad y reducir las fatalidades en siniestros viales, sin embargo, una mala configuración de estos elementos puede desencadenar en una situación contraria y causar un accidente de mayor gravedad, razón por la cual no deben ser instalados a la ligera sino en lugares donde realmente sea justificable su implantación.

3.1.5. Intersecciones

En las vías pueden existir desvíos o intersecciones que incorporan o derivan el tráfico vehicular entre diferentes caminos, dichos intercambiadores juegan un papel relevante en estudios de accidentalidad y de configuración del diseño geométrico de las vías, puesto que se debe tener configurada una velocidad acorde para poder efectuar los movimientos, una conexión entre vías con empalmes correctos y cómodos de tomar para los conductores y señalización acorde para que con tiempo suficiente los usuarios puedan reaccionar y tomar decisiones según el destino para el cual se dirijan. Cabe resaltar que estos elementos se encuentran con mayor presencia en las vías de tipo primario, sin embargo, esto no exime la posibilidad de encontrarlas en carreteras de tipo secundario o terciario, por lo cual siempre deben ser consideradas.

3.1.6. Bermas y cunetas

Todas las vías sin importar su clasificación deben contar con bombeo para que el agua pueda fluir hacia los drenajes y se pueda mantener una condición de operación cómoda y segura para los usuarios, ya que el agua puede causar efectos de baja adherencia y accidentalidad en las carreteras. A continuación, se explican los conceptos de berma y cuneta, los cuales tienen una conexión importante en la operación de las vías.

- **Berma:** Es una franja con inclinación perteneciente a la zona lateral de las vías donde los usuarios pueden estacionarse ante un evento de falla en sus vehículos, sirve a su vez como zona de tránsito de peatones, bici usuarios y vehículos de emergencia. Así mismo, será fundamental para escurrir de las aguas hacia el drenaje.
- **Cuneta:** Es un tipo de zanja que va en el mismo sentido de la vía y van paralelas e incluidas en las bermas, las cuales serán las recolectoras de las aguas y facilitar el drenaje superficial y longitudinal de las carreteras.

3.1.7. Obstáculos

A lo largo de la vía hay presencia de vegetación, obras civiles construidas o en proceso de construcción, condiciones del clima cambiantes, baches, fallas geológicas y eventos temporales que los conductores deben sortear en algún momento, lo cual se puede definir como la presencia de obstáculos fijos y de obstáculos temporales, los cuales también se relacionan con peligros de tipo continuo o discontinuo, dichos conceptos se explican a continuación:

- **Obstáculo fijo:** Se entiende por obstáculo fijo aquel que está presente todo el tiempo en la vía o zona lateral y que por consiguiente pertenece a la infraestructura, tal es el caso de isletas en intersecciones, árboles que hacen parte del paisaje, fallas debidas a la geología del sector, rocas que se encuentren a los costados, muros de contención, delineadores de vía, sardineles y condiciones ambientales que sean propias del sector en todo momento (neblina, llovizna, etc.). Todos los descritos anteriormente pueden causar accidentes si no se indica con tiempo su presencia,

para ello las medidas que se suelen tomar son señalización, reducción de velocidad y, en algunos casos, reubicación para generar corredores viales libres de amenazas.

- Obstáculo temporal: Se entiende por obstáculo temporal a todos aquellos que pueden ser removidos o solucionados, no están presentes todo el tiempo en la carretera y no interfieren en la operación vial si llegasen a faltar, tal es el caso de los daños en la estructura de pavimento, cerramientos por mantenimiento vial, retenes, desvíos temporales, accidentes en vía y/o vehículos estacionados sobre algún carril de la vía. Ante estos eventos se utiliza señalización temporal para informar a los conductores y que puedan reaccionar ante tales circunstancias.
- Peligro continuo: Se trata de todas aquellas fallas o inconsistencias que se presentan a lo largo de un corredor en tramos de longitud considerable y que deben ser corregidos para mejorar las condiciones de operación del corredor vial.
- Peligro discontinuo: Son aquellos que se presentan en un corredor vial pero no de manera longitudinal sino de manera puntual, estos pueden interferir o no con las condiciones óptimas de operación del corredor vial.

Capítulo IV: Descripción general del caso de estudio, antecedentes y metodología

En este capítulo se expone todo lo relacionado con el corredor vial existente entre la inspección La Magdalena y el km 5 vía Utica en el sector de la provincia del Gualivá del municipio de Cundinamarca en Colombia, se dan a conocer los antecedentes y casos de estudio similares a los cuales se les hizo un análisis metodológico en cuanto a su trazado, diseño geométrico de elementos y seguridad vial, así mismo, se expone la metodología propuesta para aplicar en este corredor mencionado anteriormente.

4.1. Descripción de la vía y de la zona de estudio

El tramo de vía seleccionado pertenece a los municipios de Quebradanegra y Útica, ubicados en el departamento de Cundinamarca, este inicia su K00+00 en una zona de inspección conocida como La Magdalena (perteneciente al municipio de Quebradanegra), y finaliza en el K05+00 en el sector conocido como San Carlos (perteneciente al municipio de Útica), a continuación, se presenta el esquema donde se delimita el trazado de estudio:

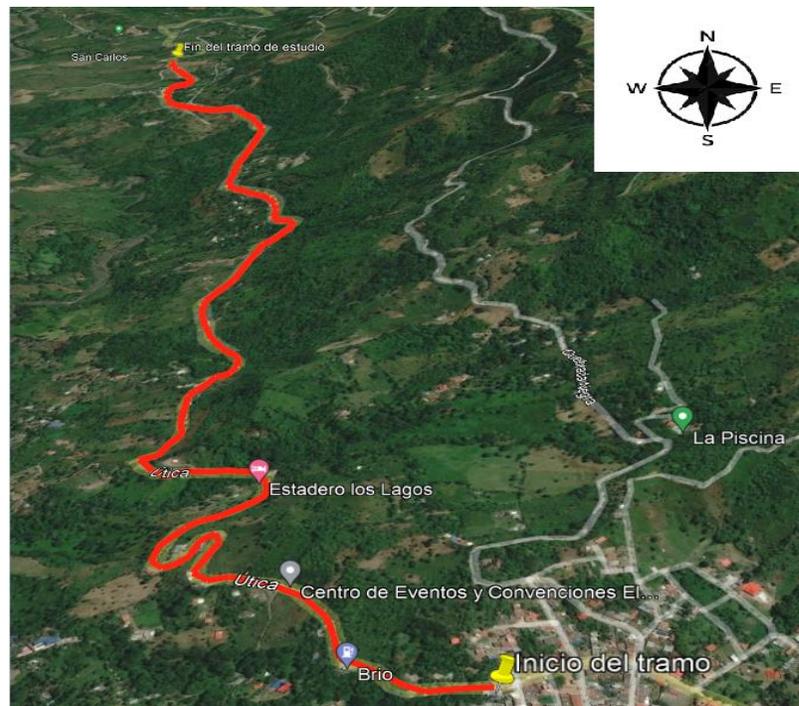


Ilustración 7: Mapa con ubicación del tramo de estudio. Fuente: Google Earth

4.1.1. Topografía del sector

El terreno comprendido en los 5 kilómetros de estudio es de tipo montañoso y en descenso constante si se va en sentido La Magdalena – Útica, las elevaciones varían entre los 830 y los 1200 MSNM, lo cual en términos de diseño implica ciertos cuidados estrictos respecto a la pendiente y alineamiento vertical para condiciones del vehículo de diseño más crítico. A continuación, se presenta la cartografía del lugar donde está instalado el corredor vial actual en escala 1:15000:

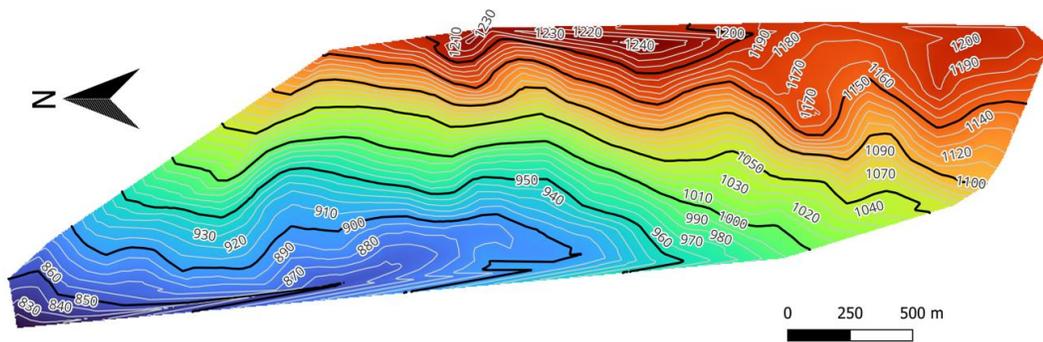


Ilustración 8: Topografía del sector en escala de colores y elevaciones. Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Actividad económica del sector

Los municipios de Útica y Quebradanegra se caracterizan por ser zonas de bastos cultivos de caña y frutas, productos insignia de su región, allí también existen múltiples industrias de producción de panela, esta se transporta a diferentes regiones colombianas ya sea para consumo nacional o para exportación. En el departamento de Cundinamarca, más exactamente en la provincia de Gualivá, se concentra la mayor producción de panela del país, y esto incluye a los dos municipios enunciados anteriormente, sin embargo, el mal estado de las vías hace que el coste final de los productos producidos allí sea elevado, así mismo, los productos que llegan a dicha región sufren el mismo efecto económico en su precio final.

4.1.3. Datos de interés adicionales

A continuación, se encuentra una tabla con la información adicional de los municipios que pertenecen al corredor vial estudiado:

Tabla 2: Datos adicionales del sector de estudio. Fuente: Elaboración propia

Tabla de atributos adicionales del sector de estudio	
Ubicación	Cundinamarca (Provincia del Gualivá)
Altitud Quebradanegra	1105 MSNM
Altitud Útica	497 MSNM
Distancia total del corredor de estudio	5 km
Tipo de terreno	Varía entre ondulado y montañoso
Población Útica	5016 Hab
Población Quebradanegra	5124 Hab
Importancia vial del sector	Cercanía con el megaproyecto ruta del sol, posible trazado alternativo para tramo 1 (aún sin construir) está cerca de este sector.

4.2. Antecedentes en Colombia

Las investigaciones realizadas en este campo se han centrado en determinar qué variables son más influyentes en la causa de los accidentes y para ello han utilizado metodologías de calificación de tipo cualitativo y cuantitativo de algunos elementos del diseño geométrico de las vías, el estado de la infraestructura y sus condiciones operacionales actuales. Ahora, como se hace necesario revisar qué metodologías se han realizado y que resultados dieron para determinar su utilidad o descarte para esta investigación, se tuvieron en cuenta en específico los que se describen a continuación:

4.2.1. Estudio de seguridad vial mediante criterios IRAP

Como primer estudio se tiene el de Asprilla (2015), quien analizó la influencia de los elementos de la infraestructura en la seguridad vial de los usuarios de la carretera Villeta – Guaduas en el departamento de Cundinamarca en Colombia. Para ello,

estudió los componentes del corredor vial de acuerdo con su estado actual mediante el análisis de inspección visual usando la metodología del International Road Assessment Programme (IRAP), la cual es empleada para países en desarrollo con el fin de clasificar los tramos de la vía en estudio asignando una calificación en una escala de estrellas, adicionalmente, segmentó la vía por tramos para encontrar cuales eran los sectores más críticos y así definir aquellos que requerían algún tipo de intervención, complementó también su información con material en fotos y videos para evaluar e identificar los atributos más importantes que debería tener la vía respecto a su inventario para así finalmente organizar los datos en una matriz de evaluación de criterios.

	Peatones	Bici usuarios	Motociclistas	Automóviles
	<ul style="list-style-type: none"> No existen aceras No hay cruces seguros Velocidad vehicular 60 km/h 	<ul style="list-style-type: none"> No existe bici carril No hay cruces seguros Mal estado de la carretera Velocidad vehicular 70 km/h 	<ul style="list-style-type: none"> No existe carril para motos Camino sin dividir Árboles cerca de la vía Vía sinuosa Velocidad vehicular 90 km/h 	<ul style="list-style-type: none"> No existe carril para motos Camino sin dividir y angosto Árboles cerca de la vía Vía sinuosa Velocidad 100 km/h
	<ul style="list-style-type: none"> Existen aceras Existen refugios peatonales Hay iluminación Velocidad vehicular 50 km/h 	<ul style="list-style-type: none"> No hay carril exclusivo para bicicletas El estado de la carretera es mejor Hay iluminación Velocidad vehicular 60 km/h 	<ul style="list-style-type: none"> Hay carril para estos usuarios Camino sin dividir Buena superficie de rodadura Velocidad vehicular 90 km/h 	<ul style="list-style-type: none"> Carriles separados y delimitados Camino sin dividir Buena superficie de rodadura Velocidad 100 km/h
	<ul style="list-style-type: none"> Existen aceras Los cruces son señalizados y cuentan con refugio Hay excelente iluminación Velocidad vehicular 40 km/h 	<ul style="list-style-type: none"> Existen ciclo infraestructura segregadas Los cruces son señalizados y seguros (elevados) Hay excelente iluminación 	<ul style="list-style-type: none"> Carril bien delimitado Bajo riesgo de accidentalidad Alineamientos rectos Velocidad vehicular 80 km/h 	<ul style="list-style-type: none"> Existencia de barreras de seguridad a los costados Baja accidentalidad Alineamientos rectos Velocidad 100 km/h

Ilustración 9: Clasificación por estrellas del IRAP. Fuente: elaboración propia, información tomada de <https://irap.org/es/rap-tools/infrastructure-ratings/star-ratings/>

Después de realizar el estudio basándose en los criterios del IRAP suministrados y descritos de la matriz anteriormente ilustrada, Asprilla encontró que, según la metodología empleada ninguno de los tramos de estudio cumplió con una calificación superior a 2 estrellas según el IRAP, puesto que los elementos evaluados de la infraestructura les garantizan a los usuarios una buena seguridad vial en este corredor en términos de diseño geométrico, pavimento, tránsito peatonal

y seguridad vial. La calificación baja según metodología IRAP coincidió con las altas estadísticas de accidentalidad del sector, por lo cual puede decirse que existe una conexión entre la calidad de la infraestructura vial y los accidentes que suceden en ella y que los costos de construcción y los de la implementación de la seguridad vial deben ir de la mano con el fin de brindar a los usuarios infraestructuras más seguras.

4.2.2. Estudio de rectificación de curvas en un diseño geométrico

Por otra parte, se tiene un segundo estudio de rectificación de elementos que componen el diseño geométrico de una vía, Gómez (2017) analizó el corredor vial Manizales – Neira, departamento de Caldas, para su investigación relacionó las variables de seguridad vial, accidentalidad y diseño geométrico para encontrar las inconsistencias en el trazado, para ello utilizó la topografía del sector con la finalidad de obtener información sobre la configuración de las curvas y alineamientos, adicionalmente tomó los históricos de accidentalidad del corredor y mediante visitas de campo corroboró visualmente las situaciones que encontró en su estudio.

Una vez compiló toda la información definió puntos críticos y utilizó los criterios del manual de diseño de carreteras colombiano para verificar la consistencia de diseño en términos de velocidad, peralte, radios de curvatura y alineamientos verticales de cada uno de estos. Luego los correlacionó con la base de datos de accidentalidad y encontró que algunas de las curvas y alineamientos rectos existentes fueron diseñados omitiendo los criterios del manual, razón por la cual pudo deducir una falla importante en la configuración del trazado que se encuentra en servicio, conjuntamente las tasas de accidentalidad de los sectores respaldaron su hipótesis y logró complementar su estudio al evidenciar que también la existencia de zonas urbanas y puntos de unión con otros ramales viales son altos influyentes en la accidentalidad del sector.

4.3. Antecedentes en Cuba

4.3.1. Estudio de seguridad vial y accidentalidad con diseño de vías

García (2012) analizó la seguridad vial en una carretera rural de dos carriles, más exactamente la vía de la provincia de Villa Clara en Cuba. Para ello, tuvo en cuenta la base de datos de causas de accidentalidad de los años 2005 a 2009, la cual tenía la información clasificada con base en el esquema tradicional de la seguridad vial (entorno, usuario, vehículo) y desglosada en factores de diseño geométrico, tránsito y estado de la superficie de rodadura. A partir de ello investigó la causa de los accidentes a partir de tres niveles de clasificación (observación superficial; accidentes con mayor nivel de profundidad; accidentes con trasfondo y relacionados con las normativas) y tomó información en campo para respaldar su investigación.

Después de realizar su metodología aplicó modelos matemáticos para calificar el estado de la vía en términos de cumplimiento de estándares de seguridad vial, con ello encontró finalmente que el tránsito del sector es fuertemente influyente, sin embargo, no se puede modificar. Por otra parte, resaltaron que el papel de la conservación de las vías es de suma importancia, ya que esto significaría tener tramos de carreteras más seguros y junto con un correcto mantenimiento a las señalizaciones horizontales y verticales se podría reducir el número de accidentes.

Cabe resaltar que para este estudio se encontró una limitante respecto al modelo que usaron en su metodología, puesto que su aplicación es viable únicamente en casos de vías rurales de dos carriles y no en términos generales, concluyendo entonces que existe una oportunidad de mejora en el modelo propuesto para la investigación que realizó.

4.4. Antecedentes en España

4.4.1. Estudio con análisis estadístico de consistencia vial caso 1

Un primer estudio lo realizó Llopis (2018), éste fue sobre las vías rurales de dos carriles en la comunidad de Valencia, para ello tomo la información de 98 corredores presentes en el sector y analizó geométricamente el diseño de las curvas, adicionalmente hizo una clasificación estadística mediante el mínimo, el máximo y la desviación estándar de las dimensiones de estas (aproximadamente 3229 curvas en los 98 tramos de vías). La investigación estuvo orientada al estudio del índice de consistencia del diseño geométrico mediante la estimación de la velocidad de operación inercial, para ello también utilizó los datos de accidentalidad con el fin de clasificar los diseños obteniendo el siguiente gráfico:

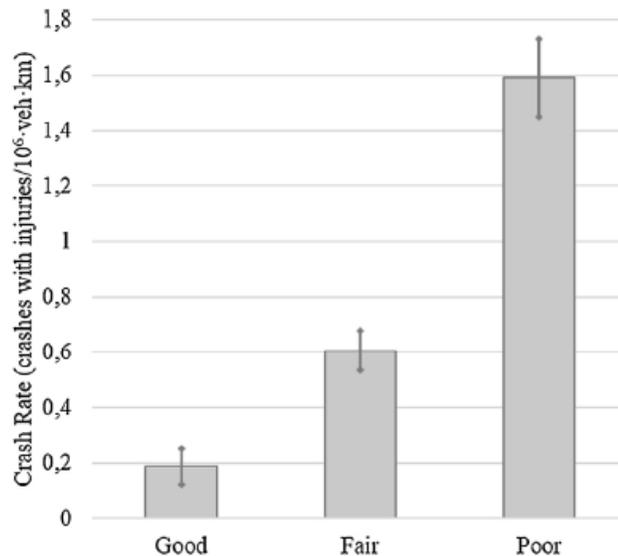


Ilustración 10: Tasa promedio de accidentes VS nivel de consistencia de la vía. Fuente: Llopis (2018)

Después de analizar la información, clasificó la velocidad en percentiles y definió un modelo matemático de su autoría para clasificar la consistencia del diseño geométrico. Así mismo, definió los conceptos de velocidad inercial y velocidad de

funcionamiento como la percibida por el conductor de acuerdo con sus expectativas y el estado la carretera con sus condiciones actuales respectivamente.

La consistencia que el autor obtuvo en su investigación la centró en el campo de estudio exclusivo de la velocidad de operación de las vías, obteniendo como resultado otro tipo de metodología posible para tener en consideración con fines de aplicación en las carreteras, puesto que siempre se ha tenido la idea de garantizar una velocidad para determinar la efectividad del funcionamiento de las vías y colocando este parámetro como el que gobierna en el diseño.

4.4.2. Estudio con análisis estadístico de consistencia vial caso 2

Un segundo estudio realizado por Morcillo (2014), quien subdividió más el diseño geométrico con respecto al primer autor, para ello repartió la carretera en tangentes y en curvas horizontales homogéneas, también utilizó variables del tránsito para clasificar la vía en tramos homogéneos y aplicó la misma metodología de clasificación estadística utilizada por Llopis (2014), adicional a ello empleó el método de Polus y Mattar-Habib (2004) que se muestra a continuación:

Ra (m/s)			
3			
Poor	0	26	255
2			
Acceptable	2	140	40
1			
Good	31	7	5
0			
	Good	Acceptable	Poor
	5	10	15
	σ (km/h)		

Ilustración 11: Metodología de Polus. Consistencia del diseño VS variación de la velocidad. Fuente: Morcillo (2014)

El estudio que realizó dio como resultado una matriz de correlación de fácil lectura para clasificar la consistencia del diseño de los elementos geométricos de las vías en los tramos estudiados, sin embargo, como conclusión de su investigación afirmó que el modelo empleado tiende a ser muy conservador y pueden generarse incongruencias que, ante la inspección individual (un solo tramo), la clasificación resulta siendo errónea, pero, para compensar este inconveniente se tiene que puede utilizarse en análisis conjunto para evaluar la consistencia de los diseños dando como resultado correlaciones acertadas.

4.5. Pregunta de investigación

El compendio de conceptos e información obtenida de diferentes fuentes sirvió como base para proponer la pregunta de investigación para este documento, la cual, una vez analizada la problemática general sobre los estudios acerca de la relación entre el diseño geométrico de vías, la seguridad vial y la accidentalidad en las vías, se llegó a la conclusión que la más acertada para este estudio la siguiente:

¿Existen en Colombia lineamientos que relacionen la seguridad vial y el diseño geométrico con el fin de garantizar que las infraestructuras viales existentes o por diseñar a futuro sean más seguras y se pueda mitigar en ellas la ocurrencia de accidentes de tránsito?

4.6. Árbol de problemas

Una vez generada la pregunta de investigación, se revisaron algunos aspectos generales de medidas de mejora y falencias encontradas de acuerdo con esta, a continuación, se expone el resumen de dichos análisis mediante un árbol de problemas así:

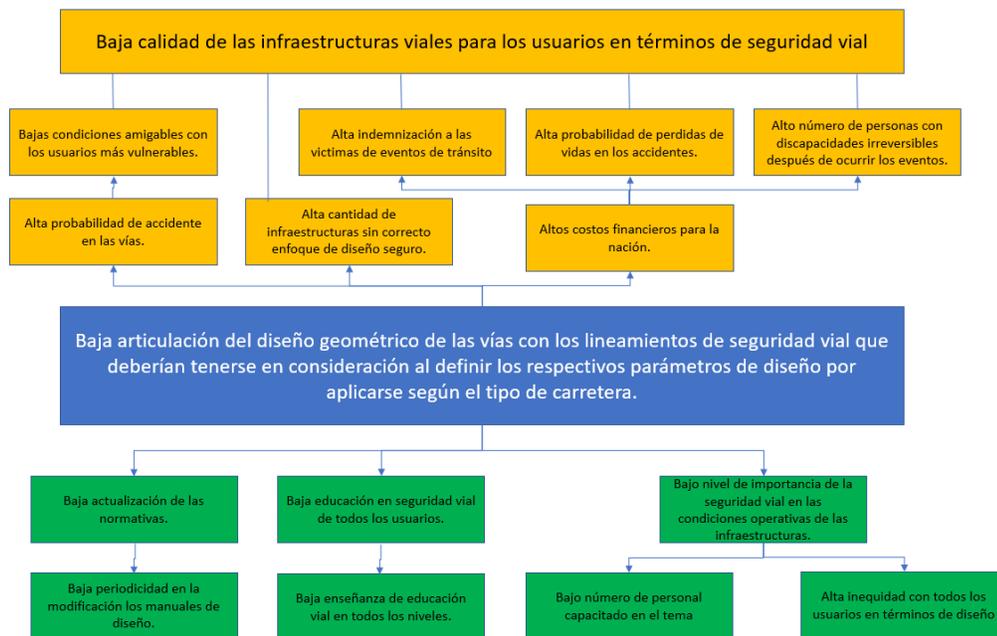


Ilustración 12: Árbol de problemas generado a partir de la pregunta de investigación. Fuente: elaboración propia.

4.7. Metodología propuesta

En este apartado se da a conocer todo el proceso metodológico empleado para el desarrollo del presente documento, a continuación, se describen a detalle cada una de las actividades así:

4.7.1. Complementar el estado del arte que se tiene actualmente

Mediante esta primera actividad se fortaleció aún más el proceso investigativo con respecto a documentos, normativas y demás información de interés, lo anterior se realizó con el fin de encontrar criterios en común entre las diferentes tesis o artículos científicos sobre el tema y así poder seleccionar que fragmentos de las metodologías y estudios podrían ser útiles para el desarrollo de este caso de estudio, se identificaron también estudios inconclusos y con oportunidad de complementarse de una mejor manera, con esto se buscó dar mejor solidez a la investigación.

4.7.2. Revisiones sobre los elementos que componen el diseño geométrico

Con este ítem se buscó establecer cuales elementos del diseño geométrico son los más relevantes con respecto a la seguridad vial y de qué manera se encuentran configurados en la vía, así mismo, mediante lo descrito en el capítulo 2 de este documento, donde se especificó de que variables dependen cada uno de estos, se logró determinar cuáles condiciones podrían influir de forma negativa y que pudiesen generar mayor exposición al riesgo en conductores y peatones que utilicen las carreteras en caso de estar diseñados de manera errónea, todo lo anterior se realizó con el propósito de poder diseñar el entregable cuantitativo y cualitativo mediante el armado de una matriz de elementos y variables para así lograr encontrar correlaciones que a simple vista no eran fáciles de evidenciar y detectar con ello cuál es su relación con la ocurrencia de accidentes de tránsito.

4.7.3. Revisión del manual de diseño geométrico de carreteras

Se revisaron las normativas del manual colombiano del INVIAS, junto con algunos criterios de la AASHTO y se detallaron los valores estipulados para la carretera en estudio, dicha justificación de elección de parámetros se explica con mejor detalle en el capítulo 5 de este documento y se utilizaron para poder determinar cuáles son los valores mínimos y máximos estipulados con los que deberían diseñarse los alineamientos y demás elementos que componen una vía en el territorio nacional, más específicamente para la tratada en el presente documento, así mismo, poder dar criterios de calificación mediante intervalos (en el caso cuantitativo) y de calificación visual de estado (en caso cualitativo) y, en todo momento acatando las recomendaciones y demás indicadores que se plasman en ambos documentos normativos, aportando así el criterio de consistencia para el correcto desarrollo del caso de estudio.

4.7.4. Delimitar el caso de estudio

Para esta investigación se propuso estudiar las condiciones actuales de un tramo de la vía que comunica los municipios de Villeta, Útica y Quebradanegra, todos ubicados en el departamento de Cundinamarca, como se especificó en apartes anteriores del documento, el sector delimitado tiene 5 km de longitud y actualmente no tiene contratos de intervención ni estudios viales en curso, razón por la cual se tomó la iniciativa de analizarla para este trabajo de grado y así poderle aplicar la metodología propuesta para encontrar los lineamientos y estadísticos que se pretenden dar como entregable final del mismo.

Como se tenía a disposición el trazado geométrico actual solo de un sector, el cual está comprendido desde la inspección La Magdalena y el km 5 vía La Magdalena – Útica, el cual es conocido por ser el ramal que contiene los accesos a los municipios de Villeta, Útica y Quebradanegra; todos pertenecientes al departamento de Cundinamarca y a la provincia del Gualivá, se determinó que ese sería el alcance definitivo de este trabajo. Así mismo, se eligió este tramo de carretera por una razón de desarrollo vial importante, ya que por la región han realizado posibles estudios para diseñar el corredor de la Ruta del Sol sector 1 – tramo 1 (tramo entre Villeta y Guaduas aún sin construir). Del tramo delimitado se tuvo a disposición el diseño geométrico del corredor existente (alineamientos horizontales, verticales, diagramas de peraltes y secciones transversales) e información complementaria sobre el corredor (obras, infraestructuras existentes, demografía, etc.), sin embargo, como se especificó en el alcance del proyecto, los análisis de geotecnia e hidráulicos de la vía no son parte del entregable, así mismo, no se tuvo acceso a la información de accidentalidad (IPAT) por razones de protección de datos sensibles, por ende, se hace todo el desarrollo del caso exclusivamente con base en el diseño y la toma de datos en campo disponibles.

4.7.5. Validar la metodología trabajada sobre los elementos del diseño geométrico mediante la aplicación directa al caso de estudio

Con el caso de estudio totalmente acotado, se le realizaron los análisis de acuerdo con algunos apartes de las metodologías descritas en los antecedentes, así mismo, se ejecutaron las siguientes actividades para llevar tal actividad:

- Se delimitaron los tramos o puntos de la vía estudiados según el alcance propuesto.
- Se realizaron 2 visitas a campo, con condiciones de clima diferentes y se tomaron registros fotográficos y en video de la situación actual del corredor, así mismo, se tomaron algunas medidas complementarias de registro visual de los elementos para el análisis propuesto en el capítulo 6 de este documento.
- Se aplicó la metodología escogida a los tramos o puntos finalmente seleccionados, para ello se utilizaron criterios del IRAP, análisis estadístico de información tanto de tipo cualitativo como cuantitativo, ajustando la calificación de elementos a criterios ponderados y asignando a su vez criterios de peso según la influencia de los elementos tanto viales como de infraestructura en la ocurrencia de accidentalidad en el corredor estudiado.
- Se realizó en conjunto el análisis correlativo de los diferentes tipos de variables y con ello se identificaron comportamientos relevantes en el corredor vial completo y en ciertos puntos de interés estudiados, haciendo así el análisis de resultados de las condiciones y construyendo a la vez el listado de chequeos o lineamientos encaminados a relacionar los parámetros de diseño geométrico con los de seguridad vial y que deben ser garantes para que la vía analizada opere en condiciones óptimas y seguras.
- Se realizaron las conclusiones y recomendaciones sobre las situaciones encontradas y se buscó que lo plasmado aquí pudiese servir para futuros estudios sobre el mismo tema.

4.7.6. Determinación de lineamientos que se deben aplicar al caso de estudio según la metodología propuesta

Como la metodología propuesta para el corredor de este estudio no puede ser transversal para analizar cualquier tipo de vía, cabe aclarar que lo plasmado aquí únicamente servirá si el corredor por analizar cumple con parámetros en común, adicionalmente, los resultados dieron un informe final aplicable únicamente al tramo estudiado, puesto que el corredor contaba con ciertas falencias que no era posible encontrar con similitud exacta en otros sectores. Al final obtuvieron unos lineamientos exclusivos aplicables al diseño geométrico y de infraestructura de dicha vía específicamente, estos resultaron siendo el fruto de la investigación y se consiguió dar una propuesta de analizar corredores viales mediante el enfoque de la seguridad vial de una manera más exacta, todo lo anterior orientado a que la metodología propuesta en este trabajo investigativo le sea útil a personas que se interesen en el tema y así se convierta en un aporte importante en el área de estudio.

4.7.7. Publicación de los resultados de la investigación

Se divulgaron los resultados de la investigación mediante la publicación del proceso metodológico y el análisis de todo el compendio de variables y lineamientos encontrados a partir de los indicadores obtenidos de la validación de la metodología en el caso de estudio mediante un artículo tipo científico.

4.8. Cuadro metodológico

Se propuso resumir todas las actividades empleadas para el desarrollo del presente documento mediante un esquema que muestra la conexión entre cada uno de los procesos llevados a cabo en la metodología, a continuación, se muestra el esquema propuesto:

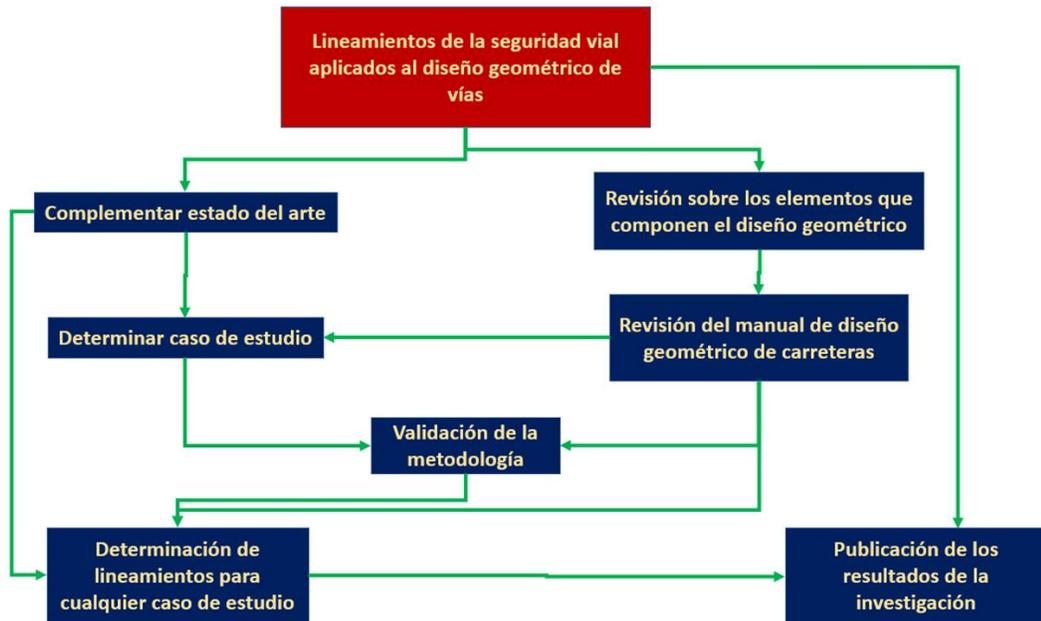


Ilustración 13: Cuadro metodológico de la investigación. Fuente: elaboración propia.

Capítulo V: Desarrollo del caso de estudio y análisis de resultados

El compendio de los cuatro capítulos anteriores hacen posible el desarrollo de este quinto apartado, el cual contiene todos los criterios obtenidos de las normas del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS y la normativa de diseño de vías de la AASHTO especificados de acuerdo con la clasificación de la vía en estudio y según los cuales se fundamenta todo el desarrollo de memorias de cálculo de este documento, además de ello, contiene todos los análisis de resultados y calificación de criterios de diseño con base en la seguridad vial y la probabilidad de ocurrencia de un accidente (asignación de criterios de peso).

5.1. Clasificación del corredor vial tramo de vía Inspección La Magdalena (municipio de Quebradanegra) – km 5 vía Útica

El corredor de este estudio pertenece a una vía de tipo terciaria, entiéndase por vía terciaria a todos aquellos corredores veredales o intermunicipales por los cuales los volúmenes de tránsito no son excesivamente altos, adicional a ello, según el Manual de Diseño Geométrico de INVIAS (2008) indica que son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí. Sin embargo, este corredor en sus condiciones actuales se encuentra a cargo del El Instituto de Infraestructura y Concesiones de Cundinamarca o ICCU, pero no se le ha realizado intervención alguna por parte de la entidad.

5.1.1. Condiciones generales encontradas

Se tomaron medidas en campo y se encontró que, en la mayoría de los lugares, la vía cuenta con un ancho de carril de 2.6 metros, solo cuenta con un carril de subida y uno de bajada, adicionalmente, hay regiones de ancho variable debido a que por la baja intervención que se le ha realizado a la vía en mención no hay distinción entre carretera y zona lateral (donde se cumple la existencia de ambas), a continuación, se tiene la imagen de un sector de la vía donde esto sucede:



Ilustración 14: Imagen de una sección del corredor con su ancho. Fuente: Registro fotográfico propio

De la anterior, se puede observar lo enunciado acerca de la pérdida de trazado con la misma condición natural, así mismo, se evidenció a lo largo del tramo analizado falta total de señalización horizontal, poca existencia de señales verticales, baja o nula existencia de bermas o zonas laterales, obstáculos fijos muy próximos a la vía, curvas horizontales sin sobrecancho definido, imposibilidad del tránsito de camiones de más de 4 ejes en un mismo sector, capa de rodadura en estado deficiente y un deterioro total en un 75% total del recorrido.

Adicional a las condiciones de diseño y de configuración anteriores se evidenció también una gran inconsistencia en lo que respecta al tránsito de peatones por la vía, ya que no cuentan con un espacio adecuado para hacerlo y siempre se encuentran en alta exposición al riesgo al invadir parte del carril para poder caminar, a continuación, se muestra un caso puntual:

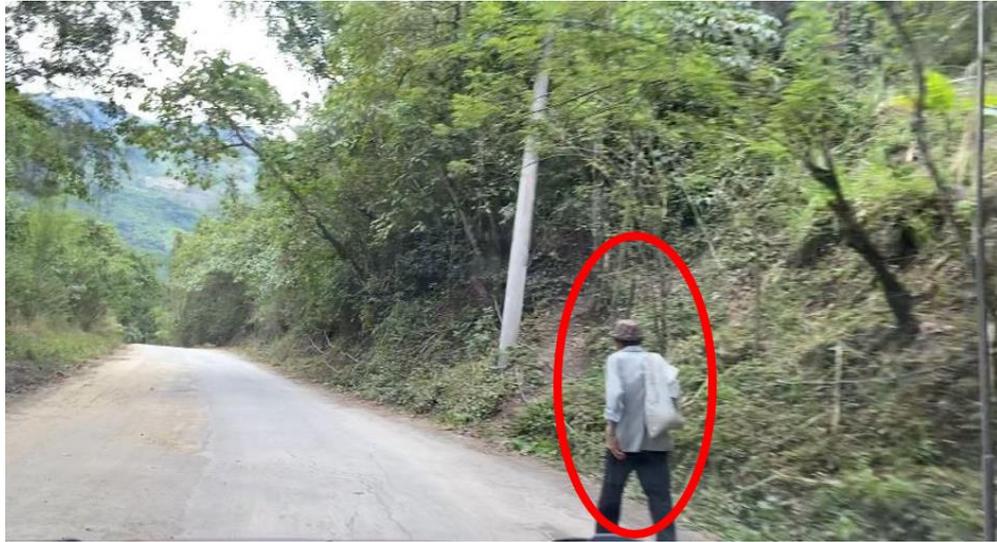


Ilustración 15: Falencia encontrada con respecto al tránsito de peatones en la vía estudiada. Fuente: Registro fotográfico propio

A continuación, se muestran los demás tipos de incongruencias encontradas y captadas en registro fotográfico.



Ilustración 16: Fallas en el ancho de vía. Fuente: Registro fotográfico propio



Ilustración 17: Pérdida de visibilidad del trazado en vertical. Fuente: Registro fotográfico propio



Ilustración 18: Ausencia de señalización horizontal, pérdida total de zona lateral y presencia de obstáculos naturales potencialmente peligrosos. Fuente: Registro fotográfico propio



Ilustración 19: Zona de alto flujo peatonal en el sector sin presencia de señalización alguna. Fuente: Registro fotográfico propio.

5.2. Valores normativos sobre el diseño horizontal

Anteriormente se especificó que el corredor vial es de tipo terciario, razón por la cual se identificaron los parámetros exactos que deben cumplirse en dicho corredor, para ello se tomaron en el diseño horizontal los valores para radio mínimo de curvatura, longitud mínima de curvatura, peralte máximo permitido, longitud de transición entre curvas y entretangencia, los valores tomados y su justificación se describe a continuación comenzando por el análisis de velocidad de tramo homogéneo, con el fin de definir con exactitud los más acordes y seguros en los demás criterios; cabe volver a aclarar que todos salieron del manual del INVIAS 2008 y de la normativa AASHTO.

5.2.1. Velocidad de tramos homogéneos

Teniendo en cuenta que la velocidad de diseño acorde para una vía de tipo terciaria está estipulada dentro de un rango entre 20 y 40 km/h, se parte de ello para el análisis de la velocidad por tramos homogéneos según lo descrito en el manual del INVIAS, para ello dicha normativa tienen estipulados los siguientes criterios:

Tabla 3: Elección del criterio de velocidad según el terreno. Fuente: Elaboración propia a partir de manual del INVIAS 2008

Categoría de la carretera	Tipo de terreno	Velocidad de diseño de un tramo homogéneo V_{TR} (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Terciaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										

Reafirmando que el terreno es montañoso, se tuvo en cuenta entonces una velocidad permitida entre los 20 y los 40 km/h, así mismo, se encontró la tabla de relación de velocidades de tramos homogéneos que se muestra a continuación:

Tabla 4: Especificaciones para velocidades de tramos homogéneos. Fuente: Elaboración propia a partir de manual del INVIAS 2008

Velocidad específica de la curva horizontal anterior V_{CH} (km/h)	Velocidad de diseño del tramo (V_{TR}) ≤ 50 km/h				
	Longitud del segmento recto anterior (m)				
	$L \leq 70$	$70 < L \leq 250$		$250 < L \leq 400$	$L > 400$
$\Delta < 45^\circ$		$\Delta \geq 45^\circ$			
V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
CASO	1	2	3	4	5

Definidos los casos anteriores, se procedió a calcular la velocidad de tramos homogéneos de todo el corredor obteniendo, suponiendo una velocidad de 40 km/h ya que se permite y es el mejor escenario posible, a partir de ello se obtuvo lo siguiente:

Tabla 5: Análisis de velocidad de tramo homogéneo para el corredor vial en estudio. Fuente: Elaboración propia.

Curva	Longitud segmento recto anterior (m)	Deflexion ($^\circ$)	V_{TR} (km/h)	Curva	Longitud segmento recto anterior (m)	Deflexion ($^\circ$)	V_{TR} (km/h)	Curva	Longitud segmento recto anterior (m)	Deflexion ($^\circ$)	V_{TR} (km/h)
1	33,42	24,43	40	25	0,8	37,83	40	49	27,14	104,05	40
2	19	74,1	40	26	0,72	100,73	40	50	18,5	66,23	40
3	23,14	37,32	40	27	18,71	63,02	40	51	63	25,94	40
4	23,6	60,8	40	28	22,3	17,5	40	52	26,8	23,76	40
5	26,5	5,4	40	29	20,74	15,71	40	53	14,1	12,23	40
6	15,6	22,6	40	30	26,33	7,64	40	54	16,2	4,48	40
7	51,6	38,32	40	31	42,78	24,81	40	55	25,81	9,58	40
8	19,14	11,2	40	32	24,83	39,23	40	56	62,08	67,25	40
9	7,7	23,53	40	33	44,52	86,82	40	57	80,22	15,68	40
10	25	75,23	40	34	11,52	12,2	40	58	93,26	12,18	40
11	1,1	29,28	40	35	10,79	33,62	40	59	18,69	10,44	40
12	76	109,83	40	36	0,8	18	40	60	52,28	16,63	40
13	0,12	69,12	40	37	6,87	24,53	40	61	72,96	12,34	40
14	56,04	49,4	40	38	14,19	17,85	40	62	22,91	51,7	40
15	0,25	124,45	40	39	4,45	18,33	40	63	44,92	26,1	40
16	98,51	70,14	40	40	3,51	44,03	40	64	13,03	34,22	40
17	38,22	36,23	40	41	6,9	12,91	40	65	23,48	20,16	40
18	42,9	44,29	40	42	43,6	16,62	40	66	14,51	59,92	40
19	47,2	82,5	40	43	27,76	2,35	40	67	82,54	28,07	40
20	44,3	8,46	40	44	33,19	17,01	40	68	13,27	23	40
21	5,84	22,61	40	45	10,26	25,46	40	69	14,9	44,85	40
22	27,36	22,7	40	46	43,44	32,49	40	70	153,75	29,41	40
23	7,02	40,54	40	47	42,12	35,58	40	71	28,44	81,98	40
24	28,63	37,83	40	48	24,93	17,45	40	72	37,83	107,06	40

Del análisis realizado en la tabla anterior se encontró que los tramos homogéneos del corredor dan perfectamente para que a lo largo de todo el recorrido el conductor pueda transitar a una velocidad de 40 km/h de una manera segura y eficiente. En el desarrollo de obtención de los tramos homogéneos se encontró que la mayoría de estos son de tipo 1 y los restantes se clasifican en los escenarios 2 y 3, pero en todos los casos se pudo garantizar la velocidad igual y sin cambio alguno y rectificando así que los demás parámetros de diseño pueden configurarse también con dicha velocidad de diseño obtenida de este apartado.

5.2.2. Peralte

Como se trata de una vía terciaria, el peralte máximo permitido para las curvas horizontales según los manuales de la AASHTO y el INVIAS es del 6%.

5.2.3. Radio mínimo de curvatura

Como ya se definió que la velocidad del corredor es de 40 km/h y el peralte máximo es del 6%, se procedió a obtener el valor de radio mínimo a partir del manual de INVIAS y rectificado con la normativa AASHTO así:

Primero se ingresó a la normativa AASHTO 2004 ya que el manual de INVIAS fue realizado con base en este y se tomaron los valores para un peralte de 6% y de velocidad de 40 km/h obteniendo lo siguiente:

Tabla 6: Radio mínimo con base en criterios de diseño definidos. Fuente: AASHTO (2004)

Design Speed (km/h)	Maximum e (%)	Maximum f	Total (e/100 + f)	Calculated radius (m)	Rounded radius (m)
15	6	0,4	0,46	3,9	4
20	6	0,35	0,41	7,7	8
30	6	0,28	0,34	20,8	21
40	6	0,23	0,29	43,4	43
50	6	0,19	0,25	78,7	79
60	6	0,17	0,23	123,2	123
70	6	0,15	0,21	183,7	184
80	6	0,14	0,2	252	252
90	6	0,13	0,19	335,7	336

Para un peralte máximo de 6% y una velocidad de 40 km/h se tiene según AASHTO un radio mínimo de curva horizontal de 43 metros como lo indica el valor señalado en amarillo en la tabla anterior, ahora, cuando se rectificaron los valores en el manual de INVIAS eran iguales, razón por la cual no se hizo necesario colocar nuevamente los valores de dicho manual.

5.2.4. Longitud de curva circular mínima

Para especificar este parámetro se tiene que un diseño seguro en este aspecto debe garantizar por lo menos una distancia circular por recorrer en un lapso de 2 segundos o más a la velocidad de diseño para que el conductor tenga el tiempo suficiente de maniobrar en plena curva de manera confortable. Para el cálculo del parámetro se tiene la siguiente ecuación:

$$Lc_{min} = 2 \text{ seg} * V_{diseño}$$

Donde la longitud circular mínima está dada en metros y la velocidad en km/h, ahora, reemplazando en la anterior se tiene lo siguiente:

$$Lc_{min} = 2 \text{ seg} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ seg}} * 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} * \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}}$$

$$Lc_{min} = 22.2 \text{ m}$$

Se tiene entonces que para una velocidad de 40 km/h, y los 2 segundos de tiempo de recorrido, la longitud de curva debe garantizarse mínimo de 22.2 metros.

5.2.5. Entretangencia y longitud de transición

Todas las curvas que componen el alineamiento horizontal cuentan con características distintas en sus espirales de entrada y salida, así mismo, no todas tienen las mismas características en su entretangencia, razón por la cual se tiene la siguiente ecuación para el cálculo de este parámetro:

$$Entretangencia_{min} = 5 \text{ seg} * V_{diseño}$$

Donde la entretangencia mínima está dada en metros y la velocidad en km/h, ahora, reemplazando en la anterior se tiene lo siguiente:

$$Entretangencia_{min} = 5 \text{ seg} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ seg}} * 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} * \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}}$$

$$Entretangencia_{min} = 55.6 \text{ m}$$

Se tiene entonces que para una velocidad de 40 km/h, y los 5 segundos de tiempo de recorrido, la entretangencia debe garantizarse mínimo de 55.6 metros, sin embargo, si las curvas son contiguas, pero en diferente sentido, el valor cambia de 5 segundos a 15 segundos por la peligrosidad que representa la transición para el conductor teniendo entonces el siguiente escenario para dicho caso:

$$Entretangencia_{min} = 15 \text{ seg} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ seg}} * 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} * \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}}$$

$$Entretangencia_{min} = 166.7 \text{ m}$$

5.2.6. Sobreancho

Para que todos los vehículos puedan circular cómodamente en simultaneo y sin fricción entre ellos se requiere un sobreancho, el cual se obtiene con la siguiente ecuación:

$$S = \frac{32 * n}{Rc}$$

Donde:

- n es el número de carriles existentes en la vía
- Rc es el radio de curvatura en metros

Se sabe que el radio mínimo para este corredor vial es de 43 metros, sin embargo, no todas las curvas tienen el mismo valor estandarizado (puede ser mayor), razón por la cual no se puede definir un valor de sobreancho mínimo, sino que se hace necesario calcularlo independientemente para cada curva.

5.3. Valores normativos sobre el diseño vertical

En el caso del diseño vertical, también existen unos parámetros delimitados para cumplimiento en el trazado y la geometría, para este caso se revisaron los manuales INVIAS y AASHTO para la delimitación de valores exigidos en el corredor de estudio en cuanto a pendiente longitudinal permitida, longitudes mínimas de curvas y tangentes verticales. A continuación, se detallan mejor cada uno de dichos aspectos.

5.3.1. Pendiente longitudinal mínima y máxima

Según INVIAS (2008), el valor mínimo de pendiente longitudinal debe diseñarse con el fin de garantizar un buen drenaje de la vía tanto en su superficie de rodadura como en las cunetas, por ende, se debe garantizar un valor mayor o igual a 0,3%.

Por otra parte, para encontrar el valor máximo se debe determinar a partir de la categoría de la vía y de la velocidad de diseño, para lo cual se tiene la siguiente tabla:

Tabla 7: Valores de pendiente máxima en diseño vertical. Fuente: INVIAS (2008)

Categoría de la carretera	Velocidad de diseño del tramo homogéneo (km/h)			
	20	30	40	50
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-
Primaria de una calzada	-	-	-	-
Secundaria	-	-	7	7
Terciaria	7	7	7	-

De acuerdo con la tabla anterior, el valor de pendiente máxima que se puede tener en esta carretera es del 7%.

5.3.2. Longitud mínima de curva vertical

En el alineamiento vertical se pueden encontrar dos tipos de curvas, las cóncavas y las convexas, para ambos casos en términos de diseño se tiene que su criterio mínimo a garantizar cuando la vía entra en operación es el siguiente:

$$LCV_{min} = 0.6 * V_{CV}$$

Donde la longitud de la curva se expresa en metros y la velocidad en km/h.

Dicho lo anterior, para la longitud mínima de curvas según la definición de una velocidad de operación de 40 km/h se obtiene entonces el siguiente valor a cumplir:

$$LCV_{min} = 0.6 * 40 \frac{km}{h} = 24 m$$

Dando como resultado que todas las curvas verticales del proyecto deberán cumplir con una longitud circular mínima de 24 metros.

5.3.3. Longitud de tangente vertical

Así como en el diseño horizontal se evalúa la entretangencia, en el diseño vertical también se debe revisar que tan separadas o continuas están las curvas verticales, puesto que estas representan incomodidad en términos de conducción y visibilidad para el conductor debido a la excesiva ondulación que pueda presentar el trazado. Para delimitar este criterio se tiene que, según el manual del INVIAS, la proyección horizontal debe poder recorrerse en un tiempo mínimo de 7 segundos, y adicionalmente se tiene la siguiente tabla de verificación de longitudes de tangente de acuerdo con la velocidad:

Tabla 8: Longitudes mínimas de tangente vertical. Fuente: INVIAS (2008)

Velocidad específica de la tangente vertical V_{tv} (km/h)	20	30	40
Longitud mínima de la tangente vertical (m)	40	60	80

De la tabla anterior se tiene entonces que los segmentos rectos entre curvas verticales consecutivas deben tener una distancia mínima de 80 metros para que el diseño tenga consistencia en perfil.

5.3.4. Parámetro de relación de consistencia entre horizontal y vertical

En el capítulo 2 se trató el tema de armonía entre diseño de planta y perfil de una vía, para la consistencia como tal no hay un valor mínimo según las normativas, sino que se hace necesario revisar tramos y escenarios críticos en la vía, razón por la cual se determinaron los siguientes como los de mayor peso:

- Diferencia entre pendientes de entrada y salida en curvas verticales, también denominado en el manual de INVIAS como el parámetro A, el cual si tiene una diferencia mayor al 6% supone una condición de alteración de visibilidad del conductor y daña la consistencia del diseño. Se tiene que según el manual hay 3 casos diferentes para las horizontales y 3 para las verticales como se muestra a continuación:

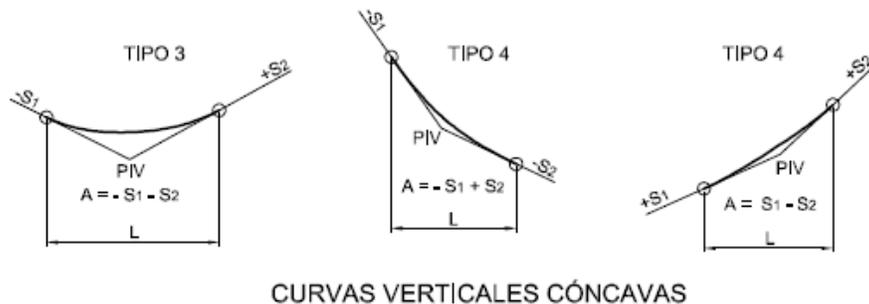


Ilustración 20: Criterios de A para curvas verticales cóncavas. Fuente: INVIAS (2008)

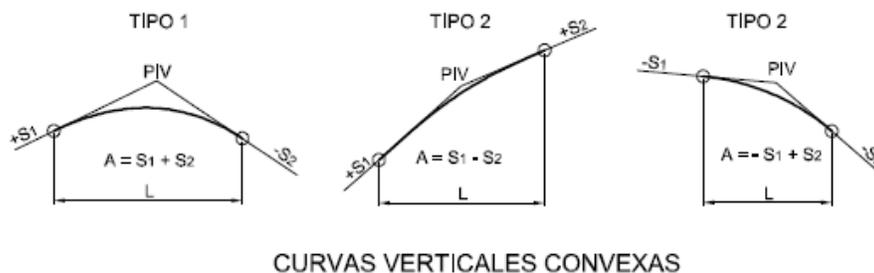


Ilustración 21: Criterios de A para curvas verticales convexas. Fuente: INVIAS (2008)

- Curvas verticales convexas que se presenten a lo largo del desarrollo del peralte de una curva horizontal (criterio de alta accidentalidad).

5.3.5. Criterio de visibilidad K

El manual de diseño geométrico en su capítulo 4, se tiene un parámetro de control de distancia de visibilidad de parada (K) que relaciona la longitud de curvas verticales, ya sean cóncavas o convexas y cual debería ser el valor adecuado en cuanto a la velocidad específica de un corredor vial. Para este caso de estudio se tiene lo siguiente:

Tabla 9: Criterios de distancia de visibilidad para curvas cóncavas y convexas. Fuente: INVIAS (2008)

Velocidad específica V _{cv} (km/h)	Distancia de visibilidad de parada (m)	Valores de K mínimo				Longitud mínima de curva según criterio de operación (m)
		Curva convexa		Curva cóncava		
		Calculado	Redondeado	Calculado	Redondeado	
20	20	0,6	1	2,1	3	20
30	35	1,9	2	5,1	6	20
40	50	3,8	4	8,5	9	24

Según la tabla anterior, para una velocidad específica de 40 km/h, la distancia de visibilidad de parada deberá ser mínimo de 50 metros, las curvas cóncavas deberán tener un valor de K de 4 y las convexas de 9.

5.4. Valores normativos sobre infraestructura presente en el corredor

Para este subcapítulo se describen los elementos de infraestructura y valores mínimos de diseño (si aplican según el alcance delimitado, de lo contrario solo se clasifican según su estado actual). Dichos elementos por analizar son la superficie de rodadura, la señalización, las zonas laterales, reductores y pasos a nivel, las barreras de contención, los accesos, las bermas y cunetas y la presencia de obstáculos.

5.4.1. Superficie de rodadura

Como no se tiene información exacta acerca de geotecnia, para la clasificación de valores en este ítem solo se tuvo en cuenta el análisis visual y se definió en términos de su estado actual de forma cualitativa.

5.4.2. Señalización

Para el ítem relacionado con señalización se encontró el siguiente esquema y valor normativo en cuanto a señales verticales en el Manual de Señalización Vial del INVIAS (2015):

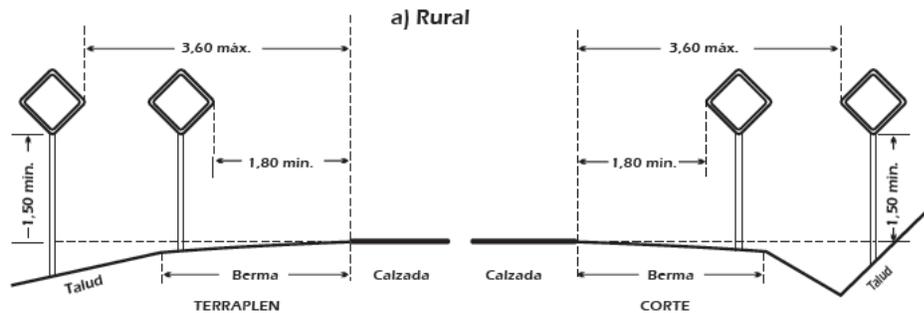


Ilustración 22: Esquema normativo para instalación de señales verticales en zona rural. Fuente: Manual de Señalización Vial INVIAS (2015)

Del esquema anterior se puede evidenciar que las señales deben estar separadas de la calzada mínimo 1.8 metros, este valor se tomó de referencia para las pocas señales existentes en la vía de estudio.

Por otra parte, para la señalización horizontal únicamente se tuvo en cuenta su inspección visual y análisis cualitativo de su estado actual (presencia o ausencia).

5.4.3. Elementos complementarios

Se tiene como elementos complementarios las zonas laterales, los elementos sobre superficie tales como las tachas y pasos a nivel, y también se tienen las barreras de contención.

Según cada elemento se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Para el caso de las zonas laterales simplemente se definió si la vía cuenta o no con superficie adecuada para estas a lo largo de los tramos de estudio.
- Para las tachas y pasos a nivel se definió si su presencia en vía era adecuada o no y si era necesario implementarlos en algunas zonas donde su ausencia pueda ser causal de baja seguridad vial.
- Para las barreras de contención se utilizaron los mismos criterios de análisis visual y justificación adecuada o inadecuada en vía.

5.4.4. Accesos

Como los volúmenes vehiculares de la vía no son tan altos, se hizo únicamente un análisis cualitativo de la configuración de los accesos veredales presentes en el corredor en cuanto a condiciones de estado actual, el tránsito no se tuvo en cuenta.

5.4.5. Bermas y cunetas

Sabiendo que el bombeo normal de la vía es del 2%, se realizó un análisis de inspección visual sobre dichos elementos y se indicó si su configuración era adecuada y si estaban en buen o mal estado.

5.4.6. Obstáculos

Para este criterio se tuvieron en cuenta los datos encontrados en la Guía técnica para el diseño de las zonas laterales para vías más seguras del Fondo de Prevención Vial (2012), donde según su estudio plasmaron los obstáculos más comunes e influyentes en accidentalidad vial como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10: Accidentalidad según orden de obstáculos. Fuente: Fondo de prevención vial (2012)

No orden	Tipo de objeto fijo	% de accidentes
1	Muros de contención	36,4
2	Árbol	25,6
3	Postes de servicio público	11,6
4	Barandas y defensas metálicas	10,2
5	Señales y vallas	3,9

De acuerdo con lo encontrado en inspección visual en la carretera se dieron criterios respecto a este ítem.

5.5. Análisis preliminar según software ViDA de IRAP

IRAP ofrece una herramienta online que permite clasificar por estrellas la vía de manera completa según ciertos parámetros de importancia definidos por dicho instituto, este se puede encontrar en el enlace <https://demonstrator.vida.irap.org/>. Para este caso de estudio se quiso analizar preliminarmente la calificación del corredor mediante dicho software online y así después compararla con la metodología aplicada de criterios de calificación por pesos y parámetros estadísticos, cabe aclarar que para este caso de estudio hay más influencia del diseño geométrico, pero, la forma de calificación IRAP sirvió como base para la metodología propuesta.

Para comenzar, IRAP solicita los siguientes datos de su interés:

- Sección transversal estándar.
- Atributos generales con los que cuenta la vía.
- Características de la zona lateral
- Características del ancho de carril
- Información sobre intersecciones
- Tránsito
- Obras civiles complementarias
- Velocidades

Según la revisión de nuestros parámetros de ingresaron de la siguiente manera al programa:

5.5.1. Sección transversal estándar



Ilustración 23: Sección transversal para ingreso a software. Fuente: IRAP

5.5.2. Atributos de la vía

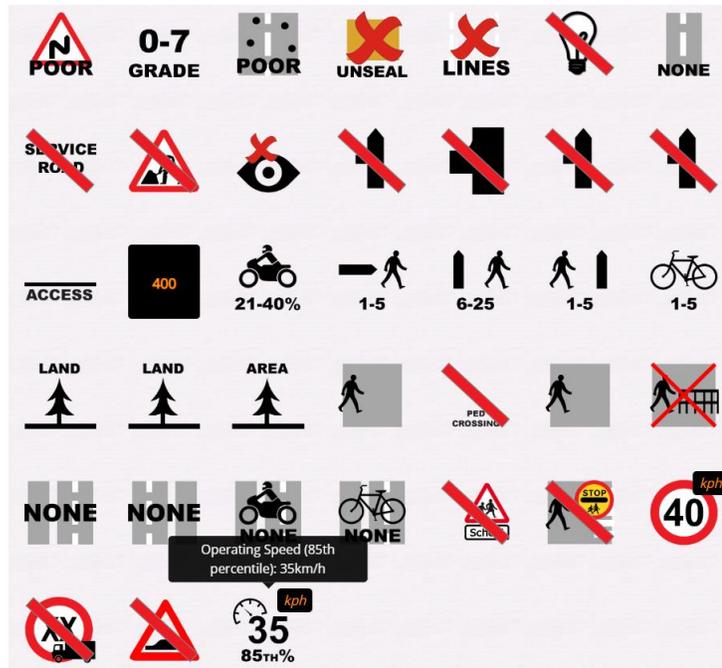


Ilustración 24: Atributos de la vía solicitados por el software. Fuente: IRAP

Algunos de los atributos son relacionados con las zonas laterales, cruces de peatones, velocidad de diseño, señalización presente, estado de la superficie de rodadura, accesos presentes, porcentajes de usuarios en motos y bicicletas, porcentajes de peatones e iluminación. Cabe aclarar que como la metodología de este trabajo va más orientada al diseño geométrico se utilizaron parámetros adicionales que IRAP no tiene en cuenta.

5.5.3. Características zona lateral

Severidad en la carretera: distancia del lado del conductor	0 a <1m
Gravedad en la carretera: objeto del lado del conductor	Árbol >=10 cm de diámetro.
Severidad en la carretera: distancia del lado del pasajero	0 a <1m
Gravedad en la carretera: objeto del lado del pasajero	Árbol >= 10 cm de diámetro.
Bandas sonoras para hombros	No presente
Banquina pavimentada - lado del conductor	Ninguno
Banquina pavimentada - lado del pasajero	Ninguno

Ilustración 25: Características de zona lateral según software. Fuente: IRAP

5.5.4. Características ancho, carril y laterales

Etiqueta de calzada	Camino indiviso	▼
Costo de actualización	Medio	▼
tipo mediana	Ancho medio físico $\geq 1,0$ ma $< 5,0$ m	▼
Bandas sonoras de línea central	No presente	▼
Número de carriles	Uno	▼
Ancho de carril	Estrecho (≥ 0 m a $< 2,75$ m)	▼
Curvatura	Afilado	▼
Calidad de la curva	Pobre	▼
Calificación	$\geq 0\%$ a $< 7,5\%$	▼
Condiciones del camino	Pobre	▼
Resistencia al deslizamiento/agarre	Sin sellar - pobre	▼
Delineación	Pobre	▼
alumbrado público	No presente	▼
Aparcamiento de vehículos	Ninguno	▼
Vía de acceso	No presente	▼
Obras de carretera	Sin obras viales	▼
Distancia de visión	Pobre	▼

Ilustración 26: Elementos de ancho, carril y laterales para software. Fuente: IRAP

5.5.5. Características intersecciones

Tipo de intersección	Ninguno	▼
Canalización de intersecciones	No presente	▼
Volumen de la carretera que se cruza	Ninguno	▼
Calidad de intersección	No aplica	▼
Puntos de acceso a la propiedad	Ninguno	▼

Ilustración 27: Información sobre intersecciones para software. Fuente: IRAP

5.5.6. Tránsito

Flujo de vehículos (AADT)	400	
% de motociclistas	21% - 40%	▼
Flujo de peatones en horas pico a través de la calle.	1 a 5	▼
Flujo de peatones en horas punta a lo largo de la carretera del lado del conductor	6 a 25	▼
Flujo de peatones en horas punta a lo largo de la carretera del lado del pasajero	1 a 5	▼
Flujo de ciclistas en horas pico	1 a 5	▼

Ilustración 28: Variables del tránsito para el software. Fuente: IRAP

Cabe recordar que, para el caso de estudio, el tránsito no se tuvo en cuenta porque el alcance se basa más en el diseño geométrico.

5.5.7. Obras civiles complementarias

Uso del suelo - lado del conductor	Áreas no desarrolladas
Uso del suelo - lado del pasajero	Áreas no desarrolladas
Tipo de área	Zona rural/abierta
Instalaciones de paso de peatones - vía inspeccionada	Sin instalaciones
Calidad del paso de peatones	No aplica
Instalaciones de paso de peatones - cruce de carreteras	Sin instalaciones
vallado peatonal	No presente
Acera - lado del conductor	Ninguno
Acera - lado del pasajero	Ninguno
Instalaciones para vehículos motorizados de dos ruedas.	Ninguno
Instalaciones para bicicletas.	Ninguno
Advertencia de zona escolar	No hay advertencia de zona escolar
Supervisor de cruce de zona escolar	Supervisor de cruce de zona escolar no presente

Ilustración 29: Obras complementarias pedidas por el software. Fuente: IRAP

5.5.8. Criterios de velocidad

Límite de velocidad	40 kilómetros por hora
Límites de velocidad diferencial	No presente
Gestión de la velocidad/calmando del tráfico	No presente
Velocidad de funcionamiento (percentil 85)	40 kilómetros por hora

Ilustración 30: Criterios de velocidad ingresados en el software. Fuente: IRAP

5.5.9. Análisis arrojado por IRAP



Ilustración 31: Cantidad de estrellas por calificación del corredor para cada usuario según IRAP. Fuente: IRAP

Según los datos ingresados al software ViDA suministrado en la página de IRAP, el corredor en términos de operación y seguridad para los cuatro tipos de usuarios está en condición deficiente, teniendo en cuenta que se califica de 1 a 5 estrellas, donde 1 estrella es condición deficiente y 5 es condición excelente. Sin embargo, para complementar mejor el análisis del diseño geométrico de la vía y de los lineamientos más exactos del corredor estudiado, se hizo necesario segregar la información por criterios de diseño de manuales e información complementaria encontrada en campo. También se puede decir que el análisis que propone IRAP es bueno, pero, se queda corto en cuanto a información que se pueda suministrar para corrección de diseños y/o infraestructura presente, por lo cual nace la metodología propuesta en esta tesis.

5.6. Criterios de calificación y análisis de resultados para parámetros del diseño horizontal

Como metodología se propuso hacer un homólogo de lo que realiza el IRAP en cuanto a calificación de un corredor vial, pero en este caso con base en los valores que estipulan los manuales de diseño para los elementos geométricos de las vías. Para este subcapítulo se exponen los valores para tener en cuenta en cada uno de estos a nivel de diseño horizontal de la carretera en estudio.

5.6.1. Peralte

Anteriormente se definió que el peralte máximo en el caso de una vía terciaria es del 6%, a continuación, se dan los criterios de calificación para calificar el valor que posee cada una de las curvas:

Tabla 11: Tabla de criterios de calificación para peraltes.

Peralte	
Criterio	Calificación
e ≤ 6%	5
e > 6%	2
Sin peralte	1

Definido esto, y sabiendo que se tienen en cuenta en un rango de -6% a 6% como valores válidos, se procedió con el análisis de los datos arrojados por el programa AutoCAD Civil 3D del panorama real de las curvas que componen el diseño y se obtuvo lo siguiente:

Tabla 12: Análisis cuantitativo de la variable de peralte. Fuente: Elaboración propia

Curva	Abscisa inicial	Abscisa final	e máx. de curva (%)	valor máximo por norma	Calificación
1	K00+037,23	K00+066,70	4,0%	±6%	5
2	K00+094,59	K00+132,17	5,4%	±6%	5
3	K00+165,38	K00+184,24	5,2%	±6%	5
4	K00+218,09	K00+241,59	-5,6%	±6%	5
5	K00+263,86	K00+269,56	-2,0%	±6%	5
6	K00+326,70	K00+347,30	4,2%	±6%	5
7	K00+389,56	K00+406,67	2,0%	±6%	5
8	K00+487,97	K00+510,18	-3,4%	±6%	5
9	K00+525,29	K00+545,91	4,4%	±6%	5
10	K00+580,71	K00+601,30	-6,0%	±6%	5
11	K00+612,63	K00+629,81	-4,8%	±6%	5
12	K00+693,15	K00+743,35	2,0%	±6%	5
13	K00+754,88	K00+790,71	6,0%	±6%	5
14	K00+813,28	K00+853,36	5,6%	±6%	5
15	K00+864,63	K00+919,15	-6,0%	±6%	5
16	K00+984,55	K01+060,37	-5,6%	±6%	5
17	K01+066,65	K01+124,20	5,2%	±6%	5
18	K01+136,26	K01+202,25	5,0%	±6%	5
19	K01+217,09	K01+288,89	6,0%	±6%	5
20	K01+303,88	K01+332,84	-2,0%	±6%	5
21	K01+345,90	K01+368,14	-4,2%	±6%	5
22	K01+403,48	K01+424,47	4,2%	±6%	5
23	K01+440,05	K01+468,35	-4,8%	±6%	5

Curva	Abscisa inicial	Abscisa final	e máx. de curva (%)	valor máximo por norma	Calificación
24	K01+506,86	K01+519,47	-5,6%	±6%	5
25	K01+531,29	K01+555,12	-6,0%	±6%	5
26	K01+566,67	K01+596,18	5,4%	±6%	5
27	K01+624,21	K01+636,69	4,4%	±6%	5
28	K01+666,78	K01+686,64	3,8%	±6%	5
29	K01+714,23	K01+743,18	-2,0%	±6%	5
30	K01+744,03	K01+812,05	-4,0%	±6%	5
31	K01+828,21	K01+894,69	-4,0%	±6%	5
32	K01+927,13	K02+064,99	2,0%	±6%	5
33	K02+084,02	K02+122,39	3,4%	±6%	5
34	K02+142,27	K02+154,67	-5,4%	±6%	5
35	K02+173,25	K02+227,78	-2,8%	±6%	5
36	K02+235,21	K02+260,07	4,2%	±6%	5
37	K02+274,55	K02+300,78	-3,8%	±6%	5
38	K02+322,20	K02+348,33	3,8%	±6%	5
39	K02+360,77	K02+398,16	-4,6%	±6%	5
40	K02+409,84	K02+423,05	-4,0%	±6%	5
41	K02+437,18	K02+479,32	-2,0%	±6%	5
42	K02+545,56	K02+604,42	3,6%	±6%	5
43	K02+612,13	K02+664,63	-3,8%	±6%	5
44	K02+683,25	K02+719,67	2,0%	±6%	5
45	K02+733,82	K02+804,90	-4,4%	±6%	5
46	K02+820,39	K02+869,92	-3,6%	±6%	5
47	K02+903,97	K02+935,44	6,0%	±6%	5
48	K02+972,28	K03+049,46	-4,2%	±6%	5
49	K03+076,33	K03+114,34	2,0%	±6%	5
50	K03+148,77	K03+205,51	4,4%	±6%	5
51	K03+207,21	K03+256,60	2,8%	±6%	5
52	K03+275,60	K03+291,05	-2,4%	±6%	5
53	K03+312,95	K03+326,13	3,6%	±6%	5
54	K03+361,06	K03+401,23	-2,0%	±6%	5
55	K03+433,27	K03+489,67	3,8%	±6%	5
56	K03+544,03	K03+592,39	-3,8%	±6%	5
57	K03+659,79	K03+689,13	-3,8%	±6%	5
58	K03+715,62	K03+745,58	2,0%	±6%	5
59	K03+770,47	K03+817,13	-4,0%	±6%	5
60	K03+861,19	K03+909,37	5,2%	±6%	5
61	K03+941,41	K03+983,44	-4,4%	±6%	5

Curva	Abscisa inicial	Abscisa final	e máx. de curva (%)	valor máximo por norma	Calificación
62	K04+000,21	K04+051,25	4,4%	±6%	5
63	K04+072,27	K04+096,25	-4,0%	±6%	5
64	K04+128,47	K04+162,10	5,2%	±6%	5
65	K04+185,74	K04+230,63	-4,4%	±6%	5
66	K04+285,40	K04+327,55	4,2%	±6%	5
67	K04+139,19	K04+385,56	-4,6%	±6%	5
68	K04+409,02	K04+451,85	-2,0%	±6%	5
69	K04+575,56	K04+639,42	-5,4%	±6%	5
70	K04+742,46	K04+753,87	2,0%	±6%	5
71	K04+765,46	K04+826,39	-2,0%	±6%	5
Ponderación numérica del criterio de peralte					5

De la tabla realizada anteriormente se puede evidenciar que los valores de peralte se respetan en las curvas desde su diseño inicial y que se obtiene una calificación perfecta en dicho parámetro.

5.6.2. Radio mínimo de curvatura

Recordando que para un peralte máximo de 6% y una velocidad de 40 km/h se debe tener un radio mínimo de curva horizontal de 43 metros, se definieron los siguientes criterios de calificación:

Tabla 13: Criterios de calificación para radio mínimo de curvas horizontales

Radio mínimo	
Criterio	Calificación
$R_c \geq 43$	5
$R_c < 43$	2

Comparando con los valores de las curvas existentes en el trazado actual se obtuvo lo siguiente:

Tabla 14: Calificación con criterios cuantitativos para el radio de curvatura mínimo en curvas horizontales. Fuente: Elaboración propia

Curva	Abscisa inicial	Abscisa final	Rc curva (m)	Rc min según manual (m)	Calificación
1	0+033,42	0+070,51	87,0	43	5
2	0+089,46	0+137,30	37,0	43	2
3	0+160,44	0+189,18	44,1	43	5
4	0+212,76	0+246,91	32,2	43	2
5	0+273,36	0+307,11	359,7	43	5
6	0+322,70	0+351,30	72,8	43	5
7	0+402,87	0+465,60	93,8	43	5
8	0+484,74	0+513,41	146,8	43	5
9	0+521,11	0+550,09	70,6	43	5
10	0+575,00	0+607,01	24,4	43	2
11	0+608,07	0+634,37	51,5	43	5
12	0+710,26	0+749,06	20,2	43	2
13	0+749,18	0+773,60	20,2	43	2
14	0+829,63	0+858,68	33,7	43	2
15	0+858,93	0+902,39	20,0	43	2
16	1+000,90	1+044,02	35,2	43	2
17	1+082,24	1+108,60	41,7	43	2
18	1+151,47	1+187,04	46,0	43	5
19	1+234,20	1+271,78	26,1	43	2
20	1+316,05	1+336,07	135,6	43	5
21	1+341,91	1+372,13	76,6	43	5
22	1+399,49	1+428,46	73,1	43	5
23	1+435,49	1+472,91	52,9	43	5
24	1+501,54	1+524,79	35,2	43	2
25	1+525,59	1+560,82	20,0	43	2
26	1+561,54	1+601,32	36,2	43	2
27	1+620,02	1+640,88	68,3	43	5
28	1+663,16	1+690,26	98,8	43	5
29	1+711,00	1+731,01	150,1	43	5
30	1+757,35	1+798,74	95,6	43	5
31	1+841,52	1+898,50	83,2	43	5
32	1+923,32	2+051,67	84,7	43	5
33	2+096,19	2+125,62	138,2	43	5
34	2+137,14	2+159,80	38,6	43	2
35	2+170,59	2+230,44	190,9	43	5
36	2+231,21	2+264,06	76,7	43	5

Curva	Abscisa inicial	Abscisa final	Rc curva (m)	Rc min según manual (m)	Calificación
37	2+270,93	2+304,40	107,4	43	5
38	2+318,59	2+351,95	104,3	43	5
39	2+356,39	2+402,54	60,0	43	5
40	2+406,04	2+426,86	92,4	43	5
41	2+433,75	2+466,77	113,8	43	5
42	2+510,35	2+530,35	488,7	43	5
43	2+558,11	2+591,87	113,7	43	5
44	2+625,06	2+668,24	97,2	43	5
45	2+678,50	2+704,46	45,8	43	5
46	2+747,89	2+790,83	69,1	43	5
47	2+832,94	2+873,34	132,6	43	5
48	2+898,27	2+941,14	23,6	43	2
49	2+968,28	3+053,45	73,7	43	5
50	3+071,95	3+099,89	61,7	43	5
51	3+162,84	3+191,44	69,0	43	5
52	3+218,23	3+259,26	192,2	43	5
53	3+273,32	3+293,33	256,0	43	5
54	3+309,52	3+329,55	119,7	43	5
55	3+355,35	3+384,12	24,5	43	2
56	3+446,20	3+476,74	111,6	43	5
57	3+556,96	3+579,46	105,8	43	5
58	3+672,72	3+692,75	109,9	43	5
59	3+711,43	3+731,50	69,1	43	2
60	3+783,78	3+803,82	93,0	43	5
61	3+876,78	3+914,32	41,6	43	2
62	3+937,23	3+969,37	70,6	43	5
63	4+014,28	4+055,44	68,9	43	5
64	4+068,46	4+100,05	89,8	43	5
65	4+123,53	4+167,05	41,6	43	2
66	4+181,55	4+216,56	71,5	43	5
67	4+299,09	4+331,55	80,9	43	5
68	4+344,82	4+389,93	57,6	43	5
69	4+404,83	4+437,78	64,2	43	5
70	4+591,54	4+644,55	37,1	43	2
71	4+672,99	4+737,51	34,5	43	2
72	4+775,34	4+816,51	279,3	43	5
Ponderación numérica del criterio de radio mínimo					4,1

Después de realizar el análisis de criterios de calificación de radio mínimo en el diseño horizontal, se obtuvo una calificación promedio de 4.1, y se encontraron los siguientes problemas que deben ser solucionados:

- En las abscisas K1+082,24, K3+876,78 y K4+123,53 las curvas tienen un valor inferior al normativo, pero no está tan alejado según los criterios asignados, las cuales requieren una revisión de ajuste en su diseño y se pueden definir como unos puntos donde se pudiese presentar accidentalidad en baja medida.
- En las abscisas K0+089,46, K2+137,14 y K4+591,54 las curvas tienen un valor inferior al normativo y se encuentra medianamente alejado del estipulado según los criterios asignados, las cuales requieren una revisión de ajuste en su diseño y se pueden definir como unos puntos donde se pudiese presentar accidentalidad moderada.
- En las abscisas K1+501,54, K1+561,54 y K4+672,99 las curvas tienen un valor y se encuentran alejados del normativo estipulado según los criterios asignados, las cuales requieren una revisión de ajuste en su diseño y se pueden definir como unos puntos donde se pudiese presentar accidentalidad alta.
- En las abscisas 0+212,76, 0+575,00, 1+234,20, 1+525,59, 2+898,27, 3+355,35, 3+711,43 y en el tramo comprendido entre 0+710,26 a 1+044,02 se tiene un valor muy por debajo del estipulado por la normativa según los criterios asignados. Dichos puntos y tramos requieren una intervención inmediata, ya que el riesgo de accidentalidad es muy alto y pueden generar malas maniobras por parte de los conductores que desencadenen en un evento de dicho tipo.
- Se tiene el siguiente resumen estadístico de datos donde se puede observar que, así como hay un 71% del corredor consistente en sus radios de curvatura, el 29% sobrante se encuentra para rediseño en dicho parámetro.

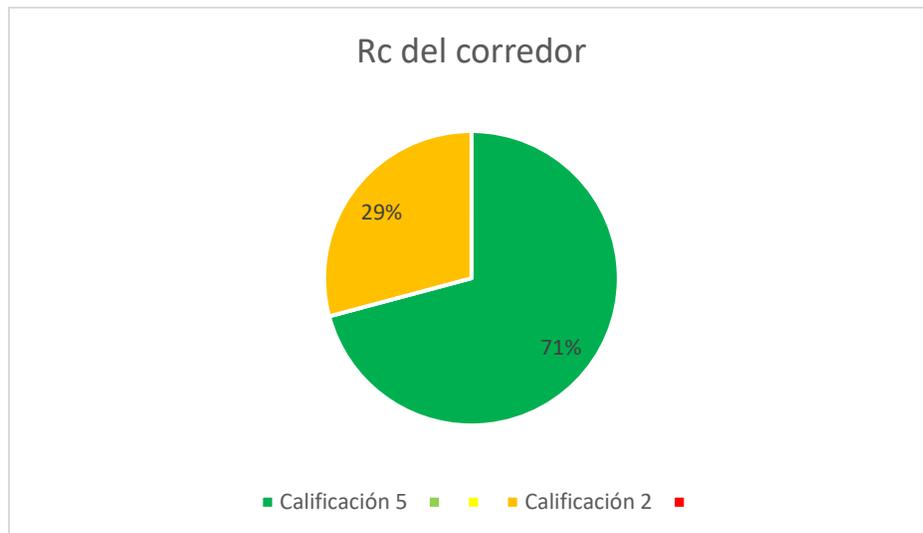


Ilustración 32: Estadísticos del parámetro Rc

5.6.3. Longitud de curva circular mínima

Se especificó que para una velocidad de 40 km/h, y 2 segundos de tiempo de recorrido, la longitud de curva debe garantizarse mínimo de 22.2 metros, a continuación, también se dan los estándares de calificación para las curvas con respecto a esta variable así:

Tabla 15: Criterios de calificación para longitud mínima de curvas horizontales

Longitud curva circular mínima	
Criterio	Calificación
$L_c \geq 22,2$	5
$L_c < 22,2$	2

Ya definidos los criterios de calificación se realizó el análisis comparativo de los valores reales de dichos elementos en campo con el valor calculado según las especificaciones de la norma y se obtuvo lo siguiente:

Tabla 16: Calificación con criterios cuantitativos para la longitud de curvatura mínima en curvas horizontales. Fuente: Elaboración propia

Curva	Abscisa inicial	Abscisa final	Lc curva (m)	Lc min según manual (m)	Calificación
1	0+033.42	0+070.51	37.084	22,2	5
2	0+089.46	0+137.30	47.844	22,2	5
3	0+160.44	0+189.18	28.742	22,2	5
4	0+212.76	0+246.91	34.146	22,2	5
5	0+273.36	0+307.11	33.742	22,2	5
6	0+322.70	0+351.30	28.593	22,2	5
7	0+402.87	0+465.60	62.731	22,2	5
8	0+484.74	0+513.41	28.673	22,2	5
9	0+521.11	0+550.09	28.978	22,2	5
10	0+575.00	0+607.01	32.004	22,2	5
11	0+608.07	0+634.37	26.301	22,2	5
12	0+710.26	0+749.06	38.800	22,2	5
13	0+749.18	0+773.60	24.419	22,2	5
14	0+829.63	0+858.68	29.045	22,2	5
15	0+858.93	0+902.39	43.458	22,2	5
16	1+000.90	1+044.02	43.123	22,2	5
17	1+082.24	1+108.60	26.365	22,2	5
18	1+151.47	1+187.04	35.572	22,2	5
19	1+234.20	1+271.78	37.577	22,2	5
20	1+316.05	1+336.07	20.018	22,2	2
21	1+341.91	1+372.13	30.223	22,2	5
22	1+399.49	1+428.46	28.971	22,2	5
23	1+435.49	1+472.91	37.428	22,2	5
24	1+501.54	1+524.79	23.250	22,2	5
25	1+525.59	1+560.82	35.233	22,2	5
26	1+561.54	1+601.32	39.779	22,2	5
27	1+620.02	1+640.88	20.853	22,2	2
28	1+663.16	1+690.26	27.093	22,2	5
29	1+711.00	1+731.01	20.015	22,2	2
30	1+757.35	1+798.74	41.392	22,2	5
31	1+841.52	1+898.50	56.979	22,2	5
32	1+923.32	2+051.67	128.352	22,2	5
33	2+096.19	2+125.62	29.427	22,2	5
34	2+137.14	2+159.80	22.659	22,2	5
35	2+170.59	2+230.44	59.849	22,2	5
36	2+231.21	2+264.06	32.850	22,2	5

Curva	Abscisa inicial	Abscisa final	Lc curva (m)	Lc min según manual (m)	Calificación
37	2+270.93	2+304.40	33.463	22,2	5
38	2+318.59	2+351.95	33.359	22,2	5
39	2+356.39	2+402.54	46.143	22,2	5
40	2+406.04	2+426.86	20.813	22,2	2
41	2+433.75	2+466.77	33.016	22,2	5
42	2+510.35	2+530.35	20.001	22,2	2
43	2+558.11	2+591.87	33.762	22,2	5
44	2+625.06	2+668.24	43.178	22,2	5
45	2+678.50	2+704.46	25.954	22,2	5
46	2+747.89	2+790.83	42.937	22,2	5
47	2+832.94	2+873.34	40.398	22,2	5
48	2+898.27	2+941.14	42.873	22,2	5
49	2+968.28	3+053.45	85.169	22,2	5
50	3+071.95	3+099.89	27.938	22,2	5
51	3+162.84	3+191.44	28.598	22,2	5
52	3+218.23	3+259.26	41.023	22,2	5
53	3+273.32	3+293.33	20.005	22,2	2
54	3+309.52	3+329.55	20.023	22,2	2
55	3+355.35	3+384.12	28.766	22,2	5
56	3+446.20	3+476.74	30.542	22,2	5
57	3+556.96	3+579.46	22.498	22,2	5
58	3+672.72	3+692.75	20.028	22,2	2
59	3+711.43	3+731.50	20.070	22,2	2
60	3+783.78	3+803.82	20.039	22,2	2
61	3+876.78	3+914.32	37.535	22,2	5
62	3+937.23	3+969.37	32.139	22,2	5
63	4+014.28	4+055.44	41.154	22,2	5
64	4+068.46	4+100.05	31.586	22,2	5
65	4+123.53	4+167.05	43.519	22,2	5
66	4+181.55	4+216.56	35.001	22,2	5
67	4+299.09	4+331.55	32.454	22,2	5
68	4+344.82	4+389.93	45.113	22,2	5
69	4+404.83	4+437.78	32.950	22,2	5
70	4+591.54	4+644.55	53.015	22,2	5
71	4+672.99	4+737.51	64.528	22,2	5
72	4+775.34	4+816.51	41.166	22,2	5
Ponderación numérica del criterio de longitud de curva mínima					4,6

Se pudo encontrar que en este parámetro hay buena consistencia a lo largo del diseño, sin embargo, como existen valores en algunas curvas que no cumplen, hacen que a pesar de haber sido excelente su condición en la mayoría de los casos analizados, no sea un trazado del todo seguro, ya que 86% está en perfecta condición comparado con un 14% que requiere intervención en términos de esta variable. A continuación, se muestra el gráfico representativo de dichos datos:

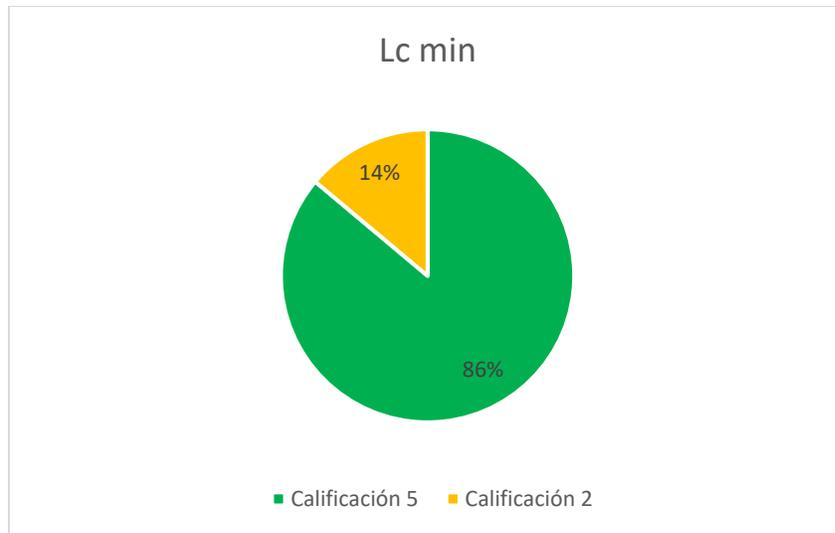


Ilustración 33: Análisis estadístico de las condiciones de Lc min

5.6.4. Entretangencia y longitud de transición

Anteriormente se indicó que para una velocidad de 40 km/h, y 5 segundos de tiempo de recorrido, la entretangencia debe garantizarse mínimo de 55.6 metros para las curvas que van en un mismo sentido, y de 15 segundos para las de diferente sentido con una entretangencia de 166.7 metros. Definido esto se procedió a revisar los segmentos rectos que separan a las curvas para definir si la distancia cumple o no de acuerdo con dichos valores normativos dados, a continuación, se dan los 2 criterios de calificación aplicados según cada caso:

Tabla 17: Criterios de calificación para entretangencia mínima de curvas horizontales en un mismo sentido

Entretangencia mismo sentido	
Criterio	Calificación
ENT \geq 55,6	5
ENT < 55,6	2

Tabla 18: Criterios de calificación para entretangencia mínima de curvas horizontales en diferente sentido

Entretangencia diferente sentido	
Criterio	Calificación
ENT \geq 166,7	5
ENT < 166,7	2

Definidos los criterios de calificación anteriores se procedió con el comparativo y calificación de elementos y se obtuvo lo siguiente:

Tabla 19: Calificación con criterios cuantitativos para la entretangencia entre curvas mínima en el diseño horizontales.

Fuente: Elaboración propia

Abscisa inicial	Abscisa final	Tipo de elemento	Longitud del elemento (m)	Radio de curva (m)	Tipo de curva	Valor según curva (m)	Calificación
0+000.00	0+033.42	Recta	33.423				
0+033.42	0+070.51	Curva	37.084	86.963			
0+070.51	0+089.46	Recta	18.950		Diferente sentido	166,7	2
0+089.46	0+137.30	Curva	47.844	36.995			
0+137.30	0+160.44	Recta	23.140		Diferente sentido	166,7	2
0+160.44	0+189.18	Curva	28.742	44.124			
0+189.18	0+212.76	Recta	23.581		Diferente sentido	166,7	2
0+212.76	0+246.91	Curva	34.146	32.187			
0+246.91	0+273.36	Recta	26.456		Diferente sentido	166,7	2
0+273.36	0+307.11	Curva	33.742	359.746			
0+307.11	0+322.70	Recta	15.596		Mismo sentido	55,6	2
0+322.70	0+351.30	Curva	28.593	72.789			
0+351.30	0+402.87	Recta	51.573		Mismo sentido	55,6	2
0+402.87	0+465.60	Curva	62.731	93.791			
0+465.60	0+484.74	Recta	19.142		Diferente sentido	166,7	2
0+484.74	0+513.41	Curva	28.673	146.750			
0+513.41	0+521.11	Recta	7.696		Diferente sentido	166,7	2

Abcisa inicial	Abcisa final	Tipo de elemento	Longitud del elemento (m)	Radio de curva (m)	Tipo de curva	Valor según curva (m)	Calificación
0+521.11	0+550.09	Curva	28.978	70.576			
0+550.09	0+575.00	Recta	24.915		Diferente sentido	166,7	2
0+575.00	0+607.01	Curva	32.004	24.375			
0+607.01	0+608.07	Recta	1.063		Mismo sentido	55,6	2
0+608.07	0+634.37	Curva	26.301	51.466			
0+634.37	0+710.26	Recta	75.888		Mismo sentido	55,6	5
0+710.26	0+749.06	Curva	38.800	20.241			
0+749.06	0+749.18	Recta	0.118		Mismo sentido	55,6	2
0+749.18	0+773.60	Curva	24.419	20.241			
0+773.60	0+829.63	Recta	56.038		Mismo sentido	55,6	5
0+829.63	0+858.68	Curva	29.045	33.714			
0+858.68	0+858.93	Recta	0.252		Mismo sentido	55,6	2
0+858.93	0+902.39	Curva	43.458	20.007			
0+902.39	1+000.90	Recta	98.509		Mismo sentido	55,6	5
1+000.90	1+044.02	Curva	43.123	35.224			
1+044.02	1+082.24	Recta	38.219		Diferente sentido	166,7	2
1+082.24	1+108.60	Curva	26.365	41.696			
1+108.60	1+151.47	Recta	42.862		Mismo sentido	55,6	2
1+151.47	1+187.04	Curva	35.572	46.023			
1+187.04	1+234.20	Recta	47.164		Mismo sentido	55,6	2
1+234.20	1+271.78	Curva	37.577	26.104			
1+271.78	1+316.05	Recta	44.272		Mismo sentido	55,6	2
1+316.05	1+336.07	Curva	20.018	135.609			
1+336.07	1+341.91	Recta	5.837		Diferente sentido	166,7	2
1+341.91	1+372.13	Curva	30.223	76.573			
1+372.13	1+399.49	Recta	27.362		Diferente sentido	166,7	2
1+399.49	1+428.46	Curva	28.971	73.111			
1+428.46	1+435.49	Recta	7.022		Diferente sentido	166,7	2
1+435.49	1+472.91	Curva	37.428	52.902			
1+472.91	1+501.54	Recta	28.629		Mismo sentido	55,6	2
1+501.54	1+524.79	Curva	23.250	35.215			
1+524.79	1+525.59	Recta	0.797		Mismo sentido	55,6	2
1+525.59	1+560.82	Curva	35.233	20.042			
1+560.82	1+561.54	Recta	0.715		Diferente sentido	166,7	2
1+561.54	1+601.32	Curva	39.779	36.164			
1+601.32	1+620.02	Recta	18.706		Mismo sentido	55,6	2
1+620.02	1+640.88	Curva	20.853	68.275			
1+640.88	1+663.16	Recta	22.286		Mismo sentido	55,6	2

Abscisa inicial	Abscisa final	Tipo de elemento	Longitud del elemento (m)	Radio de curva (m)	Tipo de curva	Valor según curva (m)	Calificación
1+663.16	1+690.26	Curva	27.093	98.812			
1+690.26	1+711.00	Recta	20.741		Mismo sentido	55,6	2
1+711.00	1+731.01	Curva	20.015	150.107			
1+731.01	1+757.35	Recta	26.334		Mismo sentido	55,6	2
1+757.35	1+798.74	Curva	41.392	95.581			
1+798.74	1+841.52	Recta	42.781		Mismo sentido	55,6	2
1+841.52	1+898.50	Curva	56.979	83.211			
1+898.50	1+923.32	Recta	24.825		Diferente sentido	166,7	2
1+923.32	2+051.67	Curva	128.352	84.704			
2+051.67	2+096.19	Recta	44.519		Mismo sentido	55,6	2
2+096.19	2+125.62	Curva	29.427	138.165			
2+125.62	2+137.14	Recta	11.522		Diferente sentido	166,7	2
2+137.14	2+159.80	Curva	22.659	38.612			
2+159.80	2+170.59	Recta	10.787		Mismo sentido	55,6	2
2+170.59	2+230.44	Curva	59.849	190.884			
2+230.44	2+231.21	Recta	0.779		Diferente sentido	166,7	2
2+231.21	2+264.06	Curva	32.850	76.728			
2+264.06	2+270.93	Recta	6.869		Diferente sentido	166,7	2
2+270.93	2+304.40	Curva	33.463	107.413			
2+304.40	2+318.59	Recta	14.191		Diferente sentido	166,7	2
2+318.59	2+351.95	Curva	33.359	104.286			
2+351.95	2+356.39	Recta	4.446		Diferente sentido	166,7	2
2+356.39	2+402.54	Curva	46.143	60.045			
2+402.54	2+406.04	Recta	3.507		Mismo sentido	55,6	2
2+406.04	2+426.86	Curva	20.813	92.387			
2+426.86	2+433.75	Recta	6.897		Diferente sentido	166,7	2
2+433.75	2+466.77	Curva	33.016	113.815			
2+466.77	2+510.35	Recta	43.579		Mismo sentido	55,6	2
2+510.35	2+530.35	Curva	20.001	488.701			
2+530.35	2+558.11	Recta	27.762		Mismo sentido	55,6	2
2+558.11	2+591.87	Curva	33.762	113.717			
2+591.87	2+625.06	Recta	33.191		Diferente sentido	166,7	2
2+625.06	2+668.24	Curva	43.178	97.179			
2+668.24	2+678.50	Recta	10.259		Diferente sentido	166,7	2
2+678.50	2+704.46	Curva	25.954	45.777			
2+704.46	2+747.89	Recta	43.435		Diferente sentido	166,7	2
2+747.89	2+790.83	Curva	42.937	69.136			
2+790.83	2+832.94	Recta	42.115		Mismo sentido	55,6	2

Abscisa inicial	Abscisa final	Tipo de elemento	Longitud del elemento (m)	Radio de curva (m)	Tipo de curva	Valor según curva (m)	Calificación
2+832.94	2+873.34	Curva	40.398	132.637			
2+873.34	2+898.27	Recta	24.926		Diferente sentido	166,7	2
2+898.27	2+941.14	Curva	42.873	23.610			
2+941.14	2+968.28	Recta	27.141		Diferente sentido	166,7	2
2+968.28	3+053.45	Curva	85.169	73.679			
3+053.45	3+071.95	Recta	18.502		Diferente sentido	166,7	2
3+071.95	3+099.89	Curva	27.938	61.718			
3+099.89	3+162.84	Recta	62.949		Mismo sentido	55,6	5
3+162.84	3+191.44	Curva	28.598	68.952			
3+191.44	3+218.23	Recta	26.797		Mismo sentido	55,6	2
3+218.23	3+259.26	Curva	41.023	192.217			
3+259.26	3+273.32	Recta	14.066		Diferente sentido	166,7	2
3+273.32	3+293.33	Curva	20.005	255.992			
3+293.33	3+309.52	Recta	16.196		Diferente sentido	166,7	2
3+309.52	3+329.55	Curva	20.023	119.730			
3+329.55	3+355.35	Recta	25.805		Diferente sentido	166,7	2
3+355.35	3+384.12	Curva	28.766	24.508			
3+384.12	3+446.20	Recta	62.078		Diferente sentido	166,7	2
3+446.20	3+476.74	Curva	30.542	111.571			
3+476.74	3+556.96	Recta	80.218		Diferente sentido	166,7	2
3+556.96	3+579.46	Curva	22.498	105.805			
3+579.46	3+672.72	Recta	93.263		Mismo sentido	55,6	5
3+672.72	3+692.75	Curva	20.028	109.880			
3+692.75	3+711.43	Recta	18.688		Diferente sentido	166,7	2
3+711.43	3+731.50	Curva	20.070	69.140			
3+731.50	3+783.78	Recta	52.279		Diferente sentido	166,7	2
3+783.78	3+803.82	Curva	20.039	93.012			
3+803.82	3+876.78	Recta	72.959		Diferente sentido	166,7	2
3+876.78	3+914.32	Curva	37.535	41.609			
3+914.32	3+937.23	Recta	22.914		Diferente sentido	166,7	2
3+937.23	3+969.37	Curva	32.139	70.644			
3+969.37	4+014.28	Recta	44.915		Diferente sentido	166,7	2
4+014.28	4+055.44	Curva	41.154	68.900			
4+055.44	4+068.46	Recta	13.027		Diferente sentido	166,7	2
4+068.46	4+100.05	Curva	31.586	89.754			
4+100.05	4+123.53	Recta	23.476		Diferente sentido	166,7	2
4+123.53	4+167.05	Curva	43.519	41.615			
4+167.05	4+181.55	Recta	14.508		Diferente sentido	166,7	2

Abscisa inicial	Abscisa final	Tipo de elemento	Longitud del elemento (m)	Radio de curva (m)	Tipo de curva	Valor según curva (m)	Calificación
4+181.55	4+216.56	Curva	35.001	71.451			
4+216.56	4+299.09	Recta	82.539		Mismo sentido	55,6	5
4+299.09	4+331.55	Curva	32.454	80.946			
4+331.55	4+344.82	Recta	13.268		Diferente sentido	166,7	2
4+344.82	4+389.93	Curva	45.113	57.639			
4+389.93	4+404.83	Recta	14.903		Mismo sentido	55,6	2
4+404.83	4+437.78	Curva	32.950	64.204			
4+437.78	4+591.54	Recta	153.753		Mismo sentido	55,6	5
4+591.54	4+644.55	Curva	53.015	37.056			
4+644.55	4+672.99	Recta	28.435		Diferente sentido	166,7	2
4+672.99	4+737.51	Curva	64.528	34.533			
4+737.51	4+775.34	Recta	37.830		Diferente sentido	166,7	2
4+775.34	4+816.51	Curva	41.166	279.319			
4+816.51	4+880.00	Recta	63.489				
Ponderación numérica del criterio de entretangencia							2,3

Una vez revisada la tabla de valores obtenida anteriormente, se pudo evidenciar que la vía se encuentra en estado crítico en seguridad vial respecto a la entretangencia de las curvas, ya que solo el 10% de estos elementos se encuentran en correcta configuración, el 90% sobrante debe revisarse. Una posible solución sería bajar la velocidad de diseño para que cumplan más elementos, sin embargo, el trazado seguiría con falencias. A continuación, se dan los estadísticos de lo encontrado:

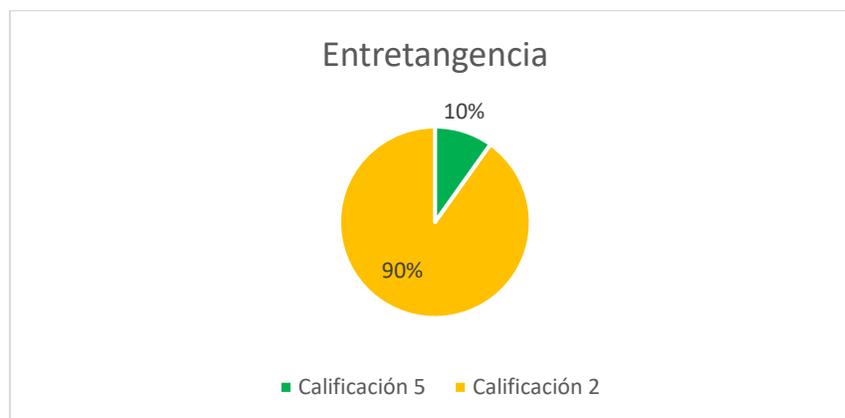


Ilustración 34: Análisis estadístico de las condiciones de entretangencia mínima

5.6.5. Sobreancho

En este corredor vial se encontró que las curvas diseñadas no cuentan con sobreancho o las que poseen dicho valor es muy pequeño comparado con lo que se exige, razón por la cual se dio una calificación de 1 a este criterio en general a todas las curvas como se muestra a continuación:

Tabla 20: Calificación con criterios cuantitativos para el sobreancho en curvas del diseño horizontales. Fuente: Elaboración propia

Ponderación numérica del criterio de sobreancho	1
--	----------

Como sucedió esta eventualidad, se propuso entonces calcular los valores de sobreancho que deberían tener las curvas según la condición actual y se obtuvo lo siguiente:

Tabla 21: Cálculo de valores de sobreancho en las curvas horizontales de condición actual. Fuente: Elaboración propia

Curva	Abscisa inicial	Abscisa final	Rc curva (m)	S (m)
1	0+033,42	0+070,51	87,0	0,74
2	0+089,46	0+137,30	37,0	1,73
3	0+160,44	0+189,18	44,1	1,45
4	0+212,76	0+246,91	32,2	1,99
5	0+273,36	0+307,11	359,7	0,18
6	0+322,70	0+351,30	72,8	0,88
7	0+402,87	0+465,60	93,8	0,68
8	0+484,74	0+513,41	146,8	0,44
9	0+521,11	0+550,09	70,6	0,91
10	0+575,00	0+607,01	24,4	2,63
11	0+608,07	0+634,37	51,5	1,24
12	0+710,26	0+749,06	20,2	3,16
13	0+749,18	0+773,60	20,2	3,16
14	0+829,63	0+858,68	33,7	1,90
15	0+858,93	0+902,39	20,0	3,20
16	1+000,90	1+044,02	35,2	1,82
17	1+082,24	1+108,60	41,7	1,53
18	1+151,47	1+187,04	46,0	1,39
19	1+234,20	1+271,78	26,1	2,45
20	1+316,05	1+336,07	135,6	0,47

Curva	Abscisa inicial	Abscisa final	Rc curva (m)	S (m)
21	1+341,91	1+372,13	76,6	0,84
22	1+399,49	1+428,46	73,1	0,88
23	1+435,49	1+472,91	52,9	1,21
24	1+501,54	1+524,79	35,2	1,82
25	1+525,59	1+560,82	20,0	3,19
26	1+561,54	1+601,32	36,2	1,77
27	1+620,02	1+640,88	68,3	0,94
28	1+663,16	1+690,26	98,8	0,65
29	1+711,00	1+731,01	150,1	0,43
30	1+757,35	1+798,74	95,6	0,67
31	1+841,52	1+898,50	83,2	0,77
32	1+923,32	2+051,67	84,7	0,76
33	2+096,19	2+125,62	138,2	0,46
34	2+137,14	2+159,80	38,6	1,66
35	2+170,59	2+230,44	190,9	0,34
36	2+231,21	2+264,06	76,7	0,83
37	2+270,93	2+304,40	107,4	0,60
38	2+318,59	2+351,95	104,3	0,61
39	2+356,39	2+402,54	60,0	1,07
40	2+406,04	2+426,86	92,4	0,69
41	2+433,75	2+466,77	113,8	0,56
42	2+510,35	2+530,35	488,7	0,13
43	2+558,11	2+591,87	113,7	0,56
44	2+625,06	2+668,24	97,2	0,66
45	2+678,50	2+704,46	45,8	1,40
46	2+747,89	2+790,83	69,1	0,93
47	2+832,94	2+873,34	132,6	0,48
48	2+898,27	2+941,14	23,6	2,71
49	2+968,28	3+053,45	73,7	0,87
50	3+071,95	3+099,89	61,7	1,04
51	3+162,84	3+191,44	69,0	0,93
52	3+218,23	3+259,26	192,2	0,33
53	3+273,32	3+293,33	256,0	0,25
54	3+309,52	3+329,55	119,7	0,53
55	3+355,35	3+384,12	24,5	2,61
56	3+446,20	3+476,74	111,6	0,57
57	3+556,96	3+579,46	105,8	0,60
58	3+672,72	3+692,75	109,9	0,58
59	3+711,43	3+731,50	69,1	0,93

Curva	Abscisa inicial	Abscisa final	Rc curva (m)	S (m)
60	3+783,78	3+803,82	93,0	0,69
61	3+876,78	3+914,32	41,6	1,54
62	3+937,23	3+969,37	70,6	0,91
63	4+014,28	4+055,44	68,9	0,93
64	4+068,46	4+100,05	89,8	0,71
65	4+123,53	4+167,05	41,6	1,54
66	4+181,55	4+216,56	71,5	0,90
67	4+299,09	4+331,55	80,9	0,79
68	4+344,82	4+389,93	57,6	1,11
69	4+404,83	4+437,78	64,2	1,00
70	4+591,54	4+644,55	37,1	1,73
71	4+672,99	4+737,51	34,5	1,85
72	4+775,34	4+816,51	279,3	0,23

De la tabla anterior se pueden evidenciar regiones que necesitan menos de un metro de sobreebanco para que pueda darse la condición segura, sin embargo, aquellas que tienen más de 3 metros se debe a que tienen alta deflexión, pero, de acuerdo con la condición actual de la vía es bastante complejo dar una región de 3 metros o más adicionales para dichas curvas, ya que el derecho de vía tiende a ser bastante reducido en algunos sectores.

5.7. Criterios de calificación y análisis de resultados para parámetros del diseño vertical

Tal como se realizó para el diseño horizontal, en el diseño vertical también se aplicaron criterios de calificación para sus diferentes elementos y se obtuvieron resultados con respecto al estado actual de cada uno de estos, a continuación, en cada subcapítulo se dan a conocer los análisis por cada situación encontrada.

5.7.1. Pendiente longitudinal mínima y máxima

Anteriormente se había definido que la pendiente vertical mínima era del orden de 0,3% y la máxima de 7%, con base en dichas restricciones se definió que:

Tabla 22: Criterios de calificación para la pendiente mínima y máxima del diseño vertical

Pendiente longitudinal	
Criterio	Calificación
$\pm (0,3\% \geq e \leq 7\%)$	5
$\pm (e > 7\% \wedge e < 0,3\%)$	2

Definido lo anterior se realizó el análisis correspondiente y se obtuvo lo siguiente:

Tabla 23: Calificación con criterios cuantitativos para las pendientes máximas y mínimas en el diseño vertical. Fuente: Elaboración propia

Abscisa	Elevación	i (%)	i min (%)	i max (%)	Calificación
0+016,67	1.182.631	-4,88%	0,3%	7%	5
0+042,64	1.180.823	-6,96%	0,3%	7%	5
0+163,42	1.171.242	-7,93%	0,3%	7%	2
0+222,93	1.166.978	-7,16%	0,3%	7%	2
0+315,79	1.159.860	-7,84%	0,3%	7%	2
0+405,68	1.153.421	-7,16%	0,3%	7%	2
0+438,65	1.149.873	-10,76%	0,3%	7%	2
0+460,68	1.148.596	-5,80%	0,3%	7%	5
0+491,57	1.147.204	-4,50%	0,3%	7%	5
0+522,23	1.144.735	-8,06%	0,3%	7%	2
0+572,45	1.141.111	-7,22%	0,3%	7%	2
0+606,20	1.138.360	-8,15%	0,3%	7%	2
0+631,51	1.136.822	-6,08%	0,3%	7%	5

Abscisa	Elevación	i (%)	i min (%)	i max (%)	Calificación
0+651,98	1.135.351	-7,18%	0,3%	7%	2
0+674,21	1.134.121	-5,53%	0,3%	7%	5
0+701,09	1.132.348	-6,60%	0,3%	7%	5
0+722,88	1.131.127	-5,61%	0,3%	7%	5
0+748,48	1.128.006	-12,19%	0,3%	7%	2
0+870,57	1.119.151	-7,08%	0,3%	7%	2
0+896,35	1.117.956	-4,64%	0,3%	7%	5
0+924,76	1.115.825	-7,50%	0,3%	7%	2
0+980,20	1.112.057	-6,80%	0,3%	7%	5
1+023,64	1.109.659	-5,52%	0,3%	7%	5
1+049,45	1.107.677	-7,68%	0,3%	7%	2
1+083,08	1.105.647	-6,03%	0,3%	7%	5
1+112,67	1.100.024	-19,00%	0,3%	7%	2
1+154,84	1.100.614	1,40%	0,3%	7%	5
1+201,58	1.096.544	-8,71%	0,3%	7%	2
1+223,22	1.095.578	-4,47%	0,3%	7%	5
1+246,98	1.093.671	-8,02%	0,3%	7%	2
1+268,27	1.092.969	-3,30%	0,3%	7%	5
1+294,04	1.091.719	-4,85%	0,3%	7%	5
1+320,54	1.090.848	-3,29%	0,3%	7%	5
1+375,80	1.083.113	-14,00%	0,3%	7%	2
1+427,82	1.083.564	0,87%	0,3%	7%	5
1+493,85	1.078.508	-7,66%	0,3%	7%	2
1+567,80	1.073.974	-6,13%	0,3%	7%	5
1+604,66	1.072.633	-3,64%	0,3%	7%	5
1+636,85	1.070.455	-6,77%	0,3%	7%	5
1+855,84	1.059.387	-5,05%	0,3%	7%	5
1+932,33	1.052.125	-9,49%	0,3%	7%	2
2+108,82	1.041.704	-5,90%	0,3%	7%	5
2+144,98	1.038.657	-8,43%	0,3%	7%	2
2+171,91	1.034.704	-14,67%	0,3%	7%	2
2+233,90	1.032.710	-3,22%	0,3%	7%	5
2+264,06	1.032.315	-1,31%	0,3%	7%	5
2+293,78	1.030.146	-7,30%	0,3%	7%	2
2+327,48	1.028.500	-4,89%	0,3%	7%	5
2+362,96	1.024.599	-11,00%	0,3%	7%	2
2+399,09	1.023.531	-2,96%	0,3%	7%	5
2+425,09	1.018.840	-18,04%	0,3%	7%	2
2+470,77	1.017.400	-3,15%	0,3%	7%	5
2+533,69	1.015.161	-3,56%	0,3%	7%	5

Abscisa	Elevación	i (%)	i min (%)	i max (%)	Calificación
2+591,32	1.012.510	-4,60%	0,3%	7%	5
2+654,11	1.008.999	-5,59%	0,3%	7%	5
2+699,87	1.007.474	-3,33%	0,3%	7%	5
2+751,84	1.003.411	-7,82%	0,3%	7%	2
2+774,20	999.481	-17,58%	0,3%	7%	2
2+821,84	998.810	-1,41%	0,3%	7%	5
2+915,88	996.645	-2,30%	0,3%	7%	5
2+994,13	992.534	-5,25%	0,3%	7%	5
3+128,90	984.167	-6,21%	0,3%	7%	5
3+248,07	980.469	-3,10%	0,3%	7%	5
3+288,12	978.898	-3,92%	0,3%	7%	5
3+375,70	973.078	-6,65%	0,3%	7%	5
3+422,73	969.822	-6,92%	0,3%	7%	5
3+482,04	967.490	-3,93%	0,3%	7%	5
3+534,50	964.370	-5,95%	0,3%	7%	5
3+685,94	954.760	-6,35%	0,3%	7%	5
3+779,41	945.673	-9,72%	0,3%	7%	2
3+815,77	943.307	-6,51%	0,3%	7%	5
3+911,04	934.056	-9,71%	0,3%	7%	2
3+951,07	933.372	-1,71%	0,3%	7%	5
3+987,38	932.012	-3,74%	0,3%	7%	5
4+028,24	929.411	-6,36%	0,3%	7%	5
4+065,63	928.311	-2,94%	0,3%	7%	5
4+117,35	928.782	0,91%	0,3%	7%	5
4+227,24	927.769	-0,92%	0,3%	7%	5
4+315,20	922.195	-6,34%	0,3%	7%	5
4+438,96	915.228	-5,63%	0,3%	7%	5
4+489,42	911.773	-6,85%	0,3%	7%	5
4+553,53	909.015	-4,30%	0,3%	7%	5
4+645,95	904.065	-5,36%	0,3%	7%	5
4+719,97	901.594	-3,34%	0,3%	7%	5
4+750,83	899.887	-5,53%	0,3%	7%	5
4+779,35	898.564	-4,64%	0,3%	7%	5
4+822,43	895.812	-6,39%	0,3%	7%	5
4+857,76	894.351	-4,14%	0,3%	7%	5
Ponderación numérica del criterio de pendientes max y min					4

De la tabla anterior se puede observar que hay varios tramos continuos donde la pendiente vertical no cumple y aparecen excesos considerables donde pueden

existir inconvenientes para el ascenso y descenso de los vehículos por dicha carretera, junto con posible incomodidad en la visibilidad de los conductores que transiten por allí. A pesar de que se obtuvo una calificación de 4 puntos en este criterio, no se puede dejar de lado que hay un 68% del trazado en buen estado en dicho aspecto, pero el 32% sobrante no lo está. A continuación, se muestra el gráfico estadístico de lo explicado con anterioridad:

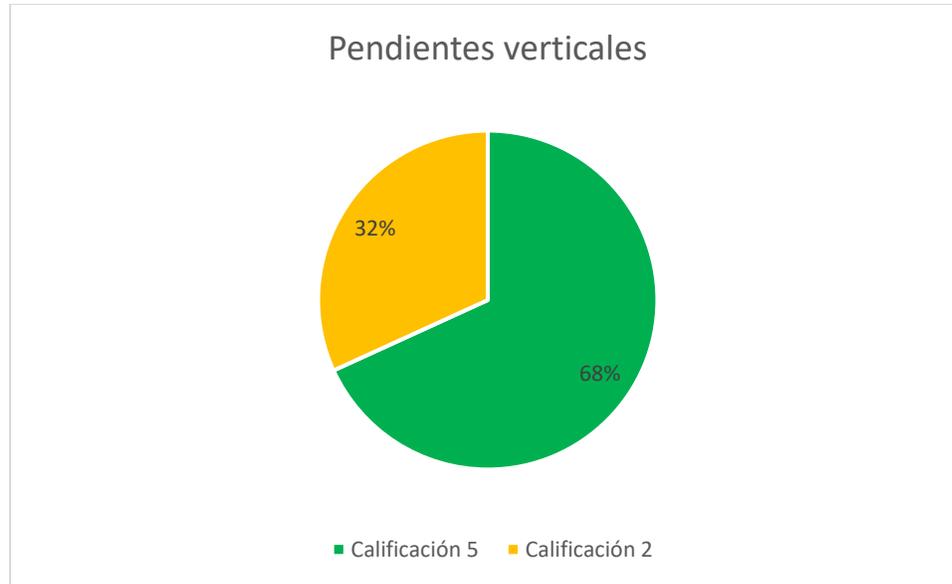


Ilustración 35: Análisis estadístico de las condiciones de pendientes longitudinales en el alineamiento vertical

5.7.2. Longitud mínima de curva vertical

Anteriormente se definió que para una velocidad de diseño de 40 km/h se requería una longitud mínima de curva de 24 metros, sin importar si es de tipo cóncava o convexa se debe respetar dicha restricción. Dicho esto, se exponen a continuación los criterios de calificación aplicados a las longitudes:

Tabla 24: Criterios de calificación para longitud mínima de curvas verticales en ambos casos

Longitud mínima curva vertical	
Criterio	Calificación
$LCV \geq 24$	5
$LCV < 24$	2

A partir de dichos criterios, se procedió con el análisis de calificación de las longitudes y se obtuvo lo siguiente:

Tabla 25: Calificación con criterios cuantitativos para longitud mínima de curvas verticales. Fuente: Elaboración propia

Curva	Abscisa	LCV (m)	LCV min (m)	Calificación
1	0+016.67	20.000	24	2
2	0+042.64	20.000	24	2
3	0+163.42	20.000	24	2
4	0+222.93	20.000	24	2
5	0+315.79	20.000	24	2
6	0+405.68	20.000	24	2
7	0+438.65	20.000	24	2
8	0+460.68	20.000	24	2
9	0+491.57	20.000	24	2
10	0+522.23	20.000	24	2
11	0+572.45	20.000	24	2
12	0+606.20	20.000	24	2
13	0+631.51	20.000	24	2
14	0+651.98	20.000	24	2
15	0+674.21	20.000	24	2
16	0+701.09	20.000	24	2
17	0+722.88	20.000	24	2
18	0+748.48	20.000	24	2
19	0+870.57	20.000	24	2
20	0+896.35	20.000	24	2
21	0+924.76	20.000	24	2
22	0+980.20	20.000	24	2
23	1+023.64	20.000	24	2
24	1+049.45	20.000	24	2
25	1+083.08	24.425	24	5
26	1+112.67	28.124	24	5
27	1+154.84	20.000	24	2
28	1+201.58	20.000	24	2
29	1+223.22	20.000	24	2
30	1+246.98	20.000	24	2
31	1+268.27	20.000	24	2
32	1+294.04	20.000	24	2
33	1+320.54	20.000	24	2
34	1+375.80	62.974	24	5
35	1+427.82	39.863	24	5
36	1+493.85	20.000	24	2

Curva	Abscisa	LCV (m)	LCV min (m)	Calificación
37	1+567.80	20.000	24	2
38	1+604.66	20.000	24	2
39	1+636.85	20.000	24	2
40	1+855.84	20.000	24	2
41	1+932.33	40.000	24	5
42	2+108.82	20.000	24	2
43	2+144.98	20.000	24	2
44	2+171.91	29.531	24	5
45	2+233.90	20.000	24	2
46	2+264.06	20.000	24	2
47	2+293.78	20.000	24	2
48	2+327.48	20.000	24	2
49	2+362.96	20.000	24	2
50	2+399.09	20.000	24	2
51	2+425.09	20.000	24	2
52	2+470.77	20.000	24	2
53	2+533.69	20.000	24	2
54	2+591.32	20.000	24	2
55	2+654.11	20.000	24	2
56	2+699.87	30.000	24	5
57	2+751.84	20.000	24	2
58	2+774.20	20.000	24	2
59	2+821.84	20.000	24	2
60	2+915.88	40.000	24	5
61	2+994.13	20.000	24	2
62	3+128.90	53.149	24	5
63	3+248.07	20.000	24	2
64	3+288.12	20.000	24	2
65	3+375.70	20.000	24	2
66	3+422.73	20.000	24	2
67	3+482.04	20.000	24	2
68	3+534.50	20.000	24	2
69	3+685.94	47.968	24	5
70	3+779.41	20.000	24	2
71	3+815.77	20.000	24	2
72	3+911.04	20.000	24	2
73	3+951.07	20.000	24	2
74	3+987.38	20.000	24	2
75	4+028.24	20.000	24	2
76	4+065.63	20.000	24	2

Curva	Abscisa	LCV (m)	LCV min (m)	Calificación
77	4+117.35	20.000	24	2
78	4+227.24	57.730	24	5
79	4+315.20	20.000	24	2
80	4+438.96	20.000	24	2
81	4+489.42	20.000	24	2
82	4+553.53	20.000	24	2
83	4+645.95	20.000	24	2
84	4+719.97	20.000	24	2
85	4+750.83	20.000	24	2
86	4+779.35	20.000	24	2
87	4+822.43	20.000	24	2
88	4+857.76	20.000	24	2
Ponderación numérica del criterio de longitud mínima de curva vertical				2,4

Del análisis de la tabla anterior se pudo evidenciar que el diseño vertical es crítico en este corredor vial, ya que un muy bajo porcentaje de sus curvas cumplen con la longitud adecuada de diseño, lo cual refleja que el tránsito por dicha carretera es complejo en términos de cambios bruscos en alturas (excesos en ascensos y descensos). En términos generales se tiene que el 88% del trazado vertical está inconsistente en cuanto a las longitudes de las curvas y el 12% restante las tiene con diseño adecuado. A continuación, se muestra el gráfico estadístico que refleja mejor la situación presentada con dichos elementos tipo curva vertical:

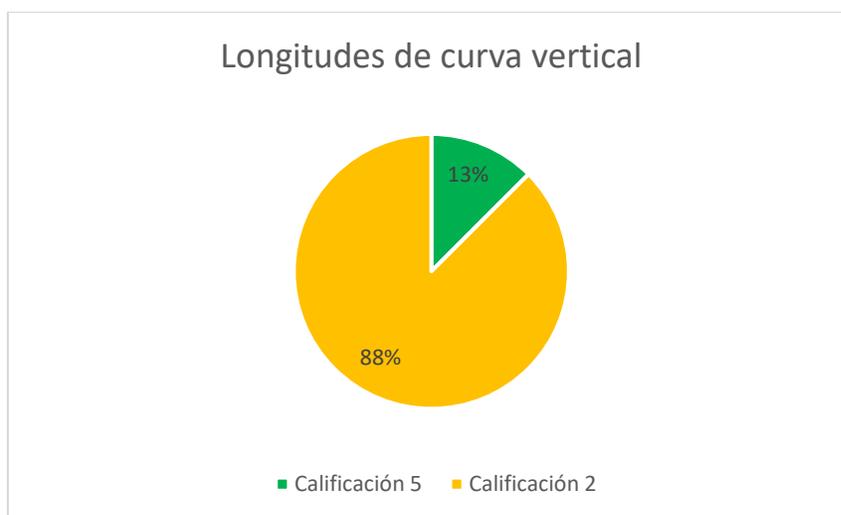


Ilustración 36: Análisis estadístico de las condiciones de longitud de curva vertical mínima

5.7.3. Longitud de tangente vertical

En acápites anteriores se indicó que este parámetro se tiene para buscar los sitios que puedan representar incomodidad en términos de conducción y visibilidad para los usuarios de la vía, y se determinó que por normativa del diseño se debe garantizar una longitud de tangente de 80 metros entre curva y curva. Definido lo anterior, se eligieron los siguientes criterios de calificación:

Tabla 26: Criterios de calificación para longitudes de tangentes verticales

Longitud mínima tangente vertical	
Criterio	Calificación
LTV \geq 80	5
LTV < 80	2

Con las restricciones de calificación impuestas por la tabla anterior, se procedió con el análisis de las longitudes en todo el alineamiento vertical en condiciones actuales y se obtuvo lo siguiente:

Tabla 27: Calificación con criterios cuantitativos para la longitud de tangente vertical. Fuente: Elaboración propia

Tramo	Longitud (m)	LTV min (m)	Calificación
1	25,97	80	2
2	120,78	80	5
3	59,51	80	2
4	92,86	80	5
5	89,89	80	5
6	32,97	80	2
7	22,03	80	2
8	30,89	80	2
9	30,66	80	2
10	50,22	80	2
11	33,75	80	2
12	25,31	80	2
13	20,47	80	2
14	22,23	80	2
15	26,88	80	2
16	21,79	80	2
17	25,6	80	2

Tramo	Longitud (m)	LTV min (m)	Calificación
18	122,09	80	5
19	25,78	80	2
20	28,41	80	2
21	55,44	80	2
22	43,44	80	2
23	25,81	80	2
24	33,63	80	2
25	29,59	80	2
26	42,17	80	2
27	46,74	80	2
28	21,64	80	2
29	23,76	80	2
30	21,29	80	2
31	25,77	80	2
32	26,5	80	2
33	55,26	80	2
34	52,02	80	2
35	66,03	80	2
36	73,95	80	2
37	36,86	80	2
38	32,19	80	2
39	218,99	80	5
40	76,49	80	2
41	176,49	80	5
42	36,16	80	2
43	26,93	80	2
44	61,99	80	2
45	30,16	80	2
46	29,72	80	2
47	33,7	80	2
48	35,48	80	2
49	36,13	80	2
50	26	80	2
51	45,68	80	2
52	62,92	80	2
53	57,63	80	2
54	62,79	80	2
55	45,76	80	2
56	51,97	80	2
57	22,36	80	2

Tramo	Longitud (m)	LTV min (m)	Calificación
58	47,64	80	2
59	94,04	80	5
60	78,25	80	2
61	134,77	80	5
62	119,17	80	5
63	40,05	80	2
64	87,58	80	5
65	47,03	80	2
66	59,31	80	2
67	52,46	80	2
68	151,44	80	5
69	93,47	80	5
70	36,36	80	2
71	95,27	80	5
72	40,03	80	2
73	36,31	80	2
74	40,86	80	2
75	37,39	80	2
76	51,72	80	2
77	109,89	80	5
78	87,96	80	5
79	123,76	80	5
80	50,46	80	2
81	64,11	80	2
82	92,42	80	5
83	74,02	80	2
84	30,86	80	2
85	28,52	80	2
86	43,08	80	2
87	35,33	80	2
88	22,24	80	2
Ponderación numérica del criterio de tangente mínima			2,6

De los resultados en la tabla anterior se pudo deducir que la tangente vertical al cumplir la misma labor de la entretangencia en el diseño horizontal representa un gran riesgo para los conductores si no está correctamente configurada entre cada par de curvas consecutivas, ya que esto da a entender que el tránsito por el corredor vial de estudio resulta incómodo y peligroso y se ve reflejado en cambios bruscos

no solo en las curvas horizontales sino también en las verticales, lo cual representa un alto riesgo de accidente. Para este caso, con una calificación de 2,6, la cual es baja y, así como se propuso para el diseño horizontal, se podría mejorar un poco la calificación si se redujera la velocidad de diseño, sin embargo, no dará una consistencia al 100% como se quisiera esperar. En resumen, se tiene que el 81% del corredor no cumple con la tangencia vertical y el 19% restante si, a continuación, se muestra el gráfico con las estadísticas encontradas:

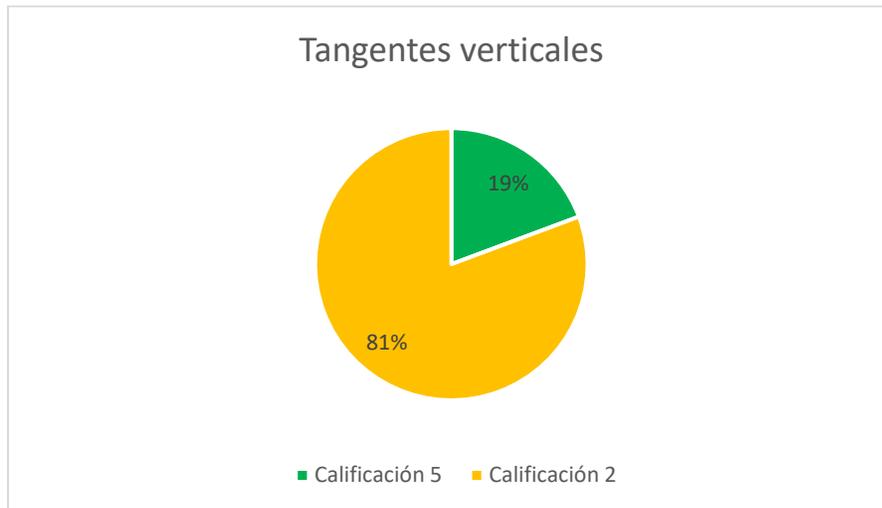


Ilustración 37: Análisis estadístico de las condiciones de tangencia vertical

5.7.4. Parámetro de relación de consistencia entre horizontal y vertical

Este parámetro se denomina como A y, como se dijo en incisos anteriores, tiene que ver con la armonía de escenarios críticos entre planta y perfil, los valores máximos permitidos según la normativa son del 6%. Dicho esto, se determinaron los siguientes criterios de calificación:

Tabla 28: Criterios de calificación para consistencia entre diseño horizontal y vertical

Criterio de consistencia planta / perfil	
Criterio	Calificación
$A \leq 6\%$	5
$A > 6\%$	2

Delimitados los criterios anteriores se procedió con el análisis de los datos y se obtuvo lo siguiente:

Tabla 29: Calificación con criterios cuantitativos para la consistencia de diseño planta y perfil. Fuente: Elaboración propia

Curva	Abscisa	i entrada (%)	i salida (%)	Diferencia A (%)	A max (%)	Calificación
1	0+016,67	-4,88%	-6,96%	2,08%	6%	5
2	0+042,64	-6,96%	-7,93%	0,97%	6%	5
3	0+163,42	-7,93%	-7,16%	0,77%	6%	5
4	0+222,93	-7,16%	-7,55%	0,39%	6%	5
5	0+315,79	-7,84%	-7,16%	0,67%	6%	5
6	0+405,68	-7,16%	-10,76%	3,60%	6%	5
7	0+438,65	-10,76%	-5,80%	4,97%	6%	5
8	0+460,68	-5,80%	-4,50%	1,29%	6%	5
9	0+491,57	-4,50%	-8,06%	3,55%	6%	5
10	0+522,23	-8,06%	-7,22%	0,84%	6%	5
11	0+572,45	-7,22%	-8,15%	0,94%	6%	5
12	0+606,20	-8,15%	-6,08%	2,08%	6%	5
13	0+631,51	-6,08%	-7,18%	1,11%	6%	5
14	0+651,98	-7,18%	-5,53%	1,65%	6%	5
15	0+674,21	-5,53%	-6,60%	1,06%	6%	5
16	0+701,09	-6,60%	-5,61%	0,99%	6%	5
17	0+722,88	-5,61%	-12,19%	6,58%	6%	2
18	0+748,48	-12,19%	-7,39%	4,80%	6%	5
19	0+870,57	-7,08%	-4,64%	2,44%	6%	5
20	0+896,35	-4,64%	-7,50%	2,86%	6%	5
21	0+924,76	-7,50%	-6,80%	0,70%	6%	5
22	0+980,20	-6,80%	-5,52%	1,28%	6%	5
23	1+023,64	-5,52%	-7,68%	2,16%	6%	5
24	1+049,45	-7,68%	-6,03%	1,65%	6%	5
25	1+083,08	-6,03%	-19,00%	12,97%	6%	2
26	1+112,67	-19,00%	1,40%	20,40%	6%	2
27	1+154,84	1,40%	-8,71%	10,10%	6%	2
28	1+201,58	-8,71%	-4,47%	4,24%	6%	5
29	1+223,22	-4,47%	-8,02%	3,56%	6%	5
30	1+246,98	-8,02%	-3,30%	4,72%	6%	5
31	1+268,27	-3,30%	-4,85%	1,55%	6%	5
32	1+294,04	-4,85%	-3,29%	1,56%	6%	5
33	1+320,54	-3,29%	-14,00%	10,71%	6%	2
34	1+375,80	-14,00%	0,87%	14,86%	6%	2
35	1+427,82	0,87%	-7,66%	8,52%	6%	2

Curva	Abscisa	i entrada (%)	i salida (%)	Diferencia A (%)	A max (%)	Calificación
36	1+493,85	-7,66%	-6,13%	1,53%	6%	5
37	1+567,80	-6,13%	-3,64%	2,49%	6%	5
38	1+604,66	-3,64%	-6,77%	3,13%	6%	5
39	1+636,85	-6,77%	-5,05%	1,71%	6%	5
40	1+855,84	-5,05%	-9,49%	4,44%	6%	5
41	1+932,33	-9,49%	-5,90%	3,59%	6%	5
42	2+108,82	-5,90%	-8,43%	2,53%	6%	5
43	2+144,98	-8,43%	-14,67%	6,25%	6%	2
44	2+171,91	-14,67%	-3,22%	11,46%	6%	2
45	2+233,90	-3,22%	-1,31%	1,91%	6%	5
46	2+264,06	-1,31%	-7,30%	5,99%	6%	5
47	2+293,78	-7,30%	-4,89%	2,42%	6%	5
48	2+327,48	-4,89%	-11,00%	6,11%	6%	2
49	2+362,96	-11,00%	-2,96%	8,04%	6%	2
50	2+399,09	-2,96%	-18,04%	15,08%	6%	2
51	2+425,09	-18,04%	-3,15%	14,89%	6%	2
52	2+470,77	-3,15%	-3,56%	0,41%	6%	5
53	2+533,69	-3,56%	-4,60%	1,04%	6%	5
54	2+591,32	-4,60%	-5,59%	0,99%	6%	5
55	2+654,11	-5,59%	-3,33%	2,26%	6%	5
56	2+699,87	-3,33%	-7,82%	4,49%	6%	5
57	2+751,84	-7,82%	-17,58%	9,76%	6%	2
58	2+774,20	-17,58%	-1,41%	16,17%	6%	2
59	2+821,84	-1,41%	-2,30%	0,89%	6%	5
60	2+915,88	-2,30%	-5,25%	2,95%	6%	5
61	2+994,13	-5,25%	-6,21%	0,95%	6%	5
62	3+128,90	-6,21%	-3,10%	3,10%	6%	5
63	3+248,07	-3,10%	-3,92%	0,82%	6%	5
64	3+288,12	-3,92%	-6,65%	2,72%	6%	5
65	3+375,70	-6,65%	-6,92%	0,28%	6%	5
66	3+422,73	-6,92%	-3,93%	2,99%	6%	5
67	3+482,04	-3,93%	-5,95%	2,02%	6%	5
68	3+534,50	-5,95%	-6,35%	0,40%	6%	5
69	3+685,94	-6,35%	-9,72%	3,37%	6%	5
70	3+779,41	-9,72%	-6,51%	3,22%	6%	5
71	3+815,77	-6,51%	-9,71%	3,21%	6%	5
72	3+911,04	-9,71%	-1,71%	8,00%	6%	2
73	3+951,07	-1,71%	-3,74%	2,04%	6%	5
74	3+987,38	-3,74%	-6,36%	2,62%	6%	5

Curva	Abscisa	i entrada (%)	i salida (%)	Diferencia A (%)	A max (%)	Calificación
75	4+028,24	-6,36%	-2,94%	3,42%	6%	5
76	4+065,63	-2,94%	0,91%	3,86%	6%	5
77	4+117,35	0,91%	-0,92%	1,83%	6%	5
78	4+227,24	-0,92%	-6,34%	5,42%	6%	5
79	4+315,20	-6,34%	-5,63%	0,71%	6%	5
80	4+438,96	-5,63%	-6,85%	1,22%	6%	5
81	4+489,42	-6,85%	-4,30%	2,55%	6%	5
82	4+553,53	-4,30%	-5,36%	1,05%	6%	5
83	4+645,95	-5,36%	-3,34%	2,02%	6%	5
84	4+719,97	-3,34%	-5,53%	2,19%	6%	5
85	4+750,83	-5,53%	-4,64%	0,89%	6%	5
86	4+779,35	-4,64%	-6,39%	1,75%	6%	5
87	4+822,43	-6,39%	-4,14%	2,25%	6%	5
88	4+857,76	-4,14%	-5,25%	1,12%	6%	5
Ponderación numérica del criterio de consistencia planta perfil						4,5

De la tabla anterior, a pesar de que el 82% del trazado está aparentemente consistente, se ha evidenciado que no es del todo cierto la afirmación según los estadísticos obtenidos, ya que en valores como las entretangencias y longitudes de curvas hay incongruencias de diseño, sin embargo, dichas inconsistencias se pueden ver reflejadas más críticas en el 18% del trazado sobrante que no pasó la prueba en este análisis, puesto que los escenarios probables que se encuentren en vía en las abscisas especificadas resultarán en reconfigurar totalmente el diseño en dichos lugares. A continuación, se muestra el gráfico con los estadísticos encontrados para este caso:

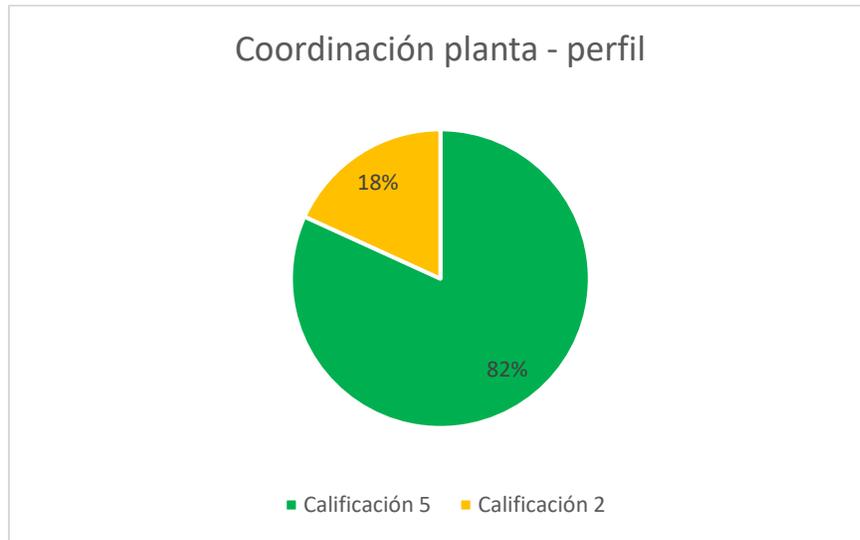


Ilustración 38: Análisis estadístico de las condiciones de consistencia en el diseño planta - perfil

5.7.5. Criterio de visibilidad K

En las condiciones del diseño vertical se especificó que para la configuración de este corredor vial se tiene un valor de K mínimo de 9 para curvas de tipo cóncavo y de 4 para las de tipo convexo. Dicho esto, se definieron los siguientes parámetros:

Tabla 30: Criterios de calificación para visibilidad K en curvas verticales de tipo cóncavas.

Criterio de visibilidad curvas cóncavas	
Criterio	Calificación
$K \geq 9$	5
$K < 9$	2

Tabla 31: Criterios de calificación para visibilidad K en curvas verticales de tipo convexas.

Criterio de visibilidad curvas convexas	
Criterio	Calificación
$K \geq 4$	5
$K < 4$	2

Definidos los criterios anteriores para los dos tipos de curvas verticales, se procedió con el análisis de dicho parámetro de visibilidad a lo largo del corredor obteniendo lo siguiente:

Tabla 32: Calificación con criterios cuantitativos para la visibilidad en el diseño vertical. Fuente: Elaboración propia

Curva	Abscisa	Tipo de curva	Valor de K	K mín.	Calificación
1	0+016,67	Convexa	9,61	5	5
2	0+042,64	Convexa	20,55	5	5
3	0+163,42	Cóncava	26,00	9	5
4	0+222,93	Convexa	51,58	5	5
5	0+315,79	Cóncava	29,78	9	5
6	0+405,68	Convexa	5,56	5	5
7	0+438,65	Cóncava	4,03	9	2
8	0+460,68	Cóncava	15,48	9	5
9	0+491,57	Convexa	5,63	5	5
10	0+522,23	Cóncava	23,78	9	5
11	0+572,45	Convexa	21,34	5	5
12	0+606,20	Cóncava	9,63	9	5
13	0+631,51	Convexa	18,07	5	5
14	0+651,98	Cóncava	12,13	9	5
15	0+674,21	Convexa	18,81	5	5
16	0+701,09	Cóncava	20,18	9	5
17	0+722,88	Convexa	3,04	5	2
18	0+748,48	Cóncava	4,17	9	2
19	0+870,57	Cóncava	8,18	9	2
20	0+896,35	Convexa	6,98	5	5
21	0+924,76	Cóncava	28,44	9	5
22	0+980,20	Cóncava	15,66	9	5
23	1+023,64	Convexa	9,25	5	5
24	1+049,45	Cóncava	12,14	9	5
25	1+083,08	Convexa	1,88	5	2
26	1+112,67	Cóncava	1,38	9	2
27	1+154,84	Convexa	1,98	5	2
28	1+201,58	Cóncava	4,72	9	2
29	1+223,22	Convexa	5,62	5	5
30	1+246,98	Cóncava	4,23	9	2
31	1+268,27	Convexa	12,88	5	5
32	1+294,04	Cóncava	12,79	9	5
33	1+320,54	Convexa	1,87	5	2
34	1+375,80	Cóncava	4,24	9	2
35	1+427,82	Convexa	4,68	5	2
36	1+493,85	Cóncava	13,10	9	5
37	1+567,80	Cóncava	8,03	9	2
38	1+604,66	Convexa	6,39	5	5

Curva	Abscisa	Tipo de curva	Valor de K	K mín.	Calificación
39	1+636,85	Cóncava	11,66	9	5
40	1+855,84	Convexa	4,50	5	2
41	1+932,33	Cóncava	11,14	9	5
42	2+108,82	Convexa	7,92	5	5
43	2+144,98	Convexa	3,20	5	2
44	2+171,91	Cóncava	2,58	9	2
45	2+233,90	Cóncava	10,46	9	5
46	2+264,06	Convexa	3,34	5	2
47	2+293,78	Cóncava	8,28	9	2
48	2+327,48	Convexa	3,27	5	2
49	2+362,96	Cóncava	2,49	9	2
50	2+399,09	Convexa	1,33	5	2
51	2+425,09	Cóncava	1,34	9	2
52	2+470,77	Convexa	49,19	5	5
53	2+533,69	Convexa	19,22	5	5
54	2+591,32	Convexa	20,17	5	5
55	2+654,11	Cóncava	8,85	9	2
56	2+699,87	Convexa	6,68	5	5
57	2+751,84	Convexa	2,05	5	2
58	2+774,20	Cóncava	1,24	9	2
59	2+821,84	Convexa	22,35	5	5
60	2+915,88	Convexa	13,56	5	5
61	2+994,13	Convexa	20,95	5	5
62	3+128,90	Cóncava	17,12	9	5
63	3+248,07	Convexa	24,46	5	5
64	3+288,12	Convexa	7,34	5	5
65	3+375,70	Convexa	72,24	5	5
66	3+422,73	Cóncava	6,69	9	2
67	3+482,04	Convexa	9,92	5	5
68	3+534,50	Convexa	50,10	5	5
69	3+685,94	Convexa	14,21	5	5
70	3+779,41	Cóncava	6,22	9	2
71	3+815,77	Convexa	6,24	5	5
72	3+911,04	Cóncava	2,50	9	2
73	3+951,07	Convexa	9,82	5	5
74	3+987,38	Convexa	7,63	5	5
75	4+028,24	Cóncava	5,85	9	2
76	4+065,63	Cóncava	5,19	9	2
77	4+117,35	Convexa	10,91	5	5

Curva	Abscisa	Tipo de curva	Valor de K	K mín.	Calificación
78	4+227,24	Convexa	10,66	5	5
79	4+315,20	Cóncava	28,28	9	5
80	4+438,96	Convexa	16,43	5	5
81	4+489,42	Cóncava	7,86	9	2
82	4+553,53	Convexa	18,98	5	5
83	4+645,95	Cóncava	9,92	9	5
84	4+719,97	Convexa	9,13	5	5
85	4+750,83	Cóncava	22,53	9	5
86	4+779,35	Convexa	11,45	5	5
87	4+822,43	Cóncava	8,88	9	2
88	4+857,76	Convexa	17,90	5	5
Ponderación numérica del criterio de visibilidad					3,9

De acuerdo con los resultados obtenidos anteriormente, este parámetro está incumpliendo en un 36% de todo el corredor analizado, lo cual significa la existencia de tramos o puntos donde la accidentalidad tiene una muy alta probabilidad de ocurrencia. Los factores que más influyen son la pérdida de visibilidad del conductor del trazado carretero, lo cual le puede generar confusión e incomodidad al manejar. El restante 64% cumple según la norma, sin embargo, este criterio es quizá el más importante en seguridad vial, ya que es desencadenante de accidentes de tránsito y fatalidades, por lo cual debería cumplirse en un ciento por ciento en todo caso. A continuación, se muestra el panorama estadístico de los datos encontrados:

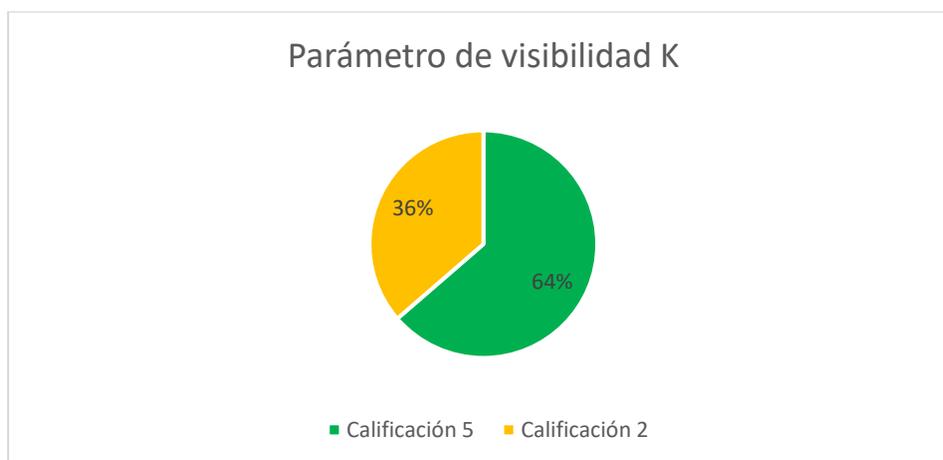


Ilustración 39: Análisis estadístico de las condiciones de visibilidad en el corredor vial

5.8. Criterios de calificación y análisis de resultados para parámetros de infraestructura

En el alcance de este trabajo se especificó que el tema de infraestructura se trataría de una manera muy superficial, ya que no se cuenta con datos de diseños de elementos estructurales, estudios hidráulicos o geotécnicos ni de pavimentos. Aclarado lo anterior se indicó que para estos elementos se hizo exclusivamente un análisis cualitativo visual, justificado por imágenes y/o fragmentos del dibujo de la vía que se tienen en AutoCAD Civil 3D. A continuación, se encuentran los respectivos apartados para infraestructura que se tuvieron en cuenta.

5.8.1. Superficie de rodadura

Después de realizar un análisis visual de inspección en campo, se encontró que la superficie de rodadura desde el K0 + 000 hasta el K4 + 629 se encuentra en estado deficiente y el tramo comprendido entre el K4 + 629 al K5 + 000 ya tiene una superficie en mejor estado. Para este criterio entonces se tiene que el 93% del corredor cuenta con una superficie de rodadura en malas condiciones y un 7% restante que entra en clasificación buena. A continuación, se da el criterio de calificación utilizado de forma cualitativa y un valor apreciativo numérico:

Tabla 33: Criterio de calificación para superficie de rodadura.

Criterio capa de rodadura		
Imagen	Criterio	Calificación
	Se encuentra en mal estado, ausencia de asfalto o concreto, baja definición de superficie, lugares con hundimientos y pérdida de banca	1,5

5.8.2. Señalización

En apartados anteriores se especificó que la vía debe contar con al menos 1.8 metros de distancia horizontal entre su superficie de rodadura y las señales de tránsito presentes. A continuación, se mostrarán los escenarios encontrados de las pocas señales existentes y la calificación cualitativa junto con un valor apreciativo numérico así:

Tabla 34: Calificación con criterios cuantitativos y cualitativos para la señalización presente en vía. Fuente: Elaboración propia

Criterio señalización general		
Imagen	Criterio	Calificación
	<p>Delineadores de curva se refunden entre la vegetación presente en la vía, sin embargo, están instalados y en buen estado.</p>	2
	<p>Señal preventiva en lugar donde hay caída de material, pero su soporte vertical no está a la vista y representa peligro para los conductores (obstáculo). No cuenta con la separación reglamentaria</p>	2

Imagen	Criterio	Calificación
	<p>Señal preventiva de curvas continuas, soporte vertical parcialmente a la vista. No cuenta con la separación reglamentaria</p>	<p>2</p>
	<p>Señal preventiva de curva pronunciada, soporte vertical a la vista. No cuenta con la separación reglamentaria, la vegetación a lo lejos obstruye la correcta visibilidad del contenido de la señal</p>	<p>2</p>
	<p>Señal preventiva, soporte vertical a la vista. No cuenta con la separación reglamentaria, señal instalada en un sitio donde no corresponde, debe trasladarse unos metros atrás.</p>	<p>2</p>

Imagen	Criterio	Calificación
	Existencia de una zona escolar, ausencia de señal que advierta la existencia de la institución educativa.	1
	Señal reglamentaria indicando que es prohibido adelantar en el sector, soporte vertical visible, señal visible en general. No cumple con la separación reglamentaria	3
	Ausencia total de señalización horizontal, este criterio se asume con un peso del 50% con respecto al promedio de lo que se obtenga con respecto a las verticales	1
Ponderación numérica del criterio de señalización		1,5

De la tabla anterior se pudo evidenciar que en este aspecto es uno donde más fallas existen en la vía, puesto que no hay ninguna señalización horizontal y las verticales deben mejorarlas en cuanto a normatividad de instalación. Este ítem tuvo una calificación final de 1,5 puntos.

5.8.3. Elementos complementarios

En este caso se dio una calificación a elementos laterales de la vía de acuerdo con lo encontrado en campo, estos se clasificaron en 3 aspectos y se otorgó una calificación igual a cada uno de ellos. Como son elementos que contribuyen a la seguridad vial y en algunos casos pueden ser mitigadores en la ocurrencia de accidentes, a este criterio se le decidió dar un peso importante en la calificación del corredor. A continuación, se dan los criterios y el análisis cualitativo y cuantitativo así:

Tabla 35: Calificación con criterios cuantitativos y cualitativos para los elementos complementarios existentes en vía.
Fuente: Elaboración propia

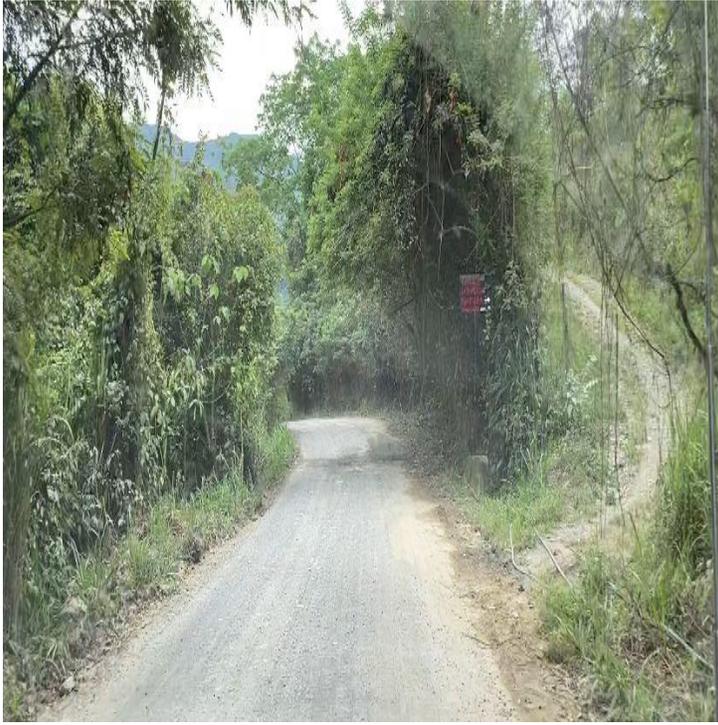
Criterio de elementos complementarios		
Tipo de elemento	Criterio	Calificación
Zonas laterales	Existen en tramos muy reducidos, pero sin cumplir un valor normativo según lo explicado en acápite anteriores. Están cubiertas por vegetación y en algunos sectores no hay posibilidad alguna de configurarlas	2,5
Elementos instalados sobre la capa de rodadura (tachas, pasos a nivel, etc.)	Ningún tramo cuenta con la presencia de estos elementos. En el K4 + 200 existe una zona escolar donde un elemento de este tipo podría ser instalado y mejorar el paso de peatones. Así mismo, servirán para las personas que laboran en zonas de trabajo existentes alrededor.	1
Barreras de contención lateral	Hay presencia de estos elementos, sin embargo, resultan ser riesgosos para el alto flujo de motociclistas que utilizan la vía, ya que los existentes no garantizan la seguridad de este tipo de usuarios en caso de accidente. Adicionalmente, las pocas existentes están mal instaladas y son un riesgo para todos los usuarios en general.	1,5
Ponderación numérica de criterios de elementos complementarios		1,7

De la tabla anterior, se puede evidenciar que la vía necesita muchas mejoras en estos aspectos complementarios y que pueden mejorar aspectos adicionales de seguridad vial.

5.8.4. Accesos

En este pequeño inciso se describe la condición general en la cual se encontraron los accesos hacia las veredas y demás sitios transitables presentes en vía. Se obtuvo el siguiente análisis general:

Tabla 36: Calificación general de las intersecciones presentes en el corredor vial analizado. Fuente: Elaboración propia.

Criterio de accesos		
Ejemplo de acceso de la vía	Criterio	Calificación
	<p>La vía cuenta con 24 accesos similares al que se muestra en la fotografía adjunta, 17 de ellos llevan a lugares privados de residencia de habitantes del lugar y los 7 restantes son caminos veredales. Todos se caracterizan por no tener indicación alguna de su existencia y no estar debidamente delimitados y conectados con la vía terciaria.</p>	<p>2</p>

5.8.5. Bermas y cunetas

Se definió que el bombeo normal de la vía es del 2%, sin embargo, las condiciones de drenaje de este corredor son discontinuas e inadecuadas. Empezando por la superficie de rodadura, la cual no cuenta con bombeo correcto debido a la condición de abandono en la cual se encuentra. Seguido a esto las bermas existen solo en lugares limitados y no son continuas con el trazado como debiese ser, así mismo, las cunetas también poseen la misma condición y en general no se encuentran en buenas condiciones de operación. A continuación, se tiene un criterio general cualitativo y cuantitativo realizado acerca de lo encontrado en vía sobre dichos elementos.

Tabla 37: Calificación general de los criterios de bermas y cunetas presentes en el corredor vial analizado. Fuente: Elaboración propia.

Criterio de elementos de drenaje (Bermas y cunetas)		
Tipo de elemento	Criterio	Calificación
Drenaje general de la vía	Con una superficie de rodadura en mal estado, este criterio de drenaje no se cumple totalmente y es causal de empozamientos y más afectaciones al trazado en temporada de lluvias.	1,5
Bermas	No se distinguen bien las bermas en algunos lugares donde la vegetación ya las consumió por completo. Los pocos lugares que cuentan con dicho elemento lo tienen de manera discontinua y en condiciones de baja calidad	1,5
Cunetas	Al igual que en las bermas, no se distinguen bien las cunetas en algunos lugares donde la vegetación ya las consumió por completo. Los pocos lugares que cuentan con dicho elemento lo tienen de manera discontinua y en condiciones de baja calidad	1,5
Ponderación numérica de criterios de elementos de bermas y cunetas		1,5

5.8.6. Obstáculos

Teniendo en cuenta los obstáculos más comunes e influyentes en accidentalidad vial dados en incisos anteriores relacionados con los obstáculos, se tiene los siguientes criterios de calificación cualitativa y cuantitativa así:

Criterio de elementos tipo obstáculo		
Tipo de objeto fijo	Criterio	Calificación
Muros de contención	Únicamente aparecen este tipo de elementos al final del trazado y se encuentran bien configurados con respecto al trazado a pesar de las falencias encontradas en las zonas laterales.	4
Árbol	La vía se encuentra con abundante vegetación y, en la mayoría de los casos, representan un peligro por la baja rocería que se les hace a estos elementos, ya que llegan a cubrir señales de tránsito, consumir obras de drenaje y ser objetos potencialmente propensos a chocar y causar una fatalidad por la cercanía que tienen con la vía.	1,5
Postes de servicio público	Deben estar por lo menos a 9 metros de la vía, sin embargo, la mayoría están ubicados muy cerca de los carriles y pueden ser un foco potencial de accidentalidad.	1,5
Barandas y defensas metálicas	Las existentes están mal configuradas y son inseguras para los usuarios de la vía.	1,5
Señales y vallas	Las pocas existentes están muy cerca de la superficie de vía, pudiendo ser causales de accidentes.	1,5
Ponderación numérica de criterios de elementos tipo obstáculo		2

Tener en cuenta estos elementos es de vital importancia, ya que son focos potenciales de accidentalidad y fatalidad en las vías. Para este caso se obtuvo que la configuración de dichos obstáculos de tipo natural o artificial pueden causar graves dificultades a los conductores y deben ser reubicados por seguridad.

Capítulo VI: Lineamientos generales para el corredor vial analizado.

Después de analizar cada uno de los elementos de diseño e infraestructura que componen en general el trazado, se retoman en éste capítulo con el fin de obtener una calificación definitiva con criterios de peso que pueda sustentar la condición actual del corredor con el fin de evaluar cuales son los lineamientos a nivel de diseño geométrico, obras de infraestructura y seguridad vial que se deberían aplicar para mejorar el estado actual del corredor y con ello su operación y desarrollo a las comunidades que lo utilizan y que pertenecen al sector de estudio. Todos los parámetros se diseñaron a partir de una velocidad de 40 km/h.

6.1. Asignación de criterios de peso a los elementos del diseño horizontal, vertical y de infraestructura del corredor vial terciario y calificación del corredor.

Con los criterios ya calculados del diseño horizontal, vertical y de infraestructura, se delimitaron los siguientes porcentajes de peso de acuerdo con la peligrosidad, causalidad de accidentes e inconsistencia relevante de los elementos presentes en la vía analizada. A continuación, se tienen las especificaciones y la calificación obtenida del corredor:

Tabla 38: Criterios de peso y calificación del corredor con todos los elementos analizados. Fuente: Elaboración propia.

Criterio	Calificación	Porcentaje asignado	Calificación en %
Criterios del diseño horizontal 35%			
Ponderación numérica del criterio de peralte	5,0	5,5%	0,3
Ponderación numérica del criterio de radio mínimo	4,1	5,5%	0,2
Ponderación numérica del criterio de longitud de curva mínima	4,6	5,5%	0,3
Ponderación numérica del criterio de entretangencia	2,3	13,0%	0,3
Ponderación numérica del criterio de sobrancho	1,0	5,5%	0,1
Criterios del diseño vertical 35%			
Ponderación numérica del criterio de pendientes max y min	4,0	4%	0,2

Criterio	Calificación	Porcentaje asignado	Calificación en %
Ponderación numérica del criterio de longitud mínima de curva vertical	2,4	4%	0,1
Ponderación numérica del criterio de tangente mínima	2,6	8%	0,2
Ponderación numérica del criterio de consistencia planta perfil	4,5	9%	0,4
Ponderación numérica del criterio de visibilidad	3,9	10%	0,4
Criterios de infraestructura 30%			
Ponderación numérica del criterio de superficie de rodadura	1,5	5%	0,1
Ponderación numérica del criterio de señalización	1,5	5%	0,1
Ponderación numérica de criterios de elementos complementarios	1,7	5%	0,1
Ponderación numérica de criterio de accesos	2,0	5%	0,1
Ponderación numérica de criterios de elementos de bermas y cunetas	1,5	5%	0,1
Ponderación numérica de criterios de elementos tipo obstáculo	2,0	5%	0,1
CALIFICACIÓN FINAL OBTENIDA DEL CORREDOR			3,1

Revisando la tabla anterior, se asignaron los porcentajes repartidos en los 3 componentes analizados (horizontal, vertical e infraestructura), se asignó más peso a horizontal y vertical debido a que este trabajo se centraba más en el análisis de variables del diseño geométrico, el porcentaje restante se le otorgó a la infraestructura que no se puede dejar de lado, ya que esta se complementa entre sí con la vía.

Así mismo, se definió que los criterios de entretangencia, tangente vertical, consistencia planta perfil y visibilidad tendrían mayor porcentaje con respecto a los demás, lo anterior se debe a que los criterios nombrados son de mayor influencia en accidentalidad en términos de diseño geométrico.

Por otra parte, los criterios de infraestructura se ponderaron de igual manera, esto debido a que el alcance del trabajo no era tan orientado a estos elementos.

Ahora, según el compendio de criterios y los valores obtenidos en cada uno de ellos con base en los criterios normativos delimitados, se obtuvo una calificación de 3.1/5.0 en el corredor vial analizado. Esto quiere decir que el corredor a lo sumo sirve para estar en operación, pero con múltiples falencias en términos de consistencia y diseño general que deben ser solucionadas. Con base en dicha calificación general y en la específicas por elemento, se plantearon los lineamientos de seguridad vial y diseño geométrico aplicables a la carretera en estudio, estos se describen a continuación en los siguientes subcapítulos.

6.2. Determinación de lineamientos

6.2.1. Lineamientos para el diseño horizontal

- Los valores de peralte obtuvieron una calificación de 5/5 en el análisis propuesto, lo cual da a entender que en términos de diseño estos se encuentran bien definidos. Sin embargo, no sería correcto afirmarlo totalmente, ya que múltiples curvas horizontales requieren un rediseño al no cumplir con los valores estipulados por la norma, lo cual afectará directamente a este valor de peralte y de su longitud de transición, resaltando por normativa una vez más que todas las curvas que se diseñen para este corredor deberán cumplir con un peralte máximo del 6% por ser de tipo terciario, a menos que se decida reconfigurar el corredor completamente y volverlo de un orden diferente.
- Los valores de radio mínimo y longitud de curva mínima obtuvieron una calificación de 4.1/5 y 4.6/5 respectivamente, lo cual obliga a rediseñar aquellas curvas que no estén cumpliendo con el valor de radio de 43 metros y de curvatura de 22.2 metros como se definió para las condiciones del corredor según los manuales de diseño, una tolerancia por debajo de estos valores no se puede aplicar, ya que el radio configura la geometría del diseño y la longitud la trayectoria de recorrido, así entonces, una alteración en cualquiera de los dos valores da como resultado condiciones de poca seguridad para el conductor que tome las curvas con su vehículo al darle

menos tiempo de recorrido y baja comodidad en la transición de entrada y de salida de estas.

- Los valores de entretangencia obtuvieron una calificación de 2.3/5 y se les asignó un porcentaje importante a considerar. Esto debido a que la garantía de distancia mínima de 166,7 metros en curvas de diferente sentido y de 55.6 metros en las de mismo sentido se hace fundamental y de alta exigencia para evitar accidentes, ya que, un cambio abrupto entre 2 curvas consecutivas da poco espacio y tiempo para que el conductor pueda maniobrar correctamente su vehículo ante tales transiciones y pierda total estabilidad y control, causando no solo un accidente sino una posible fatalidad.
- Los sobreamochos obtuvieron una calificación de 1/5, esto debido a que las curvas no cuentan con dicha región. Lo anterior da un alto grado de preocupación, puesto que, adicional a dicha condición, la vía tampoco cuenta con los anchos de carril correctos y no se cuenta con el ancho utilizable de 20 metros como lo indica el manual. El compendio de estas características hace entonces que se requiera ampliar la zona usable de terreno para poder garantizar tanto el verdadero ancho de carril como el sobreamocho correcto de las curvas para que así el tránsito por la vía no se vea afectado; cabe resaltar que no hay un valor de sobreamocho mínimo porque este dependerá del radio que tenga cada una de las curvas.

6.2.2. Lineamientos para el diseño vertical

- Los valores de pendientes verticales obtuvieron una calificación de 4/5, sin embargo, a pesar de que es una buena calificación, se tienen tramos donde debido al exceso del 7% como lo estipula la norma, se pierde totalmente la visibilidad o los vehículos pierden su potencia en subida y/o los frenos no funcionan correctamente en bajada. Todo lo anterior indica que esas pendientes excedidas deben corregirse para lograr transitar por el corredor de una manera más cómoda y segura y garantizar siempre que no excedan del 7%.

- Los valores de longitud de curva vertical obtuvieron una calificación de 2.4/5, lo cual deja en evidencia uno de los problemas más grandes en la vía terciaria analizada, puesto que solo el 13% de las curvas cumplen con este parámetro y este afecta directamente la comodidad de conducción y la visibilidad del trazado geométrico. Definido esto, se tiene que las curvas verticales del trazado deben ser rediseñadas bajo un estricto cumplimiento de una longitud de curva vertical con un valor mínimo de 24 metros.
- Los valores de tangente mínima vertical obtuvieron una calificación de 2.6/5, este parámetro en específico es uno de los de más estricto cumplimiento, ya que con este se da el espacio y tiempo seguros para que un conductor pueda pasar entre un par de curvas verticales de manera segura. Dicho esto, se debe garantizar que este parámetro se rediseñe en los segmentos rectos que no cumplieron en el trazado existente y los hagan con una longitud mínima de 80 metros para que cumplan realmente con la normativa.
- Los valores de consistencia planta – perfil obtuvieron una calificación de 4.5/5, a pesar de haber sido buena, los lugares que no pasaron la prueba deben ser revisados con sumo detalle, puesto que, si no existe armonía entre planta y perfil de la vía, los elementos en conjunto no cumplen con estándares de diseño y pueden ser causales de alteraciones indeseadas para los conductores que transitan por la carretera al encontrarse con dichas incongruencias, pudiendo incluso ser causales de un accidente. Dicho lo anterior, se debe garantizar que la diferencia entre todos los segmentos rectos del alineamiento vertical en sus pendientes no exceda del 6%.
- Los valores de visibilidad en el trazado obtuvieron una calificación de 3.9/5, a pesar de haber pasado la prueba, hay numerosos tramos donde no se tienen las condiciones deseables de visibilidad, lo cual afecta severamente la calificación general del trazado debido a que este parámetro es uno de los que debe quedar con mayor consistencia por el alto riesgo que representa no ofrecer un correcto campo visual a los conductores y producirles una falsa sensación de pérdida del trazado. Dicho lo anterior, como la visibilidad no se da igual para las curvas cóncavas y convexas, se tiene entonces que

estrictamente las de tipo cóncavo deberán tener un valor de K mayor o igual a 9, y las de tipo convexo un K mayor o igual a 5.

6.2.3. Lineamientos para el diseño de infraestructura

- El valor otorgado al criterio de superficie de rodadura fue de 1.5/5, esta condición deberá mejorarse bajo la rehabilitación del pavimento, garantizando que este tenga un bombeo natural del 2%, unos correctos estándares de afirmado y libre de ahuellamientos y demás fallas.
- La señalización obtuvo una calificación de 1.5/5, este parámetro deberá ser mejorado a lo largo de los 5 kilómetros que componen la vía, puesto que están incompletas las existentes. Para ello, se debe garantizar a lo sumo una señal reglamentaria que indique cual es la velocidad permitida (en este caso de 40 km/h), en las zonas de trabajo y estudio se deberá garantizar una señal de tipo preventiva, ya sea de zona escolar o una de tipo luz roja en conjunto que garantice bajar la velocidad a ciertas horas donde el tráfico de personas pueda afectar la movilidad segura. Adicionalmente, colocar los delineadores de curva que falten y las señales de tipo normativo, informativo y preventivo que sean necesarias.
- Los elementos complementarios obtuvieron una calificación de 1.7/5, para estos se debe garantizar la readecuación del terreno y poder instalar zonas laterales de mínimo 9 metros de ancho según normativa, la implantación de tachas y pasos a nivel donde exista un flujo de peatones considerable o donde se haga necesario reducir la velocidad por alguna eventualidad y la remoción de las barreras de contención actuales junto con la colocación de unas que sean adecuadas e instaladas sobre el espacio de la zona lateral con la finalidad de que sirvan como amortiguador en caso de accidente y no afecten a los usuarios, estas deben ser de doble altura con el fin de garantizar no solo la seguridad de los usuarios de vehículos estándar, sino también de los motociclistas y bici usuarios.
- Los accesos obtuvieron una calificación de 2/5, lo cual indica que se hace necesario advertir a los conductores de su ubicación para evitar colisiones. Para ello, basta con la puesta de señales de tránsito preventivas que

indiquen su existencia, ya sea de tipo bifurcación o incorporación. Así mismo, se deberá garantizar su conexión real con la vía y hacer las adecuaciones necesarias para que esto se cumpla.

- Las bermas y cunetas obtuvieron una calificación de 1.5/5, es importante aclarar que la condición de drenaje de la vía es de estricto cumplimiento en términos de seguridad vial, puesto que el agua reduce la adherencia entre llanta y pavimento y la condición de fricción. Dicho lo anterior se deberá garantizar que tanto bermas como cunetas estén conectadas con el bombeo natural del 2% que trae la vía por diseño, adicionalmente, esta obra lineal deberá ser continua a lo largo de todo el trazado y será de estricto cumplimiento que se garantice dicha condición de linealidad para el correcto drenaje.
- Los elementos tipo obstáculo obtuvieron una calificación de 2/5, se hace necesario que en este corredor vial los obstáculos descritos en acápite anteriores que existen en la vía se encuentren retirados una distancia mayor o igual a 9 metros de la vía para garantizar una vía libre de obstrucciones cercanas que puedan causar un accidente.

6.3. Cuadro resumen con los lineamientos

Tabla 39: Resumen de los lineamientos y valores normativos del caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Lineamiento	Valor por norma
Velocidad	40 km/h
Ancho utilizable	20 m
Peralte (e)	±6%
Radio mínimo de curvas horizontales (Rc)	43 m
Radio mínimo de curvatura horizontal (R min)	22,2 m
Entretangencia curvas en diferente sentido	166,7
Entretangencia curvas en mismo sentido	55,6
Sobrecancho (S)	Variable según radio de curva
Pendiente vertical (i)	±7%
Longitud de curva vertical (LCV)	24 m
Tangente vertical (LTV)	80 m
Consistencia planta perfil (A)	6%
Visibilidad en curvas cóncavas (K)	9
Visibilidad en curvas convexas (K)	5
Superficie de rodadura	Ver inciso 6.2.3
Señalización	Ver inciso 6.2.3
Elementos complementarios	Ver inciso 6.2.3
Accesos	Ver inciso 6.2.3
Bermas y cunetas	Ver inciso 6.2.3
Obstáculos	Ver inciso 6.2.3

Capítulo VII: Conclusiones y recomendaciones

- El estudio de calificación del IRAP es bueno en cuanto a calificación de criterios de diseño de infraestructura únicamente, al realizarlo para el corredor de estudio se pudo evidenciar que se centraba exclusivamente en la configuración básica de los elementos que componen una vía y, con ello se pudo concluir que la metodología propuesta en esta tesis, la cual se basó en la calificación de criterios similares, al adicionarle los parámetros de diseño geométrico da un escenario más real con respecto a la cuantificación del estado de operación en condiciones actuales de una carretera y, con ello, se pueden encontrar y proponer soluciones de mejora más acertadas en comparación con IRAP.
- Los lineamientos propuestos en este trabajo pueden ser aplicados únicamente de manera parcial a otros corredores terciarios, puesto que, ninguna vía posee las mismas características en un ciento por ciento en términos de diseño y de infraestructura así se cumpla la condición de clasificación según los manuales. Cada carretera es única y debe analizarse de acuerdo con las condiciones que se encuentren en la zona de influencia a la cual pertenece.
- Un análisis estadístico como el que se entregó en este trabajo da un mejor panorama para quien desee conocer en valor porcentual el estado general de un corredor vial, esto puede ser útil ante una consultoría para dar un panorama real y acertado de que tan baja o crítica puede ser la situación en cada una de las etapas de diseño o rediseño de los elementos que así lo requieran.
- Si se hubiese tenido una información acertada acerca de los históricos de accidentes en el corredor estudiado, se hubiese podido realizar un análisis más exhaustivo y completo en cuanto a la determinación de puntos de alta accidentalidad, dando así mayor fortaleza y peso a los lineamientos y criterios calificativos que se puedan proponer a partir de un análisis como el que se realizó para este trabajo. Dicho esto, sería recomendable que los entes reguladores de dicha información como la ANSV coloquen a disposición los históricos de los IPAT quitándoles los datos sensibles y entregando así los reportes que brinden aspectos como las ubicaciones exactas donde ocurren los accidentes para poder modelar con mayor precisión los datos.

- El criterio de sobreeje debe mejorarse en esta vía, ya que el tránsito de vehículos de más de 3 ejes, los cuales normalmente llevan mercancías para abastecer ciudades y municipios, no pueden transitar por el tramo estudiado, lo cual implica altos costos de transporte y subida de aranceles a los productos al llegar y/o salir de los municipios que este corredor conecta, lo cual afecta la calidad de vida de los habitantes del sector al no poder movilizar con seguridad y economía los productos como la papa y frutas que se dan en la región, así mismo son insostenibles los altos costos con los que llegan allí las mercancías producidas en otras regiones.
- En términos generales, se pudo evidenciar que los defectos más grandes en cuestión de diseño geométrico se encontraron en el trazado de perfil vertical, el cual, si no se encuentra en correcta configuración, afecta variables importantes como la visibilidad, la potencia requerida en ascenso de los vehículos pesados, la pérdida de estabilidad en el frenado si son muy pronunciadas las pendientes en bajada y en términos de curvas cóncavas los posibles empozamientos debidos a un mal drenaje. El conjunto de todos los incisos anteriores desencadena en la ocurrencia de accidentes y fatalidades que le cuestan importantes cifras de dinero a la nación.
- Como el derecho de vía encontrado es insuficiente con respecto al solicitado por el manual de diseño geométrico y, el ancho de carril no es el adecuado, las condiciones de maniobras de adelantamiento son bastante riesgosas, por lo cual se recomienda que la entidad que en su momento tenga la tarea de mejorar la carretera defina un rediseño orientado a adquisición de predios que garanticen el ancho real requerido según las normativas.
- El parámetro de entretangencia tanto a nivel de diseño horizontal como de diseño vertical debe ser rediseñado en su gran mayoría, puesto que la carretera es muy sinuosa y el tiempo de reacción de los conductores para sortear el paso entre curvas es insuficiente, siendo esto un foco potencial de accidentalidad. No se puede dar por hecho que por ser una vía de bajos volúmenes de tránsito no hay probabilidad de accidentalidad.
- Como el diseño geométrico y el camino carretable no están en óptimas condiciones y, adicional a ello, se evidenció que la iluminación del sector es nula junto con unas condiciones de visibilidad deficientes según lo obtenido en el análisis de datos del

corredor vertical. Se recomienda entonces invertir en mejoras que garanticen un tránsito seguro a todas horas por la vía.

- El corredor necesita con urgencia obras de rocería y mantenimiento, puesto que, la misma vegetación poco a poco se va consumiendo la vía y los elementos como los árboles y plantas en general se encuentran muy cercanos a la superficie de rodadura, lo cual daña significativamente los vehículos y reduce considerablemente espacio transitable para vehículos y peatones del sector.
- En términos de señalización horizontal se recomienda una urgente intervención al corredor estudiado, debido a que no cuenta con ninguna demarcación horizontal a lo largo de sus 5 kilómetros. Este tipo de señalización guía a los conductores a lo largo de todo el trazado y garantiza una conducción segura de sus vehículos al tener que acatar las normativas de tránsito que indique la pintura demarcada sobre el pavimento.
- En términos de señalización vertical se deben implantar más señales preventivas que adviertan la curvas horizontales de alta peligrosidad que se encuentran en el trazado, que adviertan de los accesos existentes de los cuales pueden salir vehículos que quieran tomar el corredor terciario y otras que adviertan las zonas escolares y/o de trabajo por donde el tránsito de peatones sea considerable, señales reglamentarias que indiquen la velocidad segura a la cual deberán transitar los vehículos por el sector, señales de pare en las zonas urbanas de caseríos existentes y algunas de tipo informativo que den a conocer a los que circulan por la vía lugares relevantes o distancias entre municipios.
- No se puede seguir dejando en el abandono los corredores terciarios de una nación, puesto que, estos pueden servir y funcionar como vías arterias que intercomunican municipios y generar mejoras en la economía de las regiones, adicional a ello, al estar vigentes los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), para su cumplimiento, se debe garantizar que las comunidades tengan mejoras en sus infraestructuras y que estas sean sostenibles.

Referencias bibliográficas

- Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2021). *Informe sobre Seguridad Vial para el Congreso de la República*. 1–40.
- AASHTO. (2004). *Geometric design of Highways and Streets*. Washington: American Association of State Highways and Transportation Officials.
- Asprilla, L. Y., Rey, G. E., & Maturana, C. Z. (2015). Influencia de los elementos de la infraestructura en la seguridad vial de los usuarios de las carreteras interurbanas. Un estudio de caso. *Revista Tecnogestión*, 26–36.
<https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/11625>
- Corporación Fondo de prevención vial. (2012). *Guía técnica para el diseño aplicación y uso de sistemas de contención vehicular*. Colombia: CFPV
- Corporación Fondo de prevención vial. (2012). *Guía técnica para el diseño de las zonas laterales para vías más seguras*. Colombia: CFPV
- Depestre, G., Martínez, D., & García, D. (2012). *Seguridad vial en carreteras rurales de dos carriles. Provincia de Villa Clara, Cuba Highway safety of rural two-lane roads. Province of Villa Clara, Cuba*. 16(1).
- Dorado, M., Cadengo, M., Casanova, W., & Mendoza, A. (2019). *Medidas de mejora para problemas de seguridad vial en la infraestructura*. 563, 140.
- Estado de la seguridad vial en la Región de las Américas. (2019). In *Estado de la seguridad vial en la Región de las Américas*. <https://doi.org/10.37774/9789275320877>
- Gómez, M. C., Escobar, D. A., & Urazán, C. F. (2017). Relación técnica entre seguridad vial, accidentalidad y lineamientos de diseño geométrico. Estudio de caso: Vía Manizales - Neira (Colombia). *Espacios*, 38(46).
- Llopis-Castelló, D., Camacho-Torregrosa, F. J., & García, A. (2018). Calibration of the inertial consistency index to assess road safety on horizontal curves of two-lane rural roads. *Accident Analysis and Prevention*, 118(December 2017), 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.05.014>
- Merino, A. (1 de septiembre de 2020). *Los muertos por accidentes de tráfico en el mundo*. Portal El Orden Mundial (EOM). Tomado de <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/muertos-accidentes-traffic-mundo/>
- Ministerio de Transporte. (2008). *Manual de diseño geométrico de carreteras*. Colombia: Mintransporte

- Ministerio de Transporte. (2015). *Manual de señalización vial, dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia*. Colombia: Mintransporte
- Ministerio de transporte. (2012). *Resolucion 0011268 de 2012*. Colombia. Mintransporte
- Morcillo, L. G., Poyo, F. J. C., Fernández, M. P., & de Oña, J. (2014). Measurement of Road Consistency on Two-lane Rural Highways in Granada (Spain). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 162(December), 237–242.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.12.204>
- Rodríguez, J. M., Armindo Camelo, F., & Chaparro, P. E. (2017). Seguridad vial en Colombia en la década de la seguridad vial: resultados parciales 2010-2015. *Revista de La Universidad Industrial de Santander. Salud*, 49(2), 280–289.
<https://doi.org/10.18273/revsal.v49n2-2017001>
- Taddia Ana María Pinto Eduardo Café Manuel Rodríguez Michelle Viegas Sissi de la Peña, A., & Cesar da Costa Rubén Saucedo, R. (2014). *Fortaleciendo al sector académico para reducir los siniestros de tránsito en América Latina: Centro Internacional de Formación para Autoridades Locales Casos de Estudio en Seguridad Vial, Investigaciones (CIFAL)*.